



INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

**STUDIA I RAPORTY
IUNG-PIB**

57(11)

**TECHNOLOGIE PRODUKCJI ROŚLINNEJ
W WARUNKACH ZMIENIAJĄCEGO SIĘ KLIMATU**

**PROGRAM WIELOLETNI
2016-2020**

**WSPIERANIE DZIAŁAŃ W ZAKRESIE OCHRONY
I RACJONALNEGO WYKORZYSTANIA
ROLNICZEJ PRZESTRZENI PRODUKCYJNEJ W POLSCE
ORAZ KSZTAŁTOWANIA JAKOŚCI SUROWCÓW ROŚLINNYCH**

Puławy 2018

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy,
tel. 81 4786 700, 81 4786 800
e-mail: iung@iung.pulawy.pl, www.iung.pulawy.pl

Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Redakcja naukowa:

dr hab. Jerzy Grabiński, prof. IUNG-PIB, prof. dr hab. Janusz Podleśny

Autorzy:

*mgr Katarzyna Czopek, dr hab. Eliza Gawel, dr Anna Trojak-Goluch,
dr hab. Jerzy Grabiński, prof. IUNG-PIB; dr hab. Mieczysław Grzelak, prof. UP;
dr hab. Bogusława Jaśkiewicz, dr Renata Kieloch, dr hab. Danuta Leszczyńska,
dr Andrzej Madej, prof. dr hab. Grażyna Podolska, dr Urszula Skomra,
dr hab. Mariola Staniak, prof. IUNG-PIB; mgr Anna Stępień,
dr Marta Wyzńska*

Recenzenci:

*prof. dr hab. Stanisław Berbeć, dr hab. Jerzy Grabiński, prof. IUNG-PIB;
dr hab. Ewa Szpunar-Krok, prof. UR; prof. dr hab. Jerzy Książak,
prof. dr hab. Mariusz Kucharski, prof. dr hab. Janusz Podleśny,
dr hab. Alicja Sułek, dr Renata Kuśmierk-Tomaszewska,*

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *mgr Ewa Decka-Cywińska*

Okładka: krajobraz okolic Rogowa (fot. *dr Anna Nieróbca*)

ISBN 978-83-7562-291-1

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 300 egz., B5

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB w Puławach

tel. 81 47 86 720; fax 81 47 86 721

e-mail: iung@pulawy.pl; <http://www.iung.pulawy.pl>

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

**TECHNOLOGIE PRODUKCJI ROŚLINNEJ
W WARUNKACH ZMIENIAJĄCEGO SIĘ KLIMATU**

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
1. Podolska G.– Plon i jakość ziarna pszenicy ozimej uprawianej w warunkach wysokiej temperatury oraz stresu suszy.....	9
2. Jaśkiewicz B. – Wartość paszowa ziarna pszenżyta w zależności od czynnika pogodowego	23
3. Leszczyńska D., Kostiw P.– Wpływ czynników agrotechnicznych i siedliskowych na plonowanie i jakość ziarna jęczmienia w warunkach zmieniającego się klimatu	37
4. Wyzińska M., Grabiński J. – Charakterystyka wybranych składników bioaktywnych obecnych w ziarnie zbóż.....	49
5. Staniak M., Stępień A., Czopek K. – Reakcja soi zwyczajnej (<i>Glycine Max</i> (L.) Merr.) na wybrane stropy abiotyczne	63
6. Gaweł E., Grzelak M.– Wielkość i jakość plonu roślin bobowatych drobnonasiennych i ich mieszanek z trawami w warunkach niedoboru opadów	75
7. Kieloch R.– Rola chemicznej regulacji zachwaszczenia upraw rolniczych w kształtowaniu jakości płodów rolnych	89
8. Skomra U. – Postęp w technologii produkcji chmielu – najważniejsze rozwiązania techniczne oraz osiągnięcia hodowli.....	101
9. Trojak-Goluch A., Madej A. - Analiza możliwości zmniejszenia kosztów produkcji surowca tytoniowego oraz zwiększenia mechanizacji w uprawie tytoniu.....	117

Wstęp

Jednym z największych problemów ludzkości są obecnie związane z globalnym ociepleniem zmiany klimatyczne. W naszym kraju zmiany te łączone są między innymi z dużymi okresowymi niedoborami opadów, oraz wyraźnie podwyższoną temperaturą, czego przykład mieliśmy także w bieżącym 2018 roku, kiedy to średnie temperatury kolejnych miesięcy wiosennych były wyższe niż średnio w wieloleciu o kilka stopni Celsjusza. Duże odstępstwa od normy w zakresie pogody są poważnym problemem dla rolnictwa, a w szczególności dla producentów roślin w uprawie polowej, bo z jednej strony wpływają one negatywnie na wzrost i rozwój roślin, a z drugiej uniemożliwiają prawidłowe (terminowe) wykonywanie zabiegów agrotechnicznych. W efekcie prowadzi to do zmniejszenia plonów - nierzadko bardzo dużych.

Oprócz zmian ilościowych nieodłącznym skutkiem anomalii pogodowych są straty jakościowe, których efektem jest na ogół duże obniżenie ceny skupu i tym samym zysku ze sprzedaży plonów. Dlatego też jednym z najważniejszych działań każdego producenta jest pozyskanie wiedzy na temat sposobów zminimalizowania strat jakościowych produkowanych płodów.

Problematyka realizacji technologii produkcji w różnych warunkach klimatyczno-glebowych ze szczególnym uwzględnieniem kształtowania parametrów jakościowych znajduje swoje odzwierciedlenie w tematyce trzech zadań programu wieloletniego IUNG PIB: 2.3 *Ocena i wspieranie procesów wdrażania integrowanej produkcji i postępu technologicznego w produkcji roślinnej*; 2.4 *Ocena możliwości kształtowania poziomu i jakości produkcji roślinnej z uwzględnieniem przewidywanych zmian klimatu* i 2.5 *Wykorzystanie wyników badań naukowych i prac hodowlanych do doskonalenia odmian oraz technologii produkcji chmielu i tytoniu zgodnie z zasadami integrowanej ochrony roślin*. Efekty prac związanych z realizacją tych zadań są przedstawione w kolejnych rozdziałach niniejszego zeszycu.

Kierownik zadania 2.3
prof. dr hab. Janusz Podleśny

Kierownik zadania 2.4
dr hab. Jerzy Grabiński, prof. IUNG-PIB

Kierownik zadania 2.5
dr Urszula Skomra

Grażyna Podolska

*Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

**PLON I JAKOŚĆ ZIARNA PSZENICY OZIMEJ UPRAWIANEJ
W WARUNKACH WYSOKIEJ TEMPERATURY ORAZ STRESU SUSZY***

Słowa kluczowe: susza, wysoka temperatura, pszenica ozima, plon, jakość ziarna i mąki

Wstęp

Obecnie jednym z największych problemów światowych jest globalne ocieplenie, jego ocena oraz oszacowanie wpływu zmian klimatu na produkcję i bezpieczeństwo żywności. Wśród głównych parametrów charakteryzujących zmiany klimatu wymieniany jest wzrost dwutlenku węgla w atmosferze, połączony ze wzrostem temperatury. W ostatnich latach obserwuje się wzrost średniej temperatury w Polsce o 0,3 °C na dekadę, a w Europie wzrost ten szacowany jest na 0,4 °C. Do 2050 roku średnia temperatura powietrza w Europie ma wzrosnąć od 1,5 do 3°C. Konsekwencją tych zmian jest zmniejszenie ilości opadów, częstsze susze i silne wichury (18).

Pszenica jest jedną z głównych roślin o kluczowym znaczeniu w strategii żywienia ludzkości. Fakt ten tłumaczy areal jej uprawy i udział w strukturze zasiewów zarówno w świecie, jak i w Polsce (12). Głównym kierunkiem wykorzystania ziarna pszenicy jest przemysł młynarski i piekarniczy. Wymaga on ziarna charakteryzującego się odpowiednią wartością przemiałową i wypiekową, która zależy od ilości i jakości skrobi i białka. Jak wskazuje literatura przedmiotu niedobór wody oraz susza modyfikują w mniejszym lub większym stopniu plon przez cały okres wegetacji, natomiast wpływ na cechy jakościowe związany jest z występowaniem tych czynników w okresie kwitnienia oraz rozwoju ziarniaka (1, 2, 3, 8, 11, 26, 41, 42). Celem pracy jest przeanalizowanie jaki wpływ na wielkość plonu oraz cechy wartości technologicznej ziarna i mąki pszenicy ozimej mają warunki stresowe związane z występowaniem suszy i wysokiej temperatury.

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Wymagania wodne pszenicy na tle innych gatunków roślin

W warunkach klimatycznych Polski o plonowaniu roślin uprawnych decydują głównie dwa elementy meteorologiczne: opady atmosferyczne i temperatura. Woda należy do związków nieorganicznych i jest niezbędna do życia wszystkich organizmów. Wywiera wpływ na szereg ważnych procesów fizjologicznych i biochemicznych, takich jak fotosynteza, transpiracja, oddychanie, regulacja temperatury. Decyduje o rozpuszczaniu składników pokarmowych i ich transporcie w konsekwencji czego, wpływa na wzrost i rozwój roślin oraz wielkość plonu i jego jakość (4, 16, 17).

Wymagania wodne roślin zależą od długości okresu wegetacji, związłości gleby oraz rejonu uprawy, są więc tym większe, im dłuższy jest okres wegetacji. Najwięcej wody potrzebuje burak cukrowy (od 500 do 550 mm), najmniej rzepak ozimy (od 200 do 220 mm). Wymagania wodne roślin zbożowych są pośrednie. Dla pszenicy ozimej wynoszą od 270 do 300 mm (9, 25); (tabela 1). Wymagania te maleją wraz ze wzrostem związłości gleby. Na glebach lekkich rośliny potrzebują o 15-60 mm więcej opadów atmosferycznych, a na ciężkich o 20-40 mm mniej niż uprawiane na glebach średnich. Obniżka plonu pszenicy ozimej na skutek niedoborów wody poniżej optymalnych opadów określona na podstawie 40 lat badań COBORU wynosi od 10 do 21% (4); (tabela 2).

Tabela 1

Potrzeby opadowe roślin w okresie wiosenno-letniej wegetacji, w mm

Roślina	Potrzeby opadowe (wg Dzieżyc i in. 1987)	Potrzeby wodne (wg Ostrowski i in. 2008)
Żyto	240-300	250-280
Pszenica ozima	230-250	270-300
Pszenica Jara	230-300	-
Jęczmień jary	240-300	360-370
Owies	250-300	290-340
Ziemniak wczesny	230-280	280-330
Ziemniak późny	350-400	430-480
Kukurydza	-	450-480
Burak pastewny	430-490	450-540
Burak cukrowy	-	500-550
Groch	260-300	-
Koniczyna czerwona	350-460	-
Lucerna mieszańcowa	-	450-500

Źródło: Chmura i in., 2009 (4)

Tabela 2

Procent obniżenia plonu gatunków roślin zbożowych w warunkach opadów niższych od optymalnych

Roślina	Zniżka plonów przy opadach mniejszych od optymalnych (%)	Opady optymalne (100% plonu)
Żyto	13-5	250-300
Pszenica ozima	21-10	200-350
Pszenica jara	19-11	200-350
Jęczmień jary	27-6	300-350
Owies	12-2	200-250

Źródło: Chmura i in., 2009 (4)

Produkcyjność pszenicy w zależności od niedoboru wody i wysokiej temperatury

Zapotrzebowanie dobowe roślin na wodę, waha się od 1 do 4 mm w fazach krytycznych. W przypadku pszenicy ozimej obejmuje on okres od fazy strzelania w źdźbło do kłoszenia oraz od kwitnienia do formowania ziarniaka (4, 27, 29, 30, 37). Deficyt wody w poszczególnych fazach wzrostu i rozwoju roślin wywołuje różne skutki. Susza w okresie fazy strzelania w źdźbło wpływa na zmniejszenie powierzchni asymilacyjnej liści i ogranicza przyrost organów wegetatywnych. Niedobór wody w glebie w fazach kłoszenia i kwitnienia wpływa na słabe wykształcenie kłosa, zmniejszenie liczby ziaren w kłosie, powstawanie kłosów płonych; susza obejmująca okres dojrzałości mleczonej powoduje słabe wykształcenie ziarna i ma wpływ na jego cechy jakościowe. Niedobór wody w każdym z wymienionych okresów wzrostu i rozwoju pszenicy ozimej powoduje obniżenie wskaźników wymiany gazowej (intensywności fotosyntezy, transpiracji, międzykomórkowego stężenia CO₂ oraz przewodności szparkowej (tab. 3). Ma to wpływ na zmiany morfologii rośliny i kłosa, zmniejszenie powierzchni liści, zarówno flagowego jak i podflagowego na poszczególnych pędach pszenicy, czego skutkiem jest zmniejszenie produktywności (rys. 1); (4, 22, 24, 27, 30).

Badania modelowe prowadzone w hali doświadczeń wegetacyjnych IUNG-PIB wykazały, że największą redukcję plonu ziarna pszenicy powoduje susza trwająca od fazy kłoszenia do fazy dojrzałości mleczonej, która może przyczynić się do 33% obniżki plonu ziarna. Mniejszą, ale również istotną obniżkę plonu ziarna wywołuje susza występująca w okresach od fazy strzelania w źdźbło do kłoszenia i od dojrzałości mleczonej do pełnej. Obniżka plonu ziarna może wynosić wówczas odpowiednio 23 i 22 % (30). Niedobór wody w poszczególnych okresach wzrostu i rozwoju roślin powoduje niekorzystne zmiany wartości cech struktury plonu: obniżenie liczby płodnych kłosek w kłosie oraz zmniejszenie: masy tysiąca ziaren (MTZ), liczby ziaren w kłosie, liczby ziaren z rośliny (tabela 4); (30).

Tabela 3

Wskaźniki wymiany gazowej liści pszenicy ozimej w warunkach zróżnicowanego uwilgotnienia podłoża

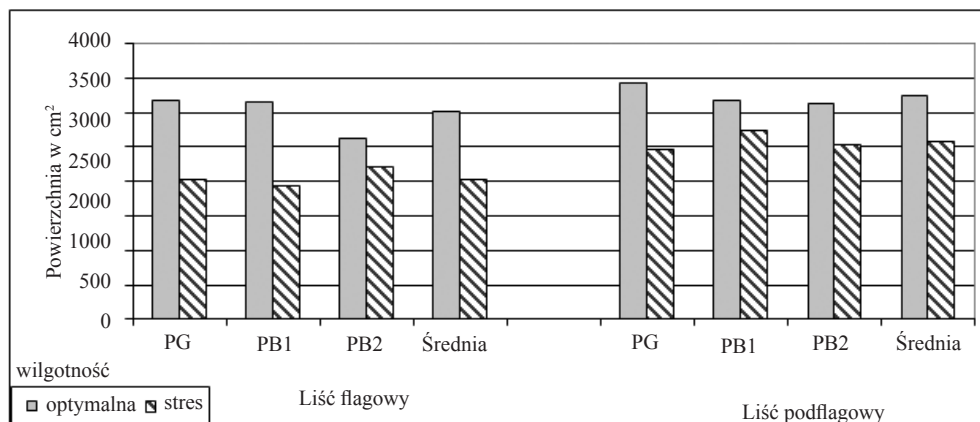
Poj. wodna (%)	Fotosynteza $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$			Transpiracja $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$			Międzykomórkowe stężenie CO_2 $\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$			Przewodnictwo Szparkowe $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
60-70	14,9	14,8	12,1	3,8	3,0	2,2	309	253	149	0,25	0,30	0,07
30-35	4,7	4,9	2,1	0,8	0,3	0,3	113	78	56	0,03	0,03	0,03

I – faza kłoszenia (55 BBCH)

II – faza kwitnienia (65 BBCH)

III – faza wypełniania ziarna (73-75 BBCH)

Źródło: Olszewski i in., 2007 (24)



Rys. 1 Wpływ stresu suszy w okresie od fazy strzelania w źdźbło do kłoszenia na powierzchnię liścia flagowego i podflagowego pszenicy ozimej odmiany Tonacja

Objaśnienia: PG – pęd główny, PB1 – pęd boczny pierwszy, PB2 – pęd boczny drugi

Źródło: Podolska i Hołubowicz-Kliza, 2006 (30)

Tabela 4

Plon i komponenty plonu pszenicy ozimej odmiany Tonacja w zależności od okresu występowania stresu suszy (średnie z lat 2003/2004)

Cecha	Okres występowania stresu suszy				
	strzelanie w źdźbło-kłoszenie	kłoszenie – dojrzałość młeczna	dojrzałość młeczna – dojrzałość pełna	optymalna wilgotność	NIR
Plon ziarna z wazonu (g)	58,30	53,58	59,53	75,80	4,160
Długość źdźbła (cm)	67,3	64,3	74,6	71,7	5,62
Długość kłosa (cm)	10,1	10,1	10,3	10,2	r.n
Liczba kłosek w kłosie (szt)	14,8	14,8	15,4	15,3	r.n
Liczba ziaren z rośliny (szt)	127,9	105,3	147,9	148,1	19,57
Liczba ziaren w kłosie (szt)	39,6	33,1	40,2	41,1	6,827
Masa ziarna z rośliny (g)	6,0	5,5	5,9	7,5	1,26

Tabela 4 cd.

Masa ziarna z kłosa (g)	1,850	1,719	1,609	2,068	0,383
MTZ (g)	47,88	52,18	40,93	51,54	4,177
Liczba kłosów (szt)	32	31	37	37	4,69
Plon biologiczny (g)	113,3	111,9	125,9	145,0	21,52
Masa słomy z rośliny (g)	5,6	5,9	6,6	6,9	1,14
Masa źdźbła (g)	1,7	1,9	1,8	1,9	r.n
Masa słomy z wazonu (g)	55,0	58,3	66,4	69,3	10,91

r.n. – różnice nieistotne; NIR- najmniejsza istotna różnica przy $\alpha = 0,05$

Źródło: Podolska i Hołubowicz-Kliza, 2006 (30)

Balla i in. (2) wskazują, że stres suszy oraz stres suszy wraz z wysoką temperaturą powietrza występujący na początku wypełniania ziarna wpływają w większym stopniu na plon i komponenty plonu niż tylko sama wysoka temperatura (tabela 5). Określona obniżka plonu ziarna z rośliny w przypadku stresu suszy wynosiła 57% natomiast stres suszy i wysoka temperatura powodowały obniżkę plonu w stosunku do obiektu kontrolnego wynoszącą 76%. Tymczasem stres wysokiej temperatury obniżał plon o 31%. Obniżka plonu była spowodowana niekorzystnymi zmianami wartości niektórych cech struktury plonu, głównie MTZ i liczby ziaren z rośliny. Obniżka MTZ najprawdopodobniej związana jest z ograniczoną akumulacją skrobi, bowiem jak wskazuje Labuschagne i in. (19) w warunkach wysokich temperatur synteza skrobi spowalnia lub w ogóle ustaje.

Tabela 5

Wpływ stresu suszy i wysokich temperatura na strukturalne elementy plonowania pszenicy ozimej

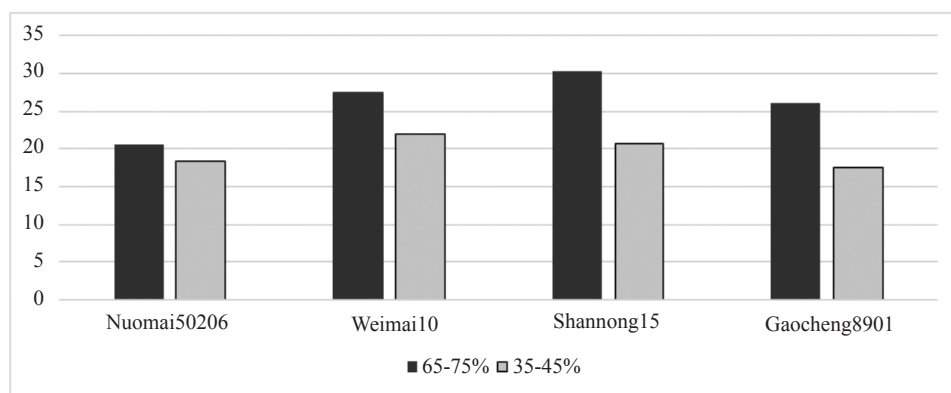
Warunki pogodowe	Plon ziarna z rośliny (g)	Liczba ziaren z rośliny (szt)	Harvest index (%)	MTZ (g)
Optymalne warunki	2,99	88,49	39,28	35,30
Wysoka temperatura	2,05	76,04	34,11	37,61
Susza	1,29	70,86	26,57	19,68
Wysoka temperatura + susza	0,72	66,30	17,87	11,57
NIR (0,05)	0,22	8,77	1,84	1,63

Źródło: Balla i in., 2011 (2)

Jakość ziarna i mąki pszenicy ozimej w zależności od niedoboru wody i wysokiej temperatury

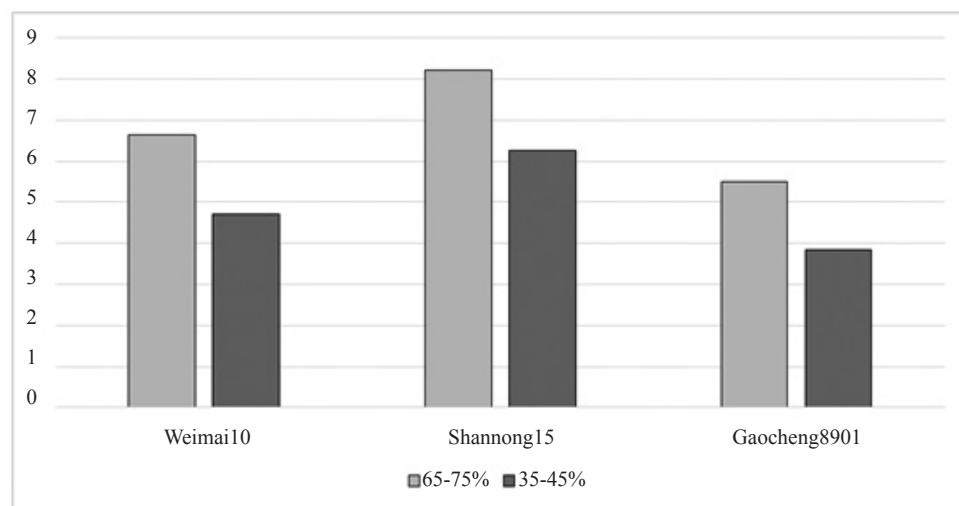
Skrobia, której zawartość w ziarnie pszenicy wynosi od 50 do 70% ma decydujący wpływ na strukturę produktów wytworzonych z pszenicy. W skład skrobi wchodzi liniowe łańcuchy amylozy i rozgałęzione amylopektyny. Warunki pogody wywierają istotny wpływ na ogólną zawartość skrobi w ziarnie pszenicy oraz stosunek amylopektyn do amylozy. Zhang i in. (39) wykazał, że niedobór wody w glebie na poziomie 35-45% ppw. skutkuje zmniejszeniem zawartości skrobi w ziarnie zarówno amylopektyny jak i amylozy (rys. 2, 3, 4). Granule skrobi mają zróżnicowane rozmiary. Wahają się one od 5,0 do 34 μm i są w dojrzałym ziarniaku w odpowiedniej

proporcji (20, 31). Wielkość ziaren skrobiowych decyduje o jej fizyczno-chemicznych właściwościach i przydatności technologicznej. Wysoka temperatura oraz niedobór wody po fazie kwitnienia wywierają istotny wpływ na syntezę oraz wzajemny stosunek granul skrobi (36) Wardlaw i Moncur (36) udowodnili, istotny wpływ wysokiej temperatury podczas wypełniania ziarna pszenicy na wzrost ilości dużych ziaren skrobi (powyżej 10 μm), natomiast zmniejszenie małych (od 5 do 10 μm). Balla i in (2), wykazali natomiast umiarkowany wpływ wysokiej temperatury 35°C/20°C (dzień/noc) na procentową ilość małych granul skrobi, natomiast istotny wpływ suszy oraz suszy i wysokiej temperatury na zmniejszenie ich ilości. Warunki stresowe wpływają nie tylko na ilość i wielkość ziaren skrobi. Badania (2, 33, 36, 39) udowodniły, że susza i wysokie temperatury powodują zmniejszenie aktywności enzymów amylolytycznych, co w konsekwencji prowadzi do zwiększenia maksymalnej lepkości ciasta.



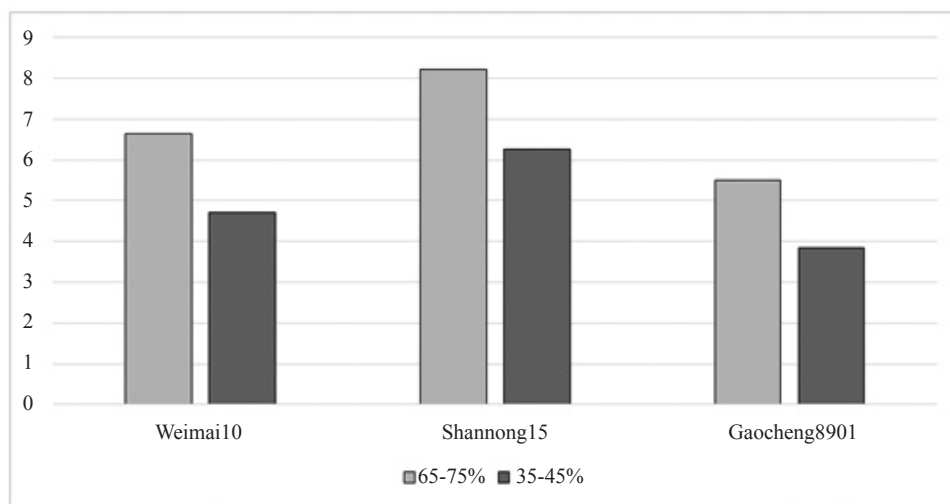
Rys. 2 Wpływ stresu suszy na ogólną zawartość skrobi (mg w ziarnie⁻¹)

Źródło: Zhang i in., 2010 (39)



Rys. 3 Wpływ stresu suszy na zawartość amylozy w skrobi odmian pszenicy ozimej (mg w ziarnie⁻¹)

Źródło: Zhang i in., 2010 (39)



Rys. 4. Wpływ stresu suszy na zawartość amylopektyny w skrobi odmian pszenicy ozimej (mg w ziarnie⁻¹)

Źródło: Zhang i in., 2010 (39)

Białka są najważniejszymi składnikami ziarna pszenicy wpływającymi na jej jakość. Z punktu widzenia przydatności technologicznej istotna jest zawartość białka w ziarnie i mące oraz ilość i wzajemne proporcje grup białek zapasowych. Odpowiednia jakość i ilość decydują bowiem o jakości mąki i pieczywa. Warunki pogodowe podczas wypełniania ziarna wpływają na akumulację białek oraz rozwój ziarniaków i mogą zmienić funkcjonalne właściwości mąki. Zmienność zarówno ilości jak i składu białka znacząco wpływa na jakość mąki i użycie jej do końcowego produktu. Ilość i jakość białka pszenicy w największym stopniu zależą od genotypu, ale jak wskazują liczne badania modyfikowane są również przez czynniki środowiska a przede wszystkim pogodę (8, 13, 15, 26, 32, 38, 40, 42).

Większość literatury przedmiotu wskazuje na zwiększenie zawartości białka w ziarnie pod wpływem suszy i wysokiej temperatury (1, 2, 3, 5, 34). Jak podaje Guttieri i in (14) wzrost zawartości białka w warunkach deficytu wody jest związany z większą akumulacją azotu, a mniejszą węglowodanów. Przeciwnie w warunkach dużej ilości opadów dochodzi do obniżenia zawartości białka poprzez rozpuszczenie azotu w węglowodanach. Największy wzrost zawartości białka obserwowany jest w przypadku jednoczesnego występowania zarówno stresu suszy jak i wysokich temperatur. Łączny wpływ suszy i wysokich temperatur jest bardzo duży, ponieważ jak podają Balla i in., (2) powoduje on w stosunku do warunków optymalnych wzrost zawartości białka o 34,4%, podczas gdy stres suszy występujący pojedynczo przyczynia się do wzrostu zawartości białka o 23,2%, natomiast stres wysokiej temperatury o 10,5%. W przeciwieństwie do większości doniesień literaturowych można spotkać udokumentowane w badaniach zmniejszenie zawartości białka w ziarnie pod wpływem suszy i wysokich temperatur (tab. 6), (23).

Wzrost zawartości białka pod wpływem czynników stresowych (wysoka temperatura, deficyt wody) nie jest związany ze wzrostem jego jakości. Jednym z wyróżników jakościowych określających jakość białka jest wskaźnik sedymentacyjny. Jak wykazały badania (1, 2) susza i wysoka temperatura powietrza w okresie wypełniania ziarna przyczyniły się do istotnego 15,8% zmniejszenia wartości wskaźnika sedymentacyjnego. Mastilović i in. (23) udowodnili, że w warunkach suszy i wysokich temperatur u odmian pszenicy ozimej występuje niższa zawartość białka i glutenu w porównaniu do pogody typowej dla wielolecia. Do nieco odmiennych wniosków doszli Li i in. (21) udowadniając, że jedynie pod wpływem wysokich temperatur następuje wzrost ilości glutenu zarówno w ziarnie jak i mące (tab. 8). Mastilović i in. (23) wykonując analizę jakości glutenu w procesie wypieku pieczywa, stwierdzili, że opisane wyżej czynniki stresowe powodowały degradację glutenu i jego niestabilność w procesie wypieku pieczywa. W warunkach suszy i wysokich temperatur w glutenie obserwuje się znacznie mniejszą ilość wolnych grup SH, oraz większą ilość wolnych grup aminowych wskazujących z jednej strony na przesuszenie ziarna pszenicy z drugiej na zmiany w ilości białek glutenowych (tab. 6).

Tabela 6

Wyróżniki wartości technologicznej różnych grup odmian pszenicy ozimej w warunkach niedoboru wody i wysokich temperatur

Warunki pogody	Grupy jakościowe odmian *	Zawartość białka (%)	Ilość glutenu (%)	Gluten index (%)	Gluten index w 37°C (%)
Susza i gorąco	5	13,0a	29,0	95	68
	7	12,4a	26,4	93	74
	9	13,0a	27,5	99	69
Optymalne	5	13,7a	33,3	83	49
	7	15,4b	34,8	92	69
	9	16,0b	36,8	88	63

Wyjaśnienie- klasy jakości (Mastilović i in. 2017) skala od 1 do 9.

Źródło: Mastilović i in. 2017 (23)

Właściwości reologiczne ciasta i jakość pieczywa

Badania reologiczne ciasta z mąki pszennej pozwalają na uzyskanie pełnej informacji o jakości mąki w porównaniu do pośrednich metod oceny wartości wypiekowej takich jak zawartość białka, ilość i jakość glutenu czy wskaźnik sedymentacyjny. Poza charakterystyką samego ciasta badania te pozwalają określić cechy glutenu. Zaletą metod oceny cech reologicznych jest badanie ciasta w warunkach zbliżonych do warunków przemysłowych produkcji pieczywa. Do metod reologicznych ciasta należą: ocena alveograficzna, farinograficzna, ekstensograficzna, amylograficzne. Ocena farinograficzna obejmuje takie cechy jak: wodochłonność mąki, rozwój ciasta, stałość ciasta, rozmiękczenie ciasta i liczbę jakości. Za pomocą ekstensografu oznacza się: maksymalny opór ciasta na rozciąganie, rozciągliwość

ciasta, energię ciasta, natomiast ocena alweograficzna obejmuje: siłę wypiekową (W), sprężystość ciasta (P), rozciągliwość ciasta L, stosunek P/L, wskaźnik rozdęcia ciasta (G) i indeks elastyczności Ie. Ocena amylograficzna pozwala na oszacowanie właściwości amyloolitycznych skrobi, poprzez oznaczenie temperatury kleikowania i maksymalnej lepkości kleiku skrobiowego.

Badania (23, 35) wykazały, że warunki stresowe istotnie wpływają na cechy reologiczne ciasta. Autorzy Ci udowodnili, że wzrost temperatury i susza podczas fazy kwitnienia i nalewania ziarna przyczyniły się do zmiany właściwości kleikowania skrobi i spowodowały niższą aktywność enzymów amyloolitycznych, prowadząc do zwiększenia maksymalnej lepkości i zmniejszenia siły wypiekowej mąki (W). Ponadto stresowe warunki uprawy spowodowały mniejszą wodochłonność mąki (tab. 7). Tsenov i in. (35) udokumentowali niekorzystny wpływ wysokich temperatur i suszy na stabilność i rozmięczenie ciasta oraz wartość walorymetryczną. Stresowe warunki w okresie formowania ziarniaka pszenicy mają również odzwierciedlenie w jakości pieczywa. Jak podają Mastilovi'c i in. (23) oraz Tsenov i in. (35) w istotny sposób wpływają na objętość bochenka, kolor skórki i twardość miększu powodując zmniejszenie objętości chleba, jasny kolor skórki, twardszy i bardziej sprężysty miękisz.

Tabela 7

Wyróżniki wartości technologicznej różnych grup odmian pszenicy ozimej w warunkach niedoboru wody i wysokich temperatur

Warunki pogody	Grupy jakościowe odmian	Wodochłonność (%)	Liczba jakości oznaczona farinograficznie	Maksymalna lepkość kleiku skrobiowego (AU)	Siła wypiekowa W
Susza i wysoka temperatura	5	58,4	69,7	1197	173
	7	58,0	67,7	683	181
	9	59,8	78,6	765	227
Optymalne	5	64,8	52,9	398	204
	7	64,1	63,8	221	288
	9	66,1	67,7	288	294

Źródło: Mastilovi'c i in., 2017 (23)

Tabela 8

Wpływ stresu suszy oraz wysokich temperatur na jakość ziarna pszenicy

Cecha	Bez stresu	Stres suszy	Stres wysokich temperatur
Zawartość białka w ziarnie (%)	12,8b	12,9b	13,4a
Zawartość białka w mące (%)	10,2c	10,5b	11,0a
Wskaźnik sedymentacyjny (ml)	15,0c	16,1b	16,6a
Sprężystość ciasta P (mm)	106,5b	115,9a	100,2c
Rozciągliwość ciasta L (mm)	100,7b	95,5c	106,8a
P/L stosunek	1,23b	1,47a	1,05c
W siła wypiekowa	337,1b	360,0a	331,1b
Objętość bochenka chleba (cm ³)	797,8b	785,7b	841,3a

Źródło: Li i in., 2013 (21)

Skład białek

O wartości wypiekowej pszenicy decyduje skład ilościowy i jakościowy grup białek glutenowych oraz ich wzajemne proporcje. Do białek glutenowych zaliczamy gliadyny rozpuszczalne w alkoholu oraz nierozpuszczalne gluteniny. Gliadyny składają się z białek monomerycznych, spośród których można wyróżnić cztery grupy: α , β , γ oraz ω . Natomiast gluteniny są białkami polimerycznymi o masie cząsteczkowej do kilkunastu milionów daltonów (Da). Wyróżnia się w nich podjednostki wysokocząsteczkowe (HMW) oraz niskocząsteczkowe (LMW). Gluteniny odpowiadają za siłę i elastyczność glutenu, natomiast gliadyny wpływają na lepkość i rozciągliwość ciasta. Zarówno siła, lepkość, jak i rozciągliwość glutenu mają wpływ na właściwości technologiczne produktów wytwarzanych z pszenicy (15). Akumulacja albumin i globulin trwa przez ok. 20 dni po kwitnieniu, po którym na ogół osiąga stały poziom. Akumulacja natomiast białek zapasowych rozpoczyna się w przybliżeniu 6 dni po kwitnieniu i trwa do końca okresu napełniania ziarna (13, 28).

Czynniki stresowe: deficyt wody i wysoka temperatura oraz czas trwania stresu wywierają istotny wpływ na skład frakcyjny białek (albuminy, globuliny, gliadyny i gluteniny) oraz ich wzajemny stosunek (1, 10, 38, 41, 42) (tab. 9). Badania Balla i in. (1) wykazały istotny wzrost frakcji albumin i globulin pod wpływem wysokich temperatur w porównaniu do obiektu kontrolnego, oraz ich zmniejszenie pod wpływem niedoboru wody w glebie. Z kolei inne badania (2) wykazały, istotny wpływ stresu suszy na poziomie 40-45% ppw. oraz wysokich temperatur (35/20°C dzień/noc) utrzymujących się przez 15 dni od czasu pełni kłoszenia pszenicy na skład białek (glutenin, gliadyn, albumin i globulin), skutkujący zmniejszeniem stosunku glutenin do gliadyn. Zmiany te powodowały pogorszenie jakości białka pomimo zwiększenia jego ilości. Pogorszenie jakości białka było obserwowane głównie w warunkach jednoczesnego wystąpienia stresu suszy i wysokiej temperatury, natomiast zmian w ilości frakcji białkowych i pogorszenie jego jakości nie obserwowano pod wpływem jedynie wysokiej temperatury. Daniel i Triboï (6) oraz Daniel i Triboï (7) stwierdzili, że wysoka temperatura wpływa na wzrost zawartości białka, jednocześnie zmieniając proporcję frakcji białek. Udokumentowali wzrost udziału frakcji ω i α/β , zmniejszenie natomiast proporcji γ gliadyn) (tab.10).

Tabela 9

Fracje białek w ziarnie pszenicy (ekstrakt ze 100 mg mąki) w warunkach stresu wodnego
(badania własne, niepublikowane)

Odmiana	Albuminy + globuliny*	Gliadyny*			Gluteniny*	
		ω	α/β	γ	HMW	LMW
Tonacja - kontrola	16623,0	3119,5	31752,5	14240,5	8542,5	31838,0
Tonacja - stres	18341,0	4071,5	40238,5	16147,5	10087,0	36591,0
Sukces - kontrola	15921,0	2654,0	17001,0	9869,5	9487,0	31612,5
Sukces - stres	17313,0	5047,0	31642,0	13228,5	13710,5	40132,5
Nawra - kontrola	20916,5	2879,5	22986,0	13382,5	14624,5	36888,5
Nawra - stres	20491,0	2568,5	21201,5	12641,0	13803,0	36966,0

* - powierzchnia pików wyrażona jako mAU-s.

Źródło: Dziuba i Fornal, 2009 (10)

Tabela 10

Wpływ temperatury na zawartość białka i skład frakcyjny gliadyn

Temperatura	Masa ziarniaka (mg)	Zawartość białka (%)	Procentowa zawartość frakcji gliadyn		
			ω	α/β	γ
Niska	54,4	11,7	6,35	56,3	35,9
Optymalna	42,4	13,9	6,86	60,5	31,5
Wysoka	30,5	16,0	8,73	63,0	27,2

Źródło: Daniel i Triboï, 2002 (2)

Podsumowanie

Analiza wpływu warunków stresowych (suszy i wysokich temperatur) w uprawie pszenicy na poziom plonowania oraz cechy jakości technologicznej ziarna i mąki pszenicy wskazuje, że konsekwencją trwających zmian klimatu (susza, wysoka temperatura) może być zmniejszenie poziomu plonowania oraz zmiany wartości cech jakościowych, które mogą obejmować zarówno właściwości skrobi jak i białek glutenowych. Badania wykazują również, że największe zmiany będą występowały w warunkach jednoczesnego niedoboru wody i wysokich temperatur.

Literatura

1. Balla K., Rakszegi M., Bencze S., Karsai I., Veisz O.: Effect of high temperature and drought on the composition of gluten proteins in martonvásár wheat varieties. *Acta Agronomica Hungarica*, 2010, **58**(4): 343–353.
2. Balla K., Rakszegi M., Li Z., Békés F., Bencze S., Veisz O.: Quality of winter wheat in relation to heat and drought shock after anthesis. *Czech J. Food Sci.*, 2011, **29**:117–128.
3. Bencze S., Veisz O., Bedő Z.: Effects of high atmospheric CO₂ and heat stress on phytomass, yield and grain quality of winter wheat. *Cereal Research Communications*, 2004, **32**:75–82.
4. Chmura K., Chylińska E., Dmowski Z., Nowak L.: Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*. PAN, Oddział w Krakowie, 2009, **9**:33–44.
5. Ciaffi M., Tozzi L., Borghi B., Corbellini M., Lafiandra D.: Effect of heat shock during grain-filling on the gluten protein composition of bread wheat. *Journal of Cereal Science*, 1996, **24**: 91–100.
6. Daniel C., Triboï E.: Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: effects on gliadin content and composition. *Journal of Cereal Science*, 2000, **32**:45–56.
7. Daniel C., Triboï E.: Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperatures and water stress. *European Journal of Agronomy*, 2002, **16**:1–12.
8. Dupont F.M., Hurkman W.J., Vensel W.H., Tanaka C., Kothari K.M., Chung O.K., Altenbach S.: Protein accumulation and composition in wheat grains: effects of mineral nutrients and high temperature. *Eur. J. Agron.*, 2006, **25**: 96–107.
9. Dzieżyc J., Nowak L., Panek K.: Dekadowe wskaźniki potrzeb opadowych roślin uprawnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 1987, **314**: 11–33.
10. Dziuba J., Fornal L.: Biologicznie aktywne peptydy i białka żywności. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa. ISBN 978-83-204-3582-5. 2009, ss 476.
11. Erekul O., Köhn W.: Effect of weather and soil conditions on yield components and bread-making quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter triticale (*Triticosecale Wittm.*) varieties in North-East Germany. *J. Agron. Crop Sci.*, 2006, **192**: 452–464.

12. FAO 2017. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
13. Gupta R.B., Masci S., Lafiandra D., Bariana H.S., Mac-Ritchie F.: Accumulation of protein subunits and their polymers in developing grains of hexaploid wheats. *Journal of Experimental Botany*, 1996, **47**: 1377–1385.
14. Guttieri M.J., McLean R., Stark J.C., Souza E.: Managing irrigation and nitrogen fertility of hard spring wheats for optimum bread and noodle quality,” *Crop Science*, 2005, **45(5)**: 2049–2059.
15. Ikeda T., Nagamine T., Fukuoka H., Yano H.: Identification of new low-molecular-weight glutenin subunit genes in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 2002, **104**: 680–687.
16. Kocoń A., Podleśna A.: Wstępna ocena efektywności fotosyntetycznej wybranych odmian pszenicy ozimej w warunkach stresu wodnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 2004, **496**, 259–266.
17. Kocoń A., Podolska G.: Wpływ niedoboru wody w glebie na plon i jakość ziarna wybranych odmian pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.* 2008, **25(1)**: 167–176.
18. Kozyra J.: Wpływ prognozowanych zmian temperatury powietrza na fenologię zbóż ozimych w Polsce. *Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB Puławy*, 2013, **(40)**: ss114.
19. Labuschagne M.T., Moloi J., Biljon A.: Abiotic stress induced changes in protein quality and quantity of two bread wheat cultivars. *Journal of Cereal Science*, 2016, **69**: 259–263.
20. Lewandowicz G., Mączyński M.: Chemiczna modyfikacja skrobi. cz. II. Reaktywność skrobi różnych gatunków roślin. *Chemik*, 1990, **3**: 69–71.
21. Li, Y., Wu, Y., Hernandez-Espinosa, Pena, R.J.: The influence of drought and heat stress on the expression of end-use quality parameters of common wheat. *J. Cereal Sci.* 2013, **57**: 73–78.
22. Małeczka I.: Studia nad plonowaniem pszenicy ozimej w zależności od warunków pogodowych i niektórych czynników agrotechnicznych. *Rocz. AR Poznań, Rozpr. Nauk.* 2003, **335**, 121.
23. Mastilović J., Živančev D., Lončar E., Malbaša R., Hristovd N., Kevrešana Z.: Effects of high temperatures and drought during anthesis and grain filling period on wheat processing quality and underlying gluten structural changes. *SCI Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com)* 2017, DOI 10.1002/jsfa.8784.
24. Olszewski J., Pszczółkowska A., Kulik T., Fordoński G., Płodzień K., Okorski A., Wasielewska J.: Wpływ deficytu wodnego na wskaźniki wymiany gazowej, produktywność i zdrowotność ziarna odmian pszenicy ozimej. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 2007, **6(4)**: 33–42.
25. Ostrowski J., Łabędzki L., Kowalik W., Kanecka-Geszke E., Kasperska-Wołowicz W., Smarzyńska K., Tusiński E.: Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce. *Falenty–Warszawa, Wyd. IMUZ*, 2008, 19–32.
26. Ozturk A., Ayolin F.: Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 2004, **190(2)**: 93–99.
27. Panasiewicz K., Koziara W.: Plonowanie i wartość siewna ziarna pszenicy ozimej w zależności od uwarunkowań wodnych i sposobu uprawy roli. *Fragm. Agronom.* 2007, **4(96)**: 65–71.
28. Panozzo J.F., Eagles H.A., Wootton M.: Changes in protein composition during grain development in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2001, **52**: 485–493.
29. Podolska G.: Wpływ niedoboru wody w glebie na masę ziarna i elementy struktury plonu pszenicy ozimej. B. Naganowska, P. Kachlicki, P. Krajewski (red.), *Genetyka i genomika w doskonaleniu roślin uprawnych*, wyd. Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu, 2009: 155–163
30. Podolska G., Hołubowicz-Kliza G.: Reakcja pszenicy ozimej odmiany Tonacja na stres suszy, *Roczniki AR w Poznaniu*, 2006, **66**: 277–285.
31. Ratuszniak E., Kubas A.: Wykorzystanie metody mikroskopowej do badania wielkości ziaren skrobi u różnych gatunków roślin. *Słupskie Prace Biologiczne*, 2007, **4**: 93–107.
32. Singh S., Gupta A., K, Kaur N.: Influence of Drought and Sowing Time on Protein Composition, Antinutrients, and Mineral Contents of Wheat *The Scientific World Journal* 2012, doi:10.1100/2012/485751).
33. Singh S., Singh G., Singh P., Singh N.: Effect of water stress at different stages of grain development on the characteristics of starch and protein of different wheat cultivars. *Food Chemistry*, 2008, **108**: 130–139
34. Stone P.J., Gras P.W., Nicolas M.E.: The influence of recovery temperature on the effects of a brief heat shock on wheat. III. Grain protein composition and dough properties. *Journal of Cereal Science*, 1997, **25**: 129–141.

35. Tsenov N., Atanasova N., Stoeva D., Tsenovae I.: Effects of drought on grain productivity and quality in winter bread wheat Bulgarian Journal of Agricultural Science, 2015, 21(3): 592-598.
36. Wardlaw I.F., Moncur L.: The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling. Australian Journal of Plant Physiology, 1995, 22: 391-397.
37. Weber R., Zalewski D.: Plonowanie odmian pszenicy ozimej w zróżnicowanych warunkach środowiskach. Biul. IHAR 2004, 233, 17-28.
38. Yang F, Jørgensen AD, Li H, Søndergaard I, Finnie C, Svensson B.: Implications of high-temperature events and water deficits on protein profiles in wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Vinjett) grain. Proteomics 2011, 11:1684-1695.
39. Zhang T., Wang Z., Yin Y., Cai R., Yan S., Li W.: Starch content and granule size distribution in grains of wheat in relation to post-anthesis water deficits. Journal of Agronomy and Crop Science, 2010, 196: 1-8.
40. Zhao C.X., He M.R., Wang Z.L., Wang Y.F., Lin Q.: Effects of different water availability at post-anthesis stage on grain nutrition and quality in strong-gluten winter wheat. Comptes Rendus Biologies, 2009, 332: 759-764.
41. Zhao H., Dai T., Jiang D., Cao W.: Effects of high temperature on key enzymes involved in starch and protein formation in grains of two wheat cultivars. J. Agron. Crop Sci., 2008, 194: 47-54.
42. Zhu J., Khan K.: Effects of genotype and environment on glutenin polymers and bread making quality, Cereal Chemistry, 2001, 78(2): 125-130.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Grażyna Podolska
Zakład Uprawy Roślin Zbożowych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 817
e-mail: aga@iung.pulawy.pl

Bogusława Jaśkiewicz

*Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa- Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

WARTOŚĆ PASZOWA ZIARNA PSZENŻYTA W ZALEŻNOŚCI OD CZYNNIKA POGODOWEGO*

Słowa kluczowe: alkilorezorcynole, aminokwasy, pszenżyto, skład chemiczny, składniki pokarmowe, warunki pogodowe

Wstęp

Uzyskanie wysokiego plonu ziarna pszenżyta o dobrej wartości paszowej jest możliwe po odpowiednim zsynchronizowaniu zespołu zabiegów agrotechnicznych z uwarunkowaniami siedliskowymi w warunkach zmiennego w latach czynnika pogodowego.

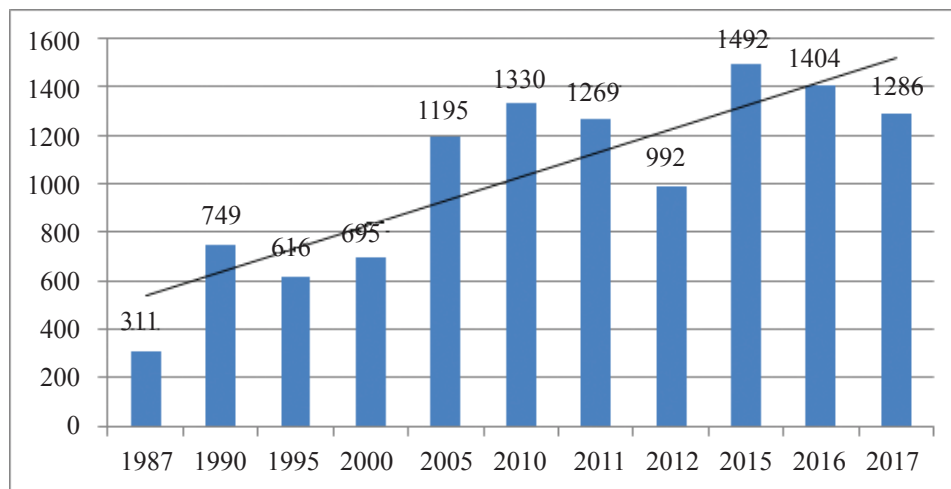
Pszenżyto to gatunek zboża o dużym znaczeniu gospodarczym. Głównymi producentami tego gatunku są Polska, Niemcy, Białoruś, Francja i Rosja. Warunki środowiskowe i wyhodowane odmiany, sprzyjają uprawie tego gatunku w naszym kraju. Występuje tendencja wzrostowa powierzchni uprawy pszenżyta w Polsce (rys. 1). W roku 2015 była ona najwyższa i wynosiła 1,49 mln. ha. Zbiory ziarna pszenżyta w 2017 roku wynosiły 5,0 mln ton (35).

Pszenżyto to przede wszystkim zboże paszowe, ponieważ aż 85% ziarna jest przeznaczane na skarmianie (19). O wartości pokarmowej ziarna pszenżyta w żywieniu zwierząt decydują zawarte w nim składniki pokarmowe i ich strawność oraz skład aminokwasowy białka (18). Ziarno pszenżyta staje się także coraz bardziej popularne, jako zboże konsumpcyjne (11). Ma wysoką zawartość białka w ziarnie i lepszy skład aminokwasowy niż pszenica (1).

Wymagania środowiskowe

Ryzyko uprawy pszenżyta w Polsce, nawet we wschodniej części kraju, przy sterowanym doborze odmian jest niewielkie, dzięki wielkiemu postępowi w hodowli mrozoodpornych i zimotrwałych form pszenżyta ozimego (25)

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.



Rys. 1. Powierzchnia zasiewów [tys. ha] pszenżyta w Polsce w latach 1987-2017.

Źródło: Rynek Zbóż, 2017 (35)

Pszenżyto charakteryzuje się małymi wymaganiami środowiskowymi, co ma podstawowe znaczenie w Polsce ze względu na duży udział gleb lekkich (18). Stanowi alternatywę dla uprawy żyta na lepszych stanowiskach, umożliwiając uzyskiwanie wyższych plonów, o lepszych parametrach jakościowych ziarna. Wprowadzenie pszenżyta na część areалу gleb zajmowanych przez żyto, powiększa ilość białka wnoszonego przez ziarno zbóż do pasz. Posiada większą odporność na choroby niż pozostałe gatunki zbóż, co obniża nakłady na jego uprawę. Dzięki dużemu potencjałowi plonowania i dobrej wartości pokarmowej stało się ono konkurencyjne dla innych gatunków zbóż (18).

Wymagania wodne pszenżyta ozimego w czasie wegetacji jesiennej są niewielkie i wynoszą 80-100 mm opadu (10). Umiarkowana susza jesienna (pod warunkiem, że nie opóźnia wschodów) działa nawet korzystnie na rozwój systemu korzeniowego oraz na wigor wiosenny. Największe zapotrzebowanie na wodę pszenżyto ozime wykazuje od fazy rozwojowej w skali BBCH 30 do BBCH 59, tj. około 40-45 mm opadu w kwietniu, 60-70 mm w maju, 30 mm w pierwszej połowie czerwca i w lipcu. Niedobór wody w okresie krytycznym, szczególnie na słabszych glebach przyspiesza kłoszenie, zmniejsza masę vegetatywną i zagęszczenie łanu.

Większe niż u żyta wymagania termiczne wiosną powodują, że pszenżyto ozime później wznawia wegetację i charakteryzuje się powolniejszą dynamiką wzrostu wczesnowiosennego. W okresie krytycznym (strzelanie w źdźbło-kłoszenie), wymaga temperatury dobowej na poziomie 6-8°C, a dłuższe okresy temperatury wyższej wpływają niekorzystnie na gospodarkę wodną i plonowanie roślin. W okresie nalewania ziarna optimum termiczne wynosi 16-17°C i jest to największe zapotrzebowanie na taką temperaturę w całym okresie wzrostu i rozwoju. Wyższa temperatura powietrza jest pożądana dopiero w fazie dojrzałości woskowej, ponieważ przyspieszają dosychanie ziarna i słomy.

Jakość ziarna pszenżyta kształtowana jest przez złożoną aktywność siedlisk, czynników agronomicznych i genetycznych (13, 14, 15, 16, 17).

Składniki pokarmowe w ziarnie

Zawartość składników pokarmowych w ziarnie zależy nie tylko od genotypu (odmiany), ale także od poziomu nawożenia azotem, stosowanej ochrony roślin, czy przebiegu pogody w okresie wegetacji. Określony ich udział w ziarnie jest miernikiem wysokiej wartości pokarmowej pasz. Z przedstawionych wyników Petkova i in. (30) wynika (tab. 1), że pszenżyto odmiany Lamberto z kolejnych lat zbioru charakteryzowało się zbliżoną koncentracją substancji organicznej w suchej masie. Średnia zawartość białka ogólnego, w ilości od 111,2 do 126,6 g w 1 kg s.m. w połączeniu z wysoką zawartością związków bezazotowych wyciągowych odzwierciedlają węglowodanowy charakter pszenżyta.

Tabela 1

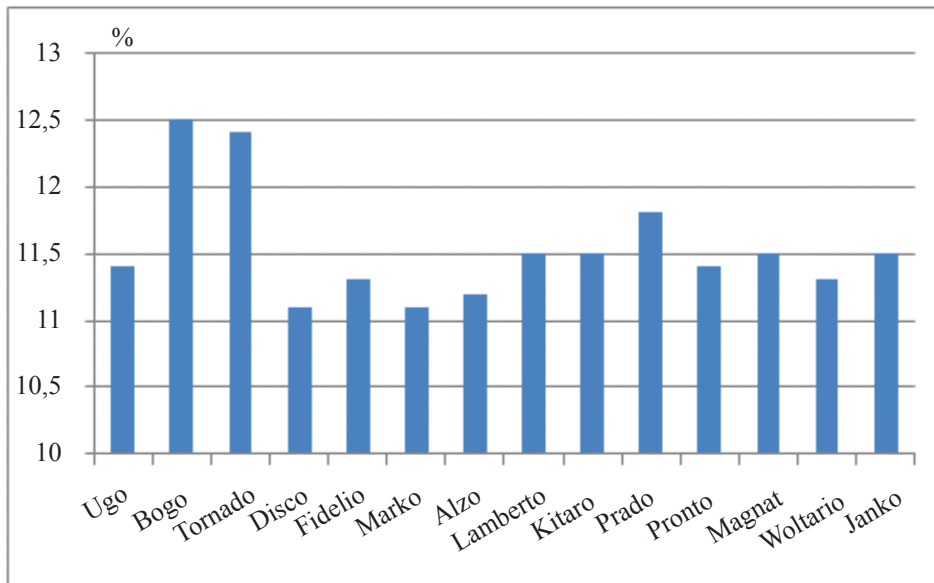
Zawartość składników pokarmowych w badanym ziarnie pszenżyta ozimego odmiany Lamberto (g/kg s.m.)

Rok	Popiół surowy	Substancja organiczna	Białko ogólne	Ekstrakt eterowy	Włókno surowe	Związki bezazotowe wyciągowe
2002	15,6	984,4	112,5	14,7	27,4	830,0
2003	18,0	982,0	111,2	14,6	28,1	828,1
2004	16,7	983,3	126,6	15,7	31,1	809,9

Źródło: Petkov i in., 2006 (30)

Największą zawartość białka ogólnego, tłuszczu i włókna surowego charakteryzowało się ziarno pszenżyta z 2004 roku, co koresponduje z wynikami innych autorów badań (9, 41). Stwierdzili, że na zawartość białka ogólnego w ziarnie pszenżyta ozimego istotnie wpływały warunki opadowo-termiczne oraz przedplon. Większej koncentracji białka sprzyjają lata o mniejszej ilości opadów i wyższej średniej temperaturze powietrza w okresie wegetacji. Powszechna prawidłowość, że większe nagromadzenie białka w ziarnie ma miejsce w latach suchych nie potwierdziła się w badaniach Sambofskiegoin. (36), zależała od warunków atmosferycznych w okresie wegetacji. Stwierdzili, że na tej podstawie nie jest możliwe wydzielenie grup odmian, które przy różnym przebiegu pogody (latach) charakteryzowałyby się najwyższą bądź najniższą zawartością białka w ziarnie. Według ich badań, najwyższą zawartością białka odznaczało się ziarno odmiany Bogo (12,5%), zaś najniższą ziarno odmiany Disco i Marko (11,1%); (rys. 2). Wyższa zawartość białka w ziarniakach odmiany Bogo mogła wynikać z ich mniejszych rozmiarów, gdyż genotyp ten charakteryzował się przeciętną niższą MTZ. Podobny zakres zawartości białka w ziarnie dla kilku odmian pszenżyta stwierdzili Pisulowska i in. (31, 32). Stosowanie środków chwastobójczych w zalecanych dawkach w większości nie powoduje znaczących zmian w wartości biologicznej ziarna pszenżyta, w tym także w zawartości białka

(7, 8, 35), a obserwowane zmiany wywołane herbicydami (7) są raczej uzależnione od współdziałania wielu zmiennych czynników zewnętrznych i różnej reakcji poszczególnych odmian na stosowanie tych samych preparatów.



Rys. 2. Zawartość białka [%] w ziarnie odmian pszenżyta ozimego

Źródło: Samborski i in., 2008 (36)

Zawartość aminokwasów w białku ziarna pszenżyta

Czynnikiem determinującym wartość paszową jest plon białka i jego skład aminokwasowy. Szczególne znaczenie przypisuje się aminokwasom egzogennym, które muszą być dostarczane z zewnątrz, gdyż organizmy nie mają możliwości ich biosyntezy (38, 39, 37). Większość zwierząt użytkowych (ssaków) powinna otrzymać w paszy następujące aminokwasy: lizynę, treoninę, cysteinę, metioninę, walinę, izoleucynę, leucynę i fenyloalaninę. Cysteina w organizmach może być wytwarzana z metioniny. Z tych też względów zaliczana bywa do aminokwasów półegzogennych lub względnie niezbędnych. Drugą grupą aminokwasów są aminokwasy endogenne, syntetyzowane przez zwierzęta. Ich zawartość ma także wpływ na wartość żywieniową pasz. W żywieniu drobiu arginina i kwas glutaminowy zaliczane są do aminokwasów egzogennych (6, 28, 30, 34).

O wartości pokarmowej białka decyduje jego skład aminokwasowy, który zależy od warunków pogodowych (tab. 2) w latach badań. W roku 2002 (suma roczna opadów i średnia temperatura powietrza zbliżona do wielolecia, lata 1982-2010) suma aminokwasów egzogennych była odpowiednio o 9% i 25% większa niż w roku 2003 i 2004. Lata te charakteryzowały się sumą roczną opadów i średnią temperaturą powietrza poniżej średnich z wielolecia. P e t k o v i in. (30) porównując całkowitą

sumę aminokwasów i zawartość aminokwasów ograniczających, zauważa znaczną różnicę między rokiem 2002, w którym aminokwasem ograniczającym była lizyna (według innych (8, 31, 33)), jest pierwszy aminokwasem ograniczającym dla zbóż), a dwoma kolejnymi latami, w których limitującym aminokwasem był tryptofan, co potwierdzają badania L u b o w i c k i e g o i in. (24). Inne prace wskazują na lizynę i izoleucynę (27) oraz izoleucynę, metioninę i lizynę (8). W badaniach Biel i Jacyno (4) stwierdzono, że przy wyższej zawartości białka zmniejsza się zawartość lizyny. Duże opady w okresie dojrzewania ziarna pszenżyta ozimego odmiany Woltario wpłynęły na wzrost zawartości lizyny, fenyloalaminy, histydyny, argininy (8). Stankiewicz (39) w podobnych warunkach hydrotermicznych tj. przy 3-krotnie wyższych opadach w lipcu (155 mm) od wielolecia, stwierdził, że sprzyjały one w gromadzeniu się aminokwasów w ziarnie. Koncentracja aminokwasów egzogennych w ziarnie pszenżyta jarego zwiększyła się o 10,6-13,4%.

W badaniach własnych przeprowadzonych w roku 2011 i 2014 w SD IUNG-PIB zawartość aminokwasów w ziarnie pszenżyta ozimego odmiany Pizarro i Pigmej zależała od warunków hydrotermicznych w latach badań (tab. 3, 4). W 2011 suma aminokwasów egzogennych (tab. 3), a także endogennych (tab. 4) w ziarnie była większa niż w 2014, odpowiednio o 8,6% i 10,7%. Przyczyniły się do tego obfite opady deszczu (250 mm) w okresie dojrzewania (lipiec 2011), które spowodowały istotne zwiększenie zawartości prawie wszystkich aminokwasów. Tylko w przypadku waliny, proliny i glicyny różnice między latami nie były istotne. W analizie interakcji wykazano, że w przypadku waliny i proliny nie było różnic między latami wyłącznie w technologii intensywnej (21). Wśród aminokwasów egzogennych redukcja zawartości aminokwasów w 2014 była największa w przypadku lizyny (12,7%), a wśród endogennych – tyrozyny (o 36,9%) (tab. 3, 4). Podobne zależności zawartości aminokwasów od pogody prezentuje S t a n k i e w i c z (39), który w porównywalnych warunkach opadowo-termicznych wykazał zwiększoną koncentrację aminokwasów egzogennych w ziarnie pszenżyta jarego o 10,6-13,4%. Z kolei w badaniach B r z o z o w s k i e j i in. (8) obfite opady w okresie dojrzewania pszenżyta ozimego wpłynęły na wzrost zawartości tylko czterech aminokwasów: lizyny, fenyloalaniny, histydyny i argininy.

Tabela 2

Skład aminokwasowy (g kg s.m.) białka w ziarnie pszenżyta ozimego odmiany Lamberto

Aminokwasy	Rok zbioru		
	2002	2003	2004
Kwas asparaginowy	7,77	6,73	5,58
Treonina	3,33	2,88	3,22
Seryna	3,98	3,44	3,50
Kwas glutaminowy	35,96	31,15	22,09
Prolina	8,86	7,68	6,39
Cystyna	2,30	1,99	1,74
Metionina	1,95	1,69	1,42
Metionina+Cystyna	4,25	3,68	3,16

Tabela 2 cd.

Glicyna	4,90	4,24	4,12
Alanina	4,31	3,73	2,71
Walina	4,81	4,17	3,87
Izoleucyna	3,86	3,34	2,95
Leucyna	7,38	6,39	5,77
Tyrozyna	2,02	1,75	1,75
Feniloalanina	5,07	4,39	4,31
Tyrozyna+Feniloalanina	7,09	6,14	6,06
Histydyna	2,71	2,34	2,04
Lizyna (Lyz)	3,28	2,84	3,02
Arginina	5,41	4,69	5,62
Tryptofan (Trp)	1,17	1,02	0,77
CS	46,88 Lyz	40,60 Trp	45,3 Trp
ΣEAA	34,00	33,76	29,01
ΣAA	109,08	94,48	81,33

CS – wskaźnik aminokwasu ograniczającego, ΣEAA – suma aminokwasów egzogennych, ΣAA – suma wszystkich aminokwasów

Źródło: Petkov i in., 2006 (30)

W badaniach własnych (21) wartość zintegrowanego wskaźnika aminokwasów ograniczających (EAAI) określona według wzorca dla jaja kurzego wynosiła 60,4%. W ziarnie pszenicy wskaźnik EAAI wynosi 63%, żyta 59% a owsa 57% (5). Warunki pogodowe istotnie różnicowały wartości zintegrowanego wskaźnika aminokwasów ograniczających (EAAI). W 2011 roku, charakteryzującym się obfitymi opadami deszczu w okresie dojrzewania stwierdzono wyższą wartość EAAI w porównaniu do roku 2014 (rys. 3). Otrzymane zależności pokrywają się z wynikami prezentowanymi przez *Stankiewicz* (39).

Tabela 3

Zawartość aminokwasów egzogennych (g kg⁻¹) w ziarnie pszenicy ozimego odmiany Pizarro i Pigmej w zależności od roku zbioru

Rok zbioru	Tre	Val	Isol	Leu	Fen	His	Liz	Arg	Met	Tryp	Suma
2011	3,84a	5,01a	4,07a	7,69a	5,47a	2,83a	3,95a	5,44a	2,29a	1,13a	41,82a
2014	3,54b	4,95b	3,63b	7,08b	5,07b	2,58b	3,45b	5,07b	2,05b	1,05b	38,51b

Tre - trelina, Val - walina, Isol - izoleucyna, Leu - leucyna, Fen - feniloalanina, His - histydyna, Liz - lizyna, Arg - arginina, Met - metionina, Tryp - tryptofan

a, b – istotność różnic $p \leq 0.05$

Źródło: badania własne

Tabela 4

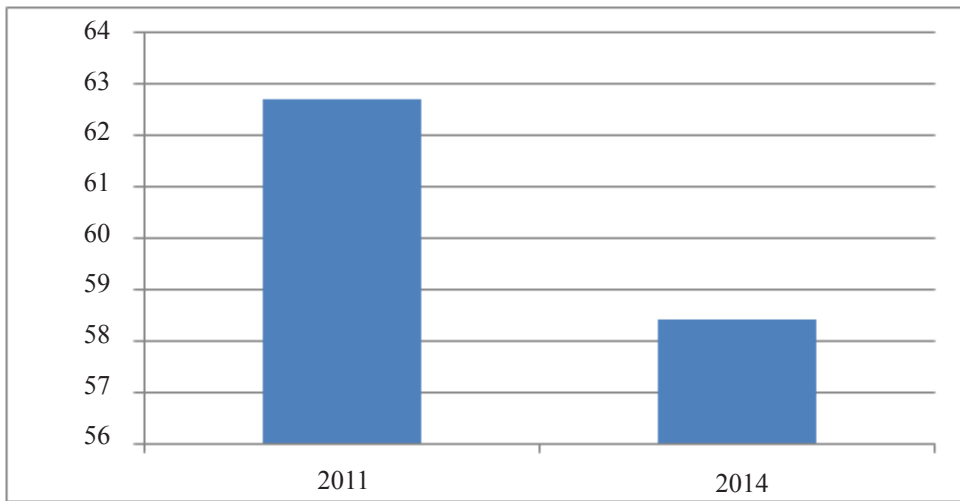
Zawartość aminokwasów endogennych (g kg⁻¹) w ziarnie pszenicy ozimego odmiany Pizarro i Pigmej w zależności od roku zbioru

Rok zbioru	Ser	K. asp	K. glu	Pro	Gli	Ala	Tyr	Cys	Suma
2011	5,54a	8,10a	31,65a	10,86a	4,75a	4,89a	3,06a	2,25a	71,1a
2014	5,23bb	6,74b	28,44b	10,23b	4,69b	4,30b	1,93b	1,89b	63,45b

Ser - seryna, K. asp - kwas asparaginowy, K. glu - kwas glutaminowy, Pro - prolina, Gli - glicyna, Ala - alanina, Tyr - tyrozyna, Cys - cysteina

a, b – istotność różnic $p \leq 0.05$

Źródło: badania własne



Rys. 3. Wartość zintegrowanego wskaźnika aminokwasów ograniczających [EAAI] ziarna pszenżyta ozimego odmiany Pizarro i Pigmej w zależności od roku zbioru [%]

Źródło: badania własne

Skład chemiczny ziarna

Pszenżyto jest zbożem wykorzystywanym przede wszystkim na paszę, dlatego poza wielkością plonu ważna ze względów pokarmowych jest także zawartość makroskładników i mikroskładników w ziarnie, które są głównym źródłem substancji mineralnych dla zwierząt gospodarskich. Zawartość poszczególnych makroelementów w ziarnie pszenżyta wykazuje dużą zmienność i zależy od wielu czynników: zasobności gleby w przyswajalne składniki pokarmowe, gatunku zboża i jego formy, zabiegów agrotechnicznych, w tym nawożenia i ochrony roślin, a także warunków pogodowych w okresie wegetacji (31, 40, 28). Zarówno niedobór jak i nadmiar makroskładników w ziarnie pszenżyta może powodować obniżenie wartości biologicznej paszy i być przyczyną niekorzystnych zmian w metabolizmie zwierząt.

W trzyletnim okresie badawczym B r z o z o w s k i e j (7) zawartość makroelementów w suchej masie ziarna pszenżyta ozimego odmiany Bogo kształtowała się na poziomie średnim (azot, fosfor, potas i magnez) oraz niskim (wapń) i zależała od warunków pogodowych (tab. 5). Średnia w latach badań zawartość makroelementów w suchej masie ziarna pszenżyta ozimego wynosiła odpowiednio: azot – $18,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, fosfor – $4,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, potas – $5,0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, magnez – $1,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, wapń – $0,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 5). Zawartość azotu, fosforu i potasu w ziarnie była największa w trzecim roku badań (2002 r.), w którym opady w czerwcu i lipcu wynosiły jedynie 49,4% średniej sumy z wielolecia, a średnia temperatura w tych miesiącach przekraczała odpowiednio średnie z wielolecia o 0,7 i 2,4°C. Z kolei zawartość magnezu i wapnia była największa w pierwszym roku badań, z wyższą niż zwykle (o 1,0°C) średnią temperaturą miesięczną w okresie wegetacji wiosenno-letniej, przy umiarkowanych opadach (87% średniej sumy z wielolecia). Ponadto B r z o z o w s k a (7) zwraca uwagę na

postępujący w latach proces obniżania się koncentracji wapnia w ziarnie pszenżyta ozimego w porównaniu z wcześniejszymi oznaczeniami. Zdecydowanie najmniejsza koncentracja makroskładników (z wyjątkiem potasu) w ziarnie pszenżyta wystąpiła w drugim roku badań, charakteryzującym się nadmiernymi opadami w lipcu (208% średniej sumy z wielolecia).

Tabela 5

Zawartość makroskładników [g·kg⁻¹ s.m.] w ziarnie pszenżyta ozimego odmiany Bogo

Makroskładniki	Lata			Średnio
	2000	2001	2002	
Azotu	19,1	16,6	20,4	18,7
Fosforu	4,2	3,8	4,4	4,1
Potasu	4,7	4,9	5,4	5,0
Magnezu	1,5	1,2	1,4	1,4
Wapnia	0,6	0,4	0,5	0,5

Źródło: Borzozowska, 2006 (7)

W badaniach K r y Ń s k i e j i in. (23) przebieg warunków pogodowych w okresie wegetacji tylko w niewielkim stopniu wpływał na gromadzenie się składników mineralnych w ziarnie pszenżyta ozimego. W badaniach B r z o z o w s k i e j (7) obniżka zawartości azotu w ziarnie pszenżyta po zastosowaniu mieszaniny herbicydów Granstar 75 WG + Chwastox Extra 300 SL w porównaniu z ziarnem z obiektu kontrolnego (różnice istotne) może mieć związek z wrażliwością genetyczną odmiany na dany preparat lub ich mieszaninę, która według M a k a r s k i e j (27) zwykle ujawnia się w niesprzyjających warunkach pogodowych.

Substancje antyżywniowe

W ziarnie zbóż obok składników pokarmowych występują związki mające negatywny wpływ na zdrowie zwierząt i ich wydajność, są to substancje antyżywniowe. Ilość tych substancji kształtuje się u pszenżyta na poziomie pośrednim pomiędzy formami rodzicielskimi, jest jednak bardziej zbliżona lub podobna jak u pszenicy. Natomiast w porównaniu z żytem zawiera ich 3-4 razy mniej. W badaniach krajowych nie stwierdzono dotychczas ujemnego wpływu obecnych w ziarnie w niewielkich ilościach alkilorezorcynoli (ARs) na wskaźniki żywniowe uzyskane na zwierzętach (6). Inne badania wskazują, że AR tylko w bardzo dużych dawkach są zdolne do wywołania toksycznych efektów na organizm zwierzęcy (22, 26, 34). W ziarnie pszenżyta AR jako związek antyżywniowy, nie stanowią problemu w żywieniu zwierząt (6). Z drugiej strony, dzięki grubej okrywie owocowo-nasiennej i dużej zawartości błonnika oraz Ars, pszenżyto może zyskać na znaczeniu jako zboże konsumpcyjne (6). Ars zwane lipidami rezorcynowymi stanowią grupę naturalnych związków fenolowych. Budzą one zainteresowanie jako składnik żywności bioaktywnej (2). Zawartość związków fenolowych, w tym AR, są jak dotąd przedmiotem badań dotyczących pszenicy. Wykazano w nich, że zależą od genotypu (3, 6, 42 i warunków środowiskowych (12, 29, 43).

W przeprowadzonym eksperymencie w SD Osiny IUNG - PIB w Puławach w roku 2011 i 2014 z odmianami pszenżyta ozimego Pizarro i Pigmej oraz w roku 2013 z odmianami Cerber i Fredro zawartość ARs była zależna od warunków hydro-termicznych w latach badań. W roku 2014 średnia zawartość AR była o 13%, a w 2013 o 20% wyższa w stosunku do roku 2011 (tab. 6, 7). Jak wskazują współczynniki korelacji, zawartość ARs zależała od średniej temperatury powietrza w kwietniu i maju oraz sumy opadów w marcu, kwietniu, czerwcu oraz lipcu (tab. 9). W 2013 zwiększeniu koncentracji ARs sprzyjał chłodny kwiecień i ciepły maj (tab. 7, 9). Niska akumulacja ARs w 2011 wynikała z ograniczonych opadów w okresie krzewienia i początku strzelania w źdźbło (marzec i kwiecień) oraz kłoszenia (czerwiec), ale także nadmiernych opadów w okresie dojrzewania (lipiec). Istotny wpływ warunków pogodowych na koncentrację ARs wykazany został również w badaniach pszenicy durum (3).

W badaniach własnych wykazano, że zawartość ARs w ziarnie była dodatnio skorelowana z MTZ (20). Ziarno było bardziej dorodne (o większej MTZ) (tab. 8) i zawierało więcej ARs w latach o korzystnym dla rozwoju roślin układzie warunków hydro-termicznych w 2014 w porównaniu do 2011 (tab. 6). Z kolei w badaniach Ż u - c h o w s k i e g o i n. (43) nad pszenicą, zawartość kwasów fenolowych (do których należą ARs) była ujemnie skorelowana z MTZ. Odmienne reakcja wykazana w badaniach własnych może wynikać ze stosunkowo niewielkich odchyłeń dorodności ziarna pszenżyta (tab. 8) w porównaniu do znacznych różnic między wartością minimalną a maksymalną tej cechy u pszenicy (do 44 %) (43). Stwierdzono istotne zróżnicowanie w zawartości ARs w zależności od technologii produkcji (tab. 6, 7). U pszenżyta uprawianego w technologii intensywnej zawartość ARs w ziarnie była większa (tab. 6) i charakteryzowała się mniejszą zmiennością w porównaniu do technologii integrowanej (tab. 7). W warunkach technologii intensywnej w roku 2014 obserwowano wzrost zawartości ARs w ziarnie w porównaniu do technologii integrowanej w roku 2011 (tab. 6). Podobne zależności prezentowane są przez C z a b a n a i n. (12), którzy wskazują na wzrost całkowitej zawartości kwasu fenolowego, spowodowany wysoko wydajną technologią konwencjonalną (intensywne rolnictwo) w porównaniu do zintegrowanych i ekstensywnych technologii. Z doniesień literaturowych wynika, że zawartość ARs w ziarnie pszenżyta jest mniejsza niż u pszenicy ale większa niż u żyta (34). W badaniach B o r o s i n. (6) średnia zawartość ARs u dwudziestu odmian pszenżyta wynosiła 503 mg/kg, a współczynnik zmienności $V=12,5\%$. W tamtych badaniach odmiany Pigmej i Pizarro zawierały odpowiednio 475 i 418 mg AR mg kg^{-1} . W badaniach własnych koncentracja ARs w ziarnie tych odmian była niższa (tab. 6), co potwierdza wpływ warunków siedliskowych na omawianą cechę.

Wykazano interakcję lat i odmian w kształtowaniu zawartości ARs w ziarnie pszenżyta (tab. 6). W roku 2011 odmiana Pizarro zawierała mniej ARs w porównaniu do odmiany Pigmej w roku 2014. Zawartość ARs w ziarnie u odmiany Pizarro charakteryzowała się wyższym współczynnikiem zmienności niż u odmiany Pigmej (tab. 7).

Tabela 6

Interakcje w zawartości alkilorezorcynoli (mg kg^{-1}) w ziarnie pszenżyta ozimego pomiędzy czynnikami doświadczenia

Rok zbioru	Technologia produkcji		Odmiana		Średnia
	Integrowana	Intensywna	Pizarro	Pigmej	
2011	287b	316ab	277b	326ab	302b
2014	327ab	356a	325ab	358a	342a

a, b oznacza różnice istotne $P < 0.05$. Źródło: Jaśkiewicz, Szczepanek, 2016 (20)

Tabela 7

Współczynnik zmienności zawartości AR w ziarnie pszenżyta ozimego w zależności od systemu uprawy roli, technologii produkcji i odmiany (%)

Czynniki		Rok zbioru	
		2011 i 2014	2013
System uprawy roli	Płużny	10,4	17,1
	Bezplężny	11,7	18,8
Technologia produkcji	Intensywna	11,8	16,4
	Integrowana	15,4	21,4
Odmiany	Pizzaro	15,8	–
	Pigmej	9,6	–
	Cerber	–	6,6
	Fredro	–	7,3

Źródło: Jaśkiewicz, Szczepanek, 2016 (20)

Tabela 8

Zawartość białka (%) and MTZ (g) w ziarnie pszenżyta ozimego w zależności od roku zbioru

Rok zbioru	MTZ (g)	Zawartość białka (%)
Year		
2011	40,2c [†]	11,2a
2013	41,0b	10,3b
2014	42,9a	10,5b

a, b oznacza różnice istotne $P < 0.05$

Źródło: Jaśkiewicz, Szczepanek, 2016 (20)

Tabela 9

Zależność między zawartością ARs w ziarnie a warunkami pogodowymi (współczynniki korelacji Pearson'a)

Miesiąc	Średnia temperatura powietrza	Suma opadów
Marzec	-0,27	0,53*
Kwiecień	-0,45*	0,35*
Maj	0,36*	0,23
Czerwiec	-0,08	0,48*
Lipiec	0,24	-0,51*

* oznacza istotność różnic dla $P < 0.05$;

Źródło: Jaśkiewicz, Szczepanek 2016 (20)

Podsumowanie

Wartość pokarmowa pszenżyta ozimego jest cechą silnie uwarunkowaną genetycznie ale zależy również od warunków pogodowych i czynnika agrotechnicznego. Stosując intensywną technologię, zmniejszając udział zbóż w zasiewach i wybierając odpowiednią odmianę można uzyskać zwiększenie zawartości pożądaných aminokwasów egzogennych i endogennych w ziarnie, a tym samym polepszyć jego wartość paszową i konsumpcyjną.

W warunkach pogodowych sprzyjających wykształcaniu dorodnego ziarna, intensywna technologia produkcji sprzyja akumulacji ARs w ziarnie pszenżyta, w porównaniu do technologii integrowanej w warunkach ograniczonych opadów. Dla produkcji żywności prozdrowotnej z pszenżyta o wysokiej zawartości ARs szczególnie sprzyjają optymalne warunki hydro-termiczne w fazie strzelanie w źdźbło - kłoszenie. Wysoka zawartość białka, korzystny skład aminos kwasowy i chemiczny oraz niska zawartość substancji antyżywnieniowych wyraźnie przemawiają za wykorzystaniem ziarna tego gatunku w żywieniu zwierząt gospodarskich.

Literatura

1. Alijošius S., Švirnickas G.J., Bliznikas S., Gružauskas R., Šašytė V., Racevičiūtė–Stupelienė A., Kliševičiūtė V., Daukšienė A.: Grain chemical composition of different varieties of winter cereals. *Zemdirbyste*, 2016, **103**, 3: 273-280.
2. Andersson A.A.M., Kamal–Eidin A., Fraš A., Boros D., Aman P.: Alkylresorcinols in wheat varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen. *J. Agric. Food Chem.*, **56**: 9722-9725.
3. Bellato S., Ciccoritti R., Del Frate V., Sgrulletta D., Carbone K.: Influence of genotype and environment on the content of 5-n alkylresorcinols, total phenols and on the antiradical activity of whole durum wheat grains. *J. Cereal Sci.*, 2013, **57**: 162-169.
4. Biel W., Jacyno E.: Chemical composition and nutritive value of Spring hulled barley varieties. *Bulgarian J. Agric. Sci.*, 2013, **19**(4), 721-727.
5. Biel W., Maciorowski R.: Ocena wartości odżywczej ziarna wybranych odmian pszenicy. *Żywność. Nauka. Technologia, Jakość*, 2012, **2**(81):45-55.
6. Boros D., Fraš A., Gołębowska K., Gołębowski D., Paczkowska O., Wiśniewska M.: Wartość odżywcza i właściwości prozdrowotne ziarna odmian zbóż i nasion rzepaku zalecanych do uprawy w Polsce. Monografia pod red. Boros D. i Fraš A. *Monografie i Rozprawy, I HAR-PIB*. 2015, **49**: 1-119.
7. Brzozowska I.: Wpływ herbicydów i sposobu nawożenia azotem na zawartość makroelementów w ziarnie pszenżyta ozimego. *Pam. Puł.*, 2006, **142**: 9-17.
8. Brzozowska I., Brzozowski J., Hruszka M.: Effect of various methods of weed control and nitrogen fertilisation on biological value of winter triticale grain protein. *Fragm. Agron.*, 2009, **26**(2): 16-25.
9. Buraczyńska D., Ceglarek F.: Plonowanie pszenżyta ozimego w zależności od przedplonu. *Fragm. Agron.*, 2009, **26**(1): 9-18.
10. Budzyński W., Szempliński W.: Pszenżyto. W: *Szczegółowa uprawa roślin*, red. Jasińska Z., Kotecki A., 2003, cz. I: 161-195.
11. Coffey M.T., Gerrits W.J.: Digestibility and feeding value of B858 triticale for swine. *J. Anim. Sci.*, 2009, **66**: 2728-2735.
12. Czaban J., Sułek A., Pecio Ł., Żuchowski J., Podolska G.: Effect of genotype and crop management systems on phenolic acid content in winter wheat grain. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 2014, **11**(3,4): 1201-1206.

13. Djekić V., Milovanović M., Staletić M., Perisić V.: Triticale implementation in nonruminant animals nutrition. *Macedonian J. Animal Sci.*, 2009, **2(1)**: 41-48.
14. Domska D., Kos J., Procyk Z., Rogalski L., Rytelowski A.: Porównanie wpływu zróżnicowanych dawek nawożenia azotem na zawartość białka i jego jakość w ziarnie pszenżyta, pszenicy i żyta uprawianych w północno-wschodniej Polsce. *Zesz. Nauk. AR Szczecin, Rolnictwo LXV*, 1997, **175**: 91-97.
15. Idkowiak M., Kordas L.: Uproszczenia w uprawie roli i nawożenia azotem a jakość ziarna pszenżyta ozimego. *Pam. Puł.*, 2005, **139**: 47-53.
16. Jaśkiewicz B.: Wpływ nawożenia azotem na plonowanie i jakość ziarna nowych odmian pszenżyta ozimego. *Pam. Puł.*, 2010, **152**: 95-103.
17. Jaśkiewicz B.: Wpływ nawożenia azotem na plonowanie i zawartość białka w ziarnie odmian pszenżyta ozimego. *Fragm. Agron.*, 2014, **31(1)**: 25-31.
18. Jaśkiewicz B., Kliza-Hołubowicz G.: Uprawa i wykorzystanie pszenżyta na paszę. *IUNG Puławy. Instr. Upowszech.*, 2008, **145**: 1-68.
19. Jaśkiewicz B.: Regionalne zróżnicowanie produkcji pszenżyta. *Rocz. Nauk. SERIA*. 2016, **8(1)**: 98-104.
20. Jaśkiewicz B., Szczepanek M. Crop management and variety have influence on alkylresorcinol content in triticale grain. *Acta Agric. Scand. Section B*, 2016, **66 (7)**: 570-574.
21. Jaśkiewicz B., Szczepanek M., Ochmian I. Aminoacid content in triticale grain depending on meteorological, agrotechnical and genetic factors. *Procciding 24. Dorocznej Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Badania na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich 2018”*, Łotwa (w druku).
22. Kozubek A., Tymań J.H.: Resorcinolic lipids, the natural nonisoprenoid phenolic amphiphiles and their biological activity. *Che. Rev.*, 1999, **99**: 1-25.
23. Kryńska B., Majda J., Kud K.: Wpływ poziomu i sposobu stosowania azotu na plonowanie pszenżyta ozimego i zawartość makroelementów w ziarnie. *Cz. II. Zawartość makroelementów w ziarnie pszenżyta ozimego. Fragm. Agron.*, 1997, **3**: 353-358.
24. Lubowicki R., Kotlarz A., Petkov K., Jaskowska I.: Ocena składu chemicznego i wartości biologicznej białka pszenżyta, pszenicy i żyta. *Zesz. Nauk. AR Szczec., ser. Rolnictwo*, 1997, **175(65)**: 243-248.
25. Lista Opisowa Odmian. Rośliny rolnicze. Zbożowe. COBORU. Słupia Wielka. 2018, ss.174.
26. Lynch B.S., Delzell E.S., Bechtel D.H.: Toxicology review and risk assessment of resorcinol: thyroid effects. *Reg Toxicol Pharmacol*, 2002, **36**: 198-210.
27. Makarska E.: Jakość ziarna odmian pszenżyta ozimego w warunkach stosowania wybranych herbicydów. *Wyd. AR Lublin. Rozpr. habil.*, 1997, ss. **205**.
28. Matyka S., Karol W., Wojciak M.: Skład mineralny ziarna zbóż. *Zesz. Nauk. WSR-P, Siedlce, ser. Zoot.*, 1993, **32**: 51-55.
29. Mpofu A., Sapirstein H. D., Beta T.: Genotype and environmental variation in phenolic content, phenolic acid Composition and antioxidant activity of hard spring wheat. *J. Agric. Food Chem.*, 2006, **54**: 1265-1270.
30. Petkov K., Bobko K., Biel W., Jaskowska I.: Ocena ziarna pszenżyta ozimego na podstawie składu chemicznego, aminokwasowego oraz jakości białka. *Folia Iniv. Agric. Stetin. Agricultura*, 2006, **247(100)**: 141-144.
31. Pisulewska E., Zając T., Oleksy A.: Skład mineralny ziarna wybranych odmian pszenżyta ozimego w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem. *Biul. IHAR*, 1998, **205/206**: 179-188.
32. Pisulewska E., Ścigalska B., Szymczyk B.: Porównanie wartości pokarmowej ziarna polskich odmian pszenżyta jarego. *Zesz. Nauk. AR Szczecin, Ser. Rolnictwo*, 2000, **206 (82)**: 219-224.
33. Rakowska M.: Wartość żywieniowa ziarna pszenżyta. Rozdział 13 w pracy zbiorowej „Biologia pszenżyta”, pod red. Cz. Tarkowskiego, PWN Warszawa, 1989, 340-351.
34. Ross A.B., Karnal-Elidin A., Amann P.: Dietary alkylresorcinola: absorption, bioactivities, and possible use as biomarkers of whole grain wheat – and rye – rich foods. *Nutr. Rev.*, 2004, **62**: 81-95.
35. Rynek Zbóż.: Stan i perspektywy. Analizy rynkowe. MRiRW, 2017.

36. Samborski S., Gozdowski D., Rozbicki J.: Wpływ nawożenia azotem na jakość ziarna odmian tradycyjnych i krótkosłomych pszenżyta ozimego. *Fragm. Agron.*, 2008, **1(97)**: 372-390.
37. Shewry P. R.: Improving the protein content and composition of cereal grain. *J. Cereal Sci.*, 2007, **46**: 239-250.
38. Stankiewicz Cz.: Studium nad plonowaniem i wartością paszową ziarna pszenżyta w warunkach Wysoczyzny Siedleckiej. *WSRP Siedlce, Rozp. Nauk.* 1998, **51**: 1-99.
39. Stankiewicz Cz. 2005: Skład aminokwasowy i wartość biologiczna białka pszenżyta jarego w zależności od gęstości wysiewu i stosowanych herbicydów. *Acta Sci. Pol., Agricultura*, **4(1)**: 127-139.
40. Ścigalska B., Pisulewska E., Kołodziejczyk M.: Zawartość makro- i mikroskładników w ziarnie odmian pszenżyta jarego. *Folia Univ. Agric. Stetin. Agricultura*, 2000, **206(82)**: 287-292.
41. Zając T., Szafrański W., Gierdziewicz M., Pieniek J.: Plonowanie pszenżyta ozimego uprawianego po różnych przedplonach. *Fragm. Agron.*, 2006, **23(2)**: 174-184.
42. Ziegler J.U., Steingass C.B., Longin C.F.H., Würschum T., Carle, R., Schweigert, R.M.: Alkylresorcinol composition allows the differentiation of *Triticum* spp. having different degrees of ploidy. *Journal of Cereal Science*, 2015, **65**: 244-251.
43. Żuchowski J., Jończyk K., Pecio L., Oleszek W. Phenolic acid concentrations in organically and conventionally cultivated spring and winter wheat. *J. Sci. Food Agric.*, 2011, **91**: 1089-1095.

Adres do korespondencji:

dr hab. Bogusława Jaśkiewicz
Zakład Uprawy Roślin Zbożowych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 813
e-mail: kos@iung.pulawy.pl

Danuta Leszczyńska, Piotr Kostiw

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

WPLYW CZYNNIKÓW AGROTECHNICZNYCH I SIEDLISKOWYCH
NA PLONOWANIE I JAKOŚĆ ZIARNA JĘCZMIENIA
W WARUNKACH ZMIENIAJĄCEGO SIĘ KLIMATU*

Słowa kluczowe: jęczmień, plon ziarna, jakość ziarna, czynniki agrotechniczne i siedliskowe, zmiany klimatu

Wstęp

Jęczmień ma duże znaczenie w całości gospodarce zbożowej zarówno w kraju, jak i na świecie (36, 40). O wielkości plonu i jakości ziarna decydują przede wszystkim: genetyczny potencjał plonowania odmiany, jakość gleby, klimat oraz rodzaj zastosowanej technologii produkcji (7, 10). W ostatnich latach na efekt produkcyjny roślin zbożowych silniej oddziałują zmienne w latach i rejonach warunki pogody (11, 12, 35).

Duże zainteresowanie jęczmieniem wynika z uniwersalności wykorzystania ziarna tego gatunku na paszę oraz w przemyśle browarnym i spożywczym (kasza, płatki). Ponadto jęczmień jest cennym komponentem mieszanek zbożowych. W Polsce uprawa mieszanek zbożowych jest bardziej popularna niż w innych krajach Unii Europejskiej. Na szczególną uwagę zasługują mieszanki międzyodmianowe (28). Produkcja ziarna jęczmienia wymaga stosowania racjonalnych technologii uprawy jęczmienia jarego i ozimego oraz korzystania z postępu hodowlanego (26, 27, 29).

W pracy dokonano przeglądu literatury dotyczącej wpływu różnych czynników na efekt produkcyjny jęczmienia, a także zamieszczono niepublikowane materiały Zakładu Uprawy Roślin Zbożowych IUNG-PIB w Puławach.

Zmiany klimatu, a efekty produkcyjne

Wpływ zmian klimatu na efekty produkcyjne roślin zbożowych wymaga modyfikacji ich zaleceń agrotechnicznych. Prognozowane zmiany klimatu mogą przyczynić się do

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

zmian warunków wegetacji roślin z powodu częstszego występowania susz i innych zjawisk ekstremalnych (11, 12). Niedobory wody w glebie oraz rozkład opadów nie dostosowany do zapotrzebowania roślin w okresach tzw. krytycznych powodują straty w plonach roślin. Według Górskiego i in. (8) cechą charakterystyczną klimatu Polski jest większa zmienność plonu w latach niż zróżnicowanie regionalne. Zmiana klimatu bezpośrednio wpływa na produkcję roślinną poprzez zmianę warunków atmosferycznych między innymi warunków termicznych, sum opadu atmosferycznego oraz nasilenia zjawisk ekstremalnych. Wraz ze zmianą klimatu zmieniają się czynniki pośrednie decydujące o plonowaniu, takie jak wymagania dotyczące wysiewu zbóż, nawożenia oraz wybrania odmian dostosowanych do określonych warunków. Jęczmień jary odznacza się wśród zbóż jarych, większą niezawodnością plonowania, z uwagi na mniejszą wrażliwość na czynniki klimatyczne o charakterze ograniczającym (niedobór opadów, duże wahania temperatury); (4, 5).

Zaletą jęczmienia ozimego jest największa wśród zbóż odporność na suszę wiosenną, co powinno z czasem nabierać znaczenia w związku z ocieplaniem się klimatu i potęgowaniem się suszy (w największym stopniu w Polsce dotyczy to Kujaw i Wielkopolski). Szybki rozwój roślin i znacznie wcześniejsze od innych zbóż wystąpienie okresu krytycznego zapotrzebowania na wodę, umożliwia efektywniejsze wykorzystanie pozimowych zapasów wody. Jęczmień ozimy wyróżnia się wysokim potencjalnym plonowaniem ze względu na zdolność wytwarzania dużej liczby kłosów na jednostce powierzchni, a w latach o łagodniejszych zimach i przy wystąpieniu susz wiosennych, najlepiej plonuje wśród wszystkich gatunków zbóż (17, 37). Ozima forma jęczmienia charakteryzuje się specyficznymi wymaganiami siedliskowo-agrotechnicznymi, dotyczącymi warunków klimatycznych, stosunków wodno-powietrznych, pH gleby, terminu i gęstości siewu (13, 14, 15). Mała odporność na wymarzenie, duża wrażliwość na zakwaszenie gleby i niedostatek w niej powietrza, podatność na wyleganie oraz wymagania wcześniejszego siewu w porównaniu do innych gatunków zbóż ozimych powodują konieczność ścisłego przestrzegania zasad uprawy jęczmienia ozimego (16, 18). Wadą jęczmienia ozimego ograniczającą jego uprawę w Europie Wschodniej jest słaba zimotrwałość, ale w pracach hodowlanych występuje poprawa mrozoodporności wśród nowych odmian. Obserwuje się trend powolnego przesuwania się uprawy jęczmienia ozimego w kierunku wschodnim, co ma związek z postępowaniem hodowlanym w zakresie zimotrwałości odmian (17, 37).

W badaniach IUNG-PIB w Puławach stwierdzono duży wpływ warunków glebowych i ilości opadów na plonowanie jęczmienia jarego, przy mniejszym znaczeniu temperatury (tab. 1). Największe plony ziarna jęczmienia jarego uzyskano na glebach kompleksu pszennego dobrego, a najmniejsze na glebach kompleksu żytniego dobrego. Wysokie jego plony uzyskano w latach o ilości opadów zbliżonej do średniej wieloletniej lub wyższej od średniej wieloletniej, a znacznie niższe plony otrzymano w warunkach małej ilości opadów. W warunkach dużej ilości opadów korzystna dla plonowania jęczmienia jarego okazała się wyższa temperatura, natomiast

w warunkach małej ilości opadów było odwrotnie. Zbyt duża ilość opadów sprzyja silniejszemu wyleganiu roślin i większemu nasileniu chorób, co wpływa ujemnie na wielkość i jakość plonu ziarna jęczmienia. Jeszcze bardziej ujemnie wpływa na to znaczny niedobór wody dla roślin.

Tabela 1

Plon ziarna ($t\ ha^{-1}$) jęczmienia jarego w zależności od warunków glebowych i przebiegu warunków meteorologicznych

Ilość opadów	Temperatura powietrza	Kompleks glebowo-rolniczy		
		Pszenny dobry	Żytni b. dobry	Żytni dobry
Duża	wyższa	4,92	4,47	4,25
	niższa	4,68	4,16	4,03
Średnia	wyższa	5,03	4,58	4,21
	niższa	4,91	4,39	4,25
Mała	wyższa	4,25	3,77	3,26
	niższa	4,50	3,98	3,67

Źródło: badania IUNG-PIB (31, 32)

Wpływ terminu siewu na produktywność jęczmienia

Wyniki badań nad terminem siewu jęczmienia ozimego wskazują na zależność tego czynnika głównie od warunków klimatyczno – glebowych, a ponadto od doboru odmiany (23, 24). W doświadczeniach IUNG-PIB przeprowadzonych w ostatnim okresie stwierdzono zależność reakcji jęczmienia ozimego na termin siewu od jakości gleby. Na glebach zwięźlejszych należących do kompleksu pszenno dobrego i żytniego bardzo dobrego, plony ziarna przy terminie siewu w I dekadzie września były podobne jak przy terminie w II dekadzie września. Na glebach kompleksu żytniego dobrego wystąpiła nieduża zniżka plonu, a w przypadku kompleksu żytniego słabego znaczna zniżka plonu przy terminie w II dekadzie września. Przy terminie w III dekadzie września plony ziarna były istotnie niższe niezależnie od gleby. Dodatni wpływ odleżenia się gleby silniej zaznaczył się przy późnym terminie siewu. Reakcja jęczmienia ozimego na termin siewu zależała w dużym stopniu od warunków pogodowych. Większe plony ziarna przy wczesnym terminie siewu (I dekada września) osiągnęto w sezonach o krótkiej jesieni, natomiast w przypadku długiej jesieni oraz długo zalegającej pokrywy śnieżnej w czasie zimy jęczmień wysiany wcześniej plonował niżej niż wysiany później. Przyczyną słabszego plonowania wczesnych zasiewów jęczmienia ozimego w przypadku długiej i ciepłej jesieni jest nadmierne rozrastanie się roślin i tworzenie dużej masy liści, przez co jęczmień staje się bardziej podatny na wymarzenie w przypadku braku pokrywy śnieżnej w zimie, a w warunkach długiego zalegania śniegu często ulega wyprzeniu i porażeniu przez pleśń śniegową. Ponadto jęczmień wysiany wcześniej może być przy ciepłej jesieni atakowany przez szkodniki (ploniarka zbożówka, skoczek sześciorek i inne) lub przez mączniaka, a w przypadku małej powierzchni zasiewu jego wczesne wschody mogą być niszczone przez ptactwo.

Jęczmień siany późno w warunkach krótkiej jesieni rośnie wolno, słabo się krzewi i niedostatecznie hartuje przed zimą. Gorsze w takim przypadku jego przezimowanie, wykształcenie mniejszej liczby kłosów wskutek krótszego okresu wegetacji, jest powodem słabszego plonowania. Im dłuższa i cieplejsza jest jesień w danym rejonie, przy korzystnym rozkładzie opadów, tym później przypada optymalny termin siewu jęczmienia ozimego. Również na lepszych glebach jego siew może być wykonany później niż na słabszych, ponieważ gleba lekka jest bardziej podatna na przemarzanie i na takiej glebie rośliny słabiej się krzewią. Większej tolerancyjności na opóźnienie siewu sprzyja lepsza zimotrwałość niektórych odmian oraz ich zdolność do silniejszego krzewienia (37, 38).

W badaniach nad architekturą łanu jęczmienia ozimego stwierdzono jej zależność głównie od warunków pogodowych w czasie wegetacji, a także od terminu siewu. Gorsze wyrównanie łanu przy późnym terminie siewu występowało w latach o mniej sprzyjających warunkach pogodowych. Przy dużym rozwarstwieniu pionowym łanu rośliny niskie są zacieniane przez rośliny wysokie, co jest powodem niższej plenności tych pierwszych (34).

Optymalny termin siewu jęczmienia ozimego jest więc trudny do ustalenia, ze względu na jego ścisły związek z długością trwania jesieni, która nie jest przewidywalna. W przypadku wczesnego nadejścia zimy, wyższe plony jęczmienia otrzymuje się z wczesnych jego zasiewów (5-10 września). W warunkach długiej i ciepłej jesieni wysoki plon jęczmienia można uzyskać z późnych jego zasiewów (20-25 września). Najlepiej więc wysiewać jęczmień w terminie średniowczesnym t.j. 10-15 września w rejonach wschodnich, 12-18 w rejonie centralnym i 16-20 września w rejonach zachodnich.

Reakcja jęczmienia na ilość wysiewu

W licznych wieloletnich i wielopunktowych (w różnych rejonach) doświadczeniach IUNG-PIB badano reakcję jęczmienia ozimego na gęstość siewu w różnych warunkach siedliskowo-agrotechnicznych (20, 38). Wpływ gęstości siewu na plonowanie jęczmienia ozimego był zależny głównie od jakości gleby, zwłaszcza od jej składu granulometrycznego i kwasowości, a ponadto od terminu siewu i warunków pogodowych. Zależność wpływu gęstości siewu na plonowanie jęczmienia ozimego była mniej istotna od innych czynników agrotechnicznych niż w przypadku jęczmienia jarego (25). Istotny wpływ gęstości siewu na plon ziarna jęczmienia wynika stąd, że decyduje ona o stopniu konkurencji między roślinami o światło, wodę i składniki pokarmowe (41). W miarę zwiększania zagęszczenia roślin w łanie zmniejsza się penetracja światła, ogranicza krzewistość roślin, wzrasta ich wypadanie oraz podatność na wyleganie i porażenie chorobami. Nadmiernemu zwiększaniu obsady roślin i kłosów towarzyszy spadek liczby ziaren w kłosie i masy 1000 ziaren. Zbyt mała ilość wysiewu nie pozwala na uzyskanie dużego plonu, z powodu niewystarczającej obsady kłosów, pomimo dużej w tych warunkach produktywności kłosa.

Słabszą reakcję jęczmienia ozimego na wzrastającą gęstość siewu obserwowano w dobrych warunkach glebowych. W efekcie dobrego zaopatrzenia roślin w wodę i składniki mineralne występuje silne ich krzewienie się, co warunkuje uzyskanie optymalnej liczby kłosów na jednostce powierzchni przy mniejszej obsadzie roślin. Na gorszych glebach (mała zawartość próchnicy, luźniejszy skład granulometryczny, kwaśny odczyn) racjonalne jest stosowanie większej ilości wysiewu ziarna, z uwagi na słabsze w takich warunkach krzewienie się jęczmienia. Szczególnie ważne jest to w przypadku niskiego pH gleby, na co jęczmień ozimy jest najbardziej wrażliwy spośród gatunków zbóż.

Opóźnienie terminu siewu jęczmienia ozimego jest powodem skrócenia fazy krzewienia się roślin i tym samym zmniejszenia liczby kłosów na jednostce powierzchni, szczególnie w przypadku wczesnego nadejścia zimy. Wówczas racjonalne jest stosowanie większej ilości wysiewu. W latach o długim trwaniu jesieni można uzyskać odpowiednią liczbę kłosów także przy opóźnionym terminie siewu. Współdziałanie gęstości siewu z terminem siewu jęczmienia ozimego jest więc słabsze niż w przypadku jęczmienia jarego. W rejonach o większym nasileniu chorób i częstszym zjawisku wylegania roślin (przy obfitych opadach deszczu o charakterze burzowym) zaleca się stosowanie rzadszego siewu jęczmienia ozimego.

Stwierdzono niejednakową reakcję odmian jęczmienia ozimego na gęstość siewu (21, 22). Niektóre odmiany wyżej plonują przy większym, a inne przy mniejszym zagęszczeniu łanu. Wiąże się to ze zróżnicowanymi wymaganiami świetlnymi, niejednakową zdolnością do rozkrzewienia roślin, odpornością na wyleganie i choroby. Na ogół większej ilości wysiewu wymagają odmiany bardziej tolerancyjne na wzajemne zacienianie się roślin, słabiej krzewiące się, odporniejsze na wyleganie i choroby. Zróżnicowanie wymagań odmian jęczmienia ozimego co do gęstości siewu jest mniejsze niż wśród odmian jęczmienia jarego.

Norma wysiewu jęczmienia ozimego zależy głównie od jakości gleby, przedplonu i terminu siewu (tab.2). Gęściej powinno się wysiewać zboża na gorszych glebach, po słabszym przedplonie i przy opóźnieniu terminu siewu.

Tabela 2

Ilość wysiewu* różnych odmian jęczmienia ozimego w $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w zależności od gleby i terminu siewu

Odmiany	Kompleksy glebowo-rolnicze					
	pszenny bardzo dobry, pszenny dobry		żytni bardzo dobry, zbożowo-pastewny mocny		żytni dobry pszenny wadliwy	
Bażant, Lomerit, Maybrit, Kobuz, Scarpia, Karakan	Termin siewu**					
	wczesny 145-155	późny 154-170	wczesny 158-168	późny 166-183	wczesny 170-184	późny 180-196
Bartosz, Holmes, KWS Kosmos, Wintmalt, SU Melania, KWS Meridian, Zenek, Henriette	150-160	159-175	163-173	171-188	175-189	185-200

Tabela 2 cd.

Souleyka, Epoque, Fridericus, Metaxa, Quadriga, Nickela, Titus, Scarpia, SU Vireni, SU Elma, Antonella, Vincenta	155-165	164-180	168-178	176-193	180-194	190-205
---	---------	---------	---------	---------	---------	---------

* Normy wysiewu obliczono przy uwzględnieniu masy 1000 ziaren – 40 g i zdolności kiełkowania – 95 %. W przypadku nasion o wyższej masie 1000 ziaren należy zwiększyć normę wysiewu o tyle, o ile jest wyższa MTZ.

** Wczesny termin siewu: 10- 15 września, późny termin: 20-25 września . W przypadku siewu między 15 a 20 IX należy stosować pośrednią normę wysiewu. Górną granicę przedziału normy wysiewu należy stosować przy dużym opóźnieniu siewu.

Źródło: badania IUNG- PIB (27)

Nawożenie azotem

Wielkość dawek nawozów azotowych zależy od szeregu czynników warunkujących wielkość plonu, takich jak: żyzność gleby, przedplon, przebieg pogody w okresie wegetacji roślin, nasilenie występowania chorób i szkodników, a także poziomu agrotechniki oraz typu użytkowania ziarna – pastewny czy browarny.

Duże potrzeby nawożenia azotem są na glebach średniej jakości o pH przekraczającym 6, gdy opady zimowe znacznie przekroczyły normę, przedplon nawożony małą dawką azotu, brak roślin motylkowych w zmianowaniu, wysoki poziom agrotechniki, optymalny termin siewu oraz pełna ochrona roślin. Małe potrzeby nawożenia azotem są w odmiennych warunkach (27).

Dawki azotu do 50 kg·ha⁻¹ można stosować jednorazowo w czasie ruszenia wegetacji roślin wiosną. Większe dawki (60-90 kg·ha⁻¹) pod jęczmień pastewny zaleca się dzielić na dwie: 60 % po ruszeniu wegetacji i 40 % na początku fazy strzelania w źdźbło, lub trzy: 50% przy ruszeniu wegetacji, 35% pod koniec fazy krzewienia i 15% na początku kłoszenia. W warunkach suszy większe efekty przynosi dokarmianie roślin (II i III dawka) nawozami płynnymi, które w razie potrzeby (objawy niedoboru miedzi, manganu) można łączyć z ciekłymi nawozami mikroelementowymi, a także z niektórymi pestycydami.

Azot silnie wpływa na wzrost i plonowanie roślin, a także na ilość i jakość białka w ziarnie (30). Dawka azotu pod jęczmień browarny nie może być tak duża jak na cele pastewne, aby nie dopuścić do zbyt wysokiej zawartości białka, wykluczającej przeznaczenie ziarna jęczmienia na cele browarne. Większej zasobności w azot można spodziewać się na glebach zwięzłych (kompleks pszenno-buraczany lub dobry), w stanowisku po okopowych (zwłaszcza po burakach). W takich warunkach optymalną dawką jest 30-37 kg N·ha⁻¹. W stanowisku po pszenicy można zalecać 42-45 kg N·ha⁻¹ na kompleksach pszenno-buraczanych i 48-53 kg N·ha⁻¹ na kompleksie żytnim bardzo dobrym. W przypadku wysokiego plonowania pszenicy (powyżej 6 t·ha⁻¹) dawki te należy zwiększyć o 10-15%. Dawki azotu pod jęczmień browarny można stosować w całości przedsiewnie.

Azot najsilniej ze wszystkich składników pokarmowych wpływa także na wzrost i plonowanie jęczmienia jarego oraz zawartość białka w jego ziarnie. Wpływ azotu potwierdzono w wielu pracach (26, 32). Optymalna wielkość dawki azotu pod jęczmień zależy od potrzeb nawożenia azotem, kompleksu glebowego i spodziewanego poziomu jego plonowania (tab. 3). Bardzo duże potrzeby nawożenia azotem są wówczas, gdy opady zimowe przekroczyły normę, zaś pogoda wiosną jest umiarkowanie sucha i zimna, przedplon nawożono małą dawką azotu oraz gdy istnieje możliwość wysiewu jęczmienia w terminie optymalnym, a także przy stosowaniu wysokiego poziomu agrotechniki. Małe potrzeby nawożenia azotem występują przy małej ilości opadów zimowych, gdy w zmianowaniu wysiewano rośliny bobowate lub rośliny nawożone dużymi dawkami obornika, gdy pogoda wiosną jest wilgotna i ciepła oraz przy niższym od optymalnego pH gleby (32). Nawożenie azotem do poziomu $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ należy zastosować jednorazowo przed siewem. Natomiast większe dawki powinny być podzielone na dwie części: 60% przed siewem jęczmienia, a resztę na początku fazy strzelania w źdźbło. W stanowisku po strączkowych można zastosować przedsięwzięcie tylko 30-40% ogólnej dawki azotu.

Istotne znaczenie dla efektywności nawożenia azotem ma również zdolność danej odmiany do produktywnego wykorzystania tego składnika (20). Badania w warunkach kontrolowanych wykazały, że odmiany: Rubinek, Mercada, Rufus, Iron, Raskud i Toucan lepiej wykorzystują duże dawki azotu niż pozostałe z nimi porównywane (30).

Tabela 3

Dawki N w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ zalecane dla jęczmienia jarego na cele pastewne i spożywcze

Kompleks glebowo-rolniczy	Potrzeby nawożenia azotem			
	bardzo duże	duże	średnie	małe
Pszenny bardzo dobry Pszenny dobry	70-80*	45-60	45-60	35-45
Żytni bardzo dobry Zbożowo – pastewny mocny	75- 85	65-75	50-65	40-50
Pszenny wadliwy Żytni dobry	65-75	60-70	40-55	30-40
Żytni słaby Zbożowo – pastewny słaby	60-70	50- 60	35-50	30-35

* większe dawki należy stosować na glebach w dobrej kulturze

Źródło: opracowanie IUNG-PIB (30).

Dla jęczmienia jarego z przeznaczeniem na cele browarne powinno się stosować niższe dawki azotu (podobnie jak w przypadku jęczmienia ozimego), aby nie dopuścić do za wysokiej zawartości białka w ziarnie. W dobrych stanowiskach (po okopowych i oleistych) zaleca się $25\text{-}30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, a w gorszych (po zbożach) $35\text{-}40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Jakość ziarna

Jęczmień jest jednym z ważniejszych gatunków roślin rolniczych, jego ziarno jest wykorzystywane w żywieniu ludzi i zwierząt oraz w przetwórstwie przemysłowym (6, 43).

Uzyskanie dobrej wartości browarnej ziarna jęczmienia wymaga innego podejścia odnośnie niektórych elementów agrotechniki (26). Przede wszystkim chodzi tu o optymalną zawartość białka w ziarnie, która powinna być niska (10-11% s. m.) z przeznaczeniem dla browaru, a wysoka na cele pastewne i spożywcze. Jęczmień browarny, jak również spożywczy, wymaga lepszego wyrównania ziarna (udział ziarna celnego powyżej 80%) w porównaniu z jęczmieniem na cele pastewne.

W związku ze zwiększeniem produkcji i spożycia piwa w ostatnim okresie wzrasta zapotrzebowanie na ziarno o wysokiej jakości browarnej.

Współcześnie zboża niechlebowe, w szczególności jęczmień (*Hordeum vulgare*) i owies (*Avena sativa*), uznane są za rośliny zbożowe XXI wieku i zaliczane do surowców o właściwościach funkcjonalnych (9, 42). Spośród wielu naturalnych surowców pochodzenia roślinnego wymienione gatunki zbóż niechlebowych charakteryzują się wyjątkową wartością żywieniową. Wartość biologiczna białek zbożowych układa się w następującym szeregu: owies > żyto > jęczmień > kukurydza > pszenica.

Zboża niechlebowe wyróżniają się większą aktywnością przeciwutleniającą niż zboża chlebowe i można je uszeregować w następującej kolejności: jęczmień > owies > pszenica = żyto. Posiadają duże znaczenie profilaktyczne w hipercholesterolemii i chorobach serca (6). Niepokojącym zjawiskiem jest wzrost chorób cywilizacyjnych u ludzi, a przyczynami takiej sytuacji jest między innymi styl życia i sposób odżywiania. Szersze wykorzystanie w codziennej diecie ziarna oraz przetworów z jęczmienia i owsa stwarza nowe możliwości w racjonalnym żywieniu człowieka i poprawie stanu zdrowia ludzi.

W literaturze naukowej i popularnej spotykamy się z coraz wyraźniejszym propagowaniem zasad zdrowego odżywiania się. Wiele badań naukowych wskazuje na pozytywny wpływ natywnego błonnika pokarmowego w profilaktyce chorób cywilizacyjnych (1, 2, 3, 44). Zbożowe produkty wysokobłonnikowe o wysokiej zawartości frakcji rozpuszczalnej stały się więc bardzo polecanym i pożądanym składnikiem żywności. Mogą one być pozyskiwane tylko z surowców o wysokiej zawartości błonnika pokarmowego jak np. owies czy jęczmień (19, 33, 39). Funkcjonalne właściwości produktów jęczmiennych wynikają głównie z ilości i jakości zawartego w ziarnie błonnika pokarmowego.

Oddziaływanie fizjologiczne błonnika pokarmowego można rozpatrywać dwukierunkowo w odniesieniu do frakcji rozpuszczalnej (SDF) i nierozpuszczalnej (IDF). Właściwe zachowanie proporcji IDF i SDF w pożywieniu gwarantuje skojarzone działanie obu frakcji i gwarantuje kompleksową profilaktykę i działanie prozdrowotne.

Zawartość błonnika całkowitego (TDF) i jego składowych (IDF i SDF) jest zróżnicowana w ziarnie odmian jęczmienia (tab. 4). Istotnie wyższą zawartością błonnika całkowitego (TDF) i frakcji nierozpuszczalnej błonnika (IDF), a także zawartością (1,3)(1,4)- β -D glukanów wyróżniała się odmiana Rufus.

Tabela 4

Zawartość błonnika pokarmowego całkowitego (TDF), rozpuszczalnego (SDF) i nierozpuszczalnego (IDF) oraz zawartość beta-glukanów, popiołu i białka ogólnego w ziarnie w zależności od odmian i gęstości siewu

Czynnik doświadczenia	TDF % s.m.	SDF % s.m.	IDF % s.m.	Beta- glukany % s.m.	Popiół % s.m.	Białko % s.m.
Odmiana						
Rubinek	23,3 b**	5,6 a	17,8 b	3,97ab	2,19 a	12,5 a
Rufus	26,0 a	5,5 a	20,5 a	4,09 a	2,18a	11,6 b
Skarb	24,2 b	5,9 a	18,2 b	3,87 b	2,23a	12,0 ab
Gęstość siewu*						
250	24,9 a**	5,7 a	19,1 a	3,92 a	2,20 a	11,9 a
450	24,5 a	5,8 a	18,8 a	4,03 a	2,19 a	12,2 a

* liczba nasion · m⁻²

** Wyniki w tych samych kolumnach oznaczone innymi literami różnią się istotnie

Źródło: Noworolnik i in., 2014 (33)

Podsumowanie

Prognozowane scenariusze wpływu zmian klimatu na efekty produkcyjne roślin zbożowych wymagają modyfikacji zaleceń agrotechnicznych zbóż. Czynniki agrotechniczne wpływające na plonowanie i kształtowanie cech jakościowych jęczmienia silnie współdziałają ze sobą, a także z czynnikami siedliskowymi i biologicznymi.

Bardzo ważne jest wdrażanie do praktyki nowych plenniejszych i odporniejszych na choroby odmian jęczmienia jarego i ozimego. Należy dobrać odmiany dostosowane do warunków klimatycznych w danym rejonie kraju i uwzględnić optymalne wymagania w konkretnych warunkach siedliskowo-agrotechnicznych.

Powyższe przesłanki wskazują także na potrzebę podjęcia badań naukowych nad jakością ziarna zbóż przeznaczonych na cele spożywcze, w szczególności stosowanego do produkcji żywności o cechach funkcjonalnych. Dotyczy to szczególnie doboru odmian jęczmienia pod względem zawartości białka, zawartości błonnika pokarmowego, jego składu frakcyjnego oraz zawartości (1,3)(1,4)-β-D glukanów. Należy także wykazać możliwości modyfikowania funkcjonalnych cech jakościowych ziarna jęczmienia poprzez analizę i zmianę ważniejszych czynników agrotechnicznych i genetycznych.

Literatura

1. Behall K.M., Hallfrisch J.G.: Effects of barley consumption on CVD risk factors. *Cereal Foods World*, 2006, **51**(1): 12-15.
2. Behall K.M., Schofield D.J., Hallfrisch J.G.: Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women. *J. Clin. Nutr.*, 2004, **80**: 1185-1193

3. Bird A. R., Jackson M., King R.A., Davies D.A., Usher S., Topping D.L.: A novel high-amylose barley cultivar (*Hordeum vulgare* var. *Himalaya 292*) lowers plasma cholesterol and alters indices of large-bowel fermentation in pigs. *Brit. J. Nutr.*, 2004, **92**: 607-615.
4. Eagles H.A., Bedgood A.G., Panozzo J.F., Martin P.: Cultivar and environmental effects on malting quality in barley. *Australian J. Agric. Research*, 1995, **46**: 831-847.
5. Friedt W., Ordon F.: Barley Production and Breeding in Europe: Modern Cultivars Combine Disease Resistance, Malting Quality and High Yield. *Advance in Barley Sciences*, 2013: 389-400.
6. Gąsiorowski H. (red.): Jęczmień - Chemia i Technologia. PWRiL, Poznań, 1997.
7. Grabiński J.: Porównanie plonowania zbóż jarych i ozimych. *Pam. Puł.*, 2002, **130/1**: 261-267.
8. Górski T., Krasowicz S, Kuś J.: Glebowo-klimatyczny potencjał Polski w produkcji zbóż. *Pam. Puł.*, 1999, **114**: 127-142.
9. Kawka A.: Współczesne trendy w produkcji piekarskiej – wykorzystanie owsa i jęczmienia jako zbóż niechlebowych. *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość*. 2010, **3**: 25-43.
10. Kościelniak W., Dreczka M.: Nowoczesna uprawa zbóż. Wyd. APRA, Poznań 2009.
11. Kozyra J., Doroszewski A., Nieróbcza A.: Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 2009, **14**: 243-257.
12. Kozyra J., Nieróbcza A., Mizak K., Pudełko R., Borzęcka-Walker M., Faber A., Doroszewski A.: Zmiana klimatu – nowe wyzwania dla rolnictwa. *Studia i Raporty IUNG-PIB Puławy*, 2010, **19**: 133-144.
13. Leszczyńska D.: Stan, uwarunkowania uprawy jęczmienia i dobór odmian do ekologicznego gospodarowania. (W:) *Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie*. Monografia PIMR Poznań. 2008, **5**: 64-74.
14. Leszczyńska D.: Wybrane elementy technologii uprawy jęczmienia ozimego. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2014, **41(15)**: 57-70.
15. Leszczyńska D., Noworolnik K.: Integrowana uprawa jęczmienia ozimego na cele browarne. *Instr. upowsz.* 197, 2014: ss. 18.
16. Leszczyńska D., Noworolnik K., Brzóška F.: Uprawa jęczmienia ozimego na cele pastewne. *Instr. upowsz.* 147, IUNG-PIB Puławy, 2008, ss. 54.
17. Lista opisowa odmian. Rośliny zbożowe. 2017, COBORU, ss. 187.
18. Listowski A.: *Agrofizjologiczne podstawy produktywności roślin*. PWN Warszawa 1979.
19. Muir J.G., Yeow E.G.W., Keogh J., Pizzey C., Bird A.R., Sharpe K., O’Dea K., Macrae F.A.: Combining wheat bran with resistant starch has more beneficial effects on fecal indexes than does wheat bran alone. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2004, **79**: 1020-1028.
20. Noworolnik K.: Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na plonowanie jęczmienia jarego w różnych warunkach siedliska. *IUNG-PIB Puławy, Monogr. i Rozpr. Nauk.* 2003, **8**: 1-66.
21. Noworolnik K.: Określenie gęstości siewu zbóż w zależności od warunków siedliskowo-agrotechnicznych. *IUNG-PIB Puławy, Instr. upowsz.* 110, 2006, : 1-13.
22. Noworolnik K.: Reakcja wybranych odmian jęczmienia jarego na gęstość siewu. *Pol. J. Agron.*, 2015, **15**: 63-68.
23. Noworolnik K., Leszczyńska D.: Porównanie reakcji odmian jęczmienia jarego na termin siewu i gęstość siewu. *Pam. Puł.* 1998, **112**: 163-168.
24. Noworolnik K., Leszczyńska D.: Wpływ gęstości i terminu siewu na wielkość i strukturę plonu ziarna odmian jęczmienia jarego. *Biul. IHAR*, 2004a, **231**: 357–363.
25. Noworolnik K., Leszczyńska D.: Plon ziarna i białka jęczmienia nagoziarnistego i oplewionego w różnych warunkach siedliska w zależności od gęstości siewu. *Pam. Puł.*, 2004b, **138**: 117-123.
26. Noworolnik K., Leszczyńska D., Najewski A.: Charakterystyka i technologia uprawy odmian jęczmienia jarego. *IHAR Radzików, IUNG-PIB Puławy, COBORU Słupia Wielka*, 2007.

27. Noworolnik K., Leszczyńska D.: Uprawa roli i siew w integrowanej produkcji jęczmienia jarego. W: Integrowana produkcja jęczmienia ozimego i jarego. Red. M. Mrówczyński i M. Korbas. IOR Poznań, 2010: 13-20.
28. Noworolnik K., Leszczyńska D.: Integrowana uprawa mieszanin odmian jęczmienia ozimego na cele paszowe. Instr. upowsz. 190, IUNG-PIB Puławy, 2012: ss. 20.
29. Noworolnik K., Leszczyńska D., Dworakowski T., Sułek A.: Wpływ odmiany i nawożenia azotem na plonowanie jęczmienia ozimego. *Fragm. Agron.*, 2009, **1(29)**: 89-95.
30. Noworolnik K.: Plonowanie i jakość ziarna odmian jęczmienia jarego w zależności od dawki azotu. *Fragm. Agron.*, 2013a, **30(3)**: 123-131.
31. Noworolnik K.: Cechy morfologiczne i jakościowe oraz plonowanie jęczmienia jarego w zależności od odmian i terminu siewu. *Fragm. Agron.*, 2013b, **30(4)**: 105-113.
32. Noworolnik K.: Agrotechnika w kształtowaniu plonu i jakości ziarna jęczmienia jarego na cele pastewne i spożywcze. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2014a, **41(15)**: 21-37.
33. Noworolnik K., Wirkijowska A., Mikos-Szymańska M.: Effect of genotype and nitrogen fertilization on grain yield and quality of spring barley intended for health food use. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 2014, **20(3)**: 594-598.
34. Pecio A.: Studia nad modelem rośliny i łanu jęczmienia jarego. IUNG Puławy, 1995, seria wydawnicza R(325): ss. 84
35. Podolska G., Sułek A.: Uprawa roli i siew w integrowanej produkcji pszenicy jarej. W: Integrowana produkcja pszenicy jarej. Red. M. Mrówczyński i M. Korbas. IOR Poznań, 2009: 24-50.
36. Roczniki Statystyczne za lata 2016, 2017. GUS Warszawa.
37. Ruszkowski M.: Produkcyjność roślin zbożowych. W: Podstawy produktywności roślin. Mat. sesji naukowej, Puławy, 1985: 71-92.
38. Ruszkowski M.: Obsada a produktywność roślin zbożowych. *Mat. Konf. Nauk.: Obsada a produktywność roślin uprawnych*. IUNG Puławy, 1988, cz. I.: 3-70.
39. Rzedzicki Z., Sykut E., Wirkijowska A., Nita Z. Błonnik pokarmowy najważniejszym wyróżnikiem jakości zbóż spożywczych. *Fragm. Agron.*, 2008, **25(1)**: 357-371.
40. Rynek rolny - analizy, tendencje, oceny. Warszawa, IERiGŻ-PIB, 2015, **1(287)-12(298)**.
41. Simmons S. R., Rasmussen D. C., Wiersma J. V.: Tillering in barley: genotype, row spacing and seeding rate effects. *Crop Sc.*, 1982, **22(4)**: 801-805.
42. Sułek A., Noworolnik K.: Uprawa owsa na cele paszowe i spożywcze. Instr. Upowsz. 192, 2013: ss. 19.
43. Szempliński W. (red.): Rośliny Rolnicze. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. 2012: ss. 470.
44. Talati R., Baker W.L., Pablonia M.S., White C.M., Coleman C.I.: The effects of barley- derived soluble fiber on serum lipids. *Ann. Fam. Med.* 2009, **7**: 157-163.

Adres do korespondencji:

dr hab. Danuta Leszczyńska
Zakład Uprawy Roślin Zbożowych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 815
e-mail: leszcz@iung.pulawy.pl

Marta Wyzińska, Jerzy Grabiński

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH SKŁADNIKÓW BIOAKTYWNYCH OBECNYCH W ZIARNIE ZBÓŻ*

Słowa kluczowe: składniki bioaktywne, zboża, substancje bioaktywne, ziarno zbóż

Wstęp

Ziarno zbóż stanowi podstawę w żywieniu ludzi i zwierząt. Jest ono znaczącym źródłem białka oraz witamin z grupy B. Produkty na bazie ziarna zbóż są również źródłem składników mineralnych i pierwiastków śladowych oraz związków biologicznie aktywnych. Substancje te mogą wpływać na poprawę zdrowia bądź odgrywają istotną rolę w profilaktyce wielu chorób (9, 12).

Składnikami bioaktywnymi w ziarnie zbóż są m. in. błonnik pokarmowy, z jego głównymi komponentami takimi jak arabinoksylany, oligosacharydy i lignina, następnie fityniany i cała pozostała po ligninie gama związków fenolowych (w tym kwasy fenolowe i alkilorezorcynole (7).

Związki bioaktywne zlokalizowane są głównie w okrywie owocowo-nasiennej ziarniaka, zarodku i warstwie aleuronowej. Przemiał ziarna powoduje, że substancje te są w dużym stopniu usuwane z frakcją otrąb. Wzrost zainteresowania związkami bioaktywnymi związany jest głównie z potencjalnymi możliwościami wykorzystania ich jako środków dodawanych do żywności.

Substancje bioaktywne i ich rola

Substancje bioaktywne to podstawowe składniki odżywcze, a także związki nieodżywcze, naturalnie występujące w surowcu lub w produkcie jego przerobu, które wpływają na funkcje metaboliczne i fizjologiczne organizmu. Związki te obniżają ryzyko zachorowania na wiele przewlekłych chorób niezakaźnych m. in. nowotworów, arteriosklerozy czy cukrzycy typu 2 (9, 12, 67). Substancje biologicznie

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

aktywne w ziarniakach zbóż w największych ilościach zlokalizowane są w okrywie owocowo - nasiennej i komórka aleuronowych, tak więc procesy przemiału znacznie redukują ich zawartości w jasnej mące, czyli produkcie końcowym przemiału. Mąki te charakteryzują się obniżoną zawartością błonnika pokarmowego (tab. 1) (szczególnie rozpuszczalnej frakcji), mniejszą zawartością minerałów (cynku, żelaza, selenu), witamin (B₆, kwasu foliowego), przeciwutleniaczy (tokotrienoli, kwasu ferulowego) oraz fosforu (24).

Tabela 1

Zawartość wybranych składników w całym ziarnie zbóż i typach jasnych mąk o niskim wyciągu

Składnik	Całe ziarna	Mąki typów jasnych
Frakcja aleuronowa	14%	<0,1%
Zarodek	3%	<0,1%
Całkowity błonnik	13,0%	3%
Nierozpuszczalny błonnik	11,5%	1,90%
Rozpuszczalny błonnik	1%	1,00%
Białko	14,0%	14%
Tłuszcz	3%	1,40%
Skrobia i inne cukry	70%	83%
Minerały (%)	2	0,6
Cynk (µg/g)	29	8
Żelazo (µg/g)	35	13
Selen (µg/g)	6	0,02
Witamina B6 (mg/g)	8	1,4
Kwas foliowy (mg/g)	57	0,11
Kwas ferulowy (mg/g)	5	0,4
B - tokotrienol (µg/g)	33	5,7
Fosfor (mg/g)	3	0,1

Źródło: Thompson, 1992 (60)

Narodowe instytuty USA (47) określiły substancje bioaktywne jako substancje chemiczne inne niż te niezbędne do zaspokojenia podstawowych potrzeb żywieniowych, które są odpowiedzialne za zmiany stanu zdrowia. Substancje te powstają w wyniku wielu przemian fizjologicznych, kwalifikowanych w nauce jako przemiany pierwszego (pierwotne) i drugiego stopnia (wtórne). Te pierwsze mają charakter metabolitów występujących w każdej roślinie, które pełnią podstawowe funkcje fizjologiczne, stanowiąc substancje energetyczne, budulcowe lub zapasowe (cukry proste, skrobia, tłuszcze, chlorofil, aminokwasy, białka, kwasy nukleinowe) Natomiast te drugie są wytworem wyspecjalizowanej przemiany materii i nie można im przypisać podstawowej funkcji w życiu rośliny (50).

Lista składników biologicznie aktywnych znajdujących się w żywności jest długa i stale się powiększa (58).

Kwasy fenolowe – występują one jako rozpuszczalne wolne kwasy oraz rozpuszczalne i nierozpuszczalne estry (45). Są to pochodne kwasów benzoesowego i cynamonowego, które powstają w szlaku kwasu szikimowego u roślin. W swojej strukturze zawierają grupę hydroksylową i karboksylową (24). Występują one w dwóch formach: hydroksybenzoesanów i hydroksycynamonianów. Najczęściej dla hydroksybenzoesanów spotyka się kwas p-hydroksybenzoesowy, wanilinowy, protokatechowy i syringinowy, natomiast dla hydroksycynamonianów: p-kumorowy, ferulowy, kawowy i synapinowy. Wolne kwasy występują najczęściej w niewielkich ilościach, a ich stężenie zależy od gatunku, jak również stopnia dojrzałości rośliny. Ogólną pulę kwasów fenolowych w ziarniakach zbóż tworzą kwasy fenylokarboksylowe (p-hydroksybenzoesowy, salicylowy, protokatechowy, wanilinowy, galusowy i elagowy) oraz fenylopropenowe (kawowy, p-kumorowy, ferulowy, synapinowy), tworzące tzw. fenolokwasy (1, 69). Dominującym kwasem fenolowym w ziarniakach zbóż jest kwas *trans*-ferulowy. Według literatury (30, 64) ziarniaki pszenicy, żyta, jęczmienia, owsa i gryki są zasobne w kwasy fenolowe. Zawartość kwasu ferulowego w ziarnie pszenicy i żyta jest największa i wynosi odpowiednio 3,62 µg/g s.m. oraz 16 µg/g s.m., równie istotna jest zawartość kwasu wanilinowego (żyto 0,82 µg/g s.m.) i p-kumarowego (pszenica 0,70 µg/g s.m., żyto 0,46 µg/g s.m.), natomiast kwasy kawowy i synapinowy występują w najmniejszych ilościach (1, 20, 41, 53, 68). Zawartość kwasów fenolowych w ziarnie zbóż zależy w dużym stopniu od odmiany (tab. 2, 3), technologii uprawy i warunków pogody w okresie dojrzewania ziarna (11, 14, 67). Mechanizm antyoksydacyjny fenylokwasy jest zależny od liczby grup hydroksylowych w cząsteczce. Pochodne kwasu cynamonowego są bardziej efektywnymi przeciwutleniaczami niż pochodne kwasu benzoesowego. Związki te odpowiedzialne są za wygaszanie rodników, ochronę lipidów przed peroksydacją, jak również mają zdolność do chelatowania jonów metali katalizujących reakcje utleniania. Związki fenolowe poprzez swoje właściwości chronią organizm człowieka przed stresem oksydacyjnym i zapobiegają rozwojowi przewlekłych chorób niezakaźnych m. in. miażdżycy naczyń oraz zmianom nowotworowym (10).

Tabela 2

Zawartość kwasów fenolowych (µg g⁻¹) w ziarnie odmian pszenicy jarej

Odmiana	FER	SYN	KAW	WAN	SYR	PRO	SAL
Bombona	677,74	23,17	2,96	18,19	14,52	1,78	0,38
Nawra	629,14	28,84	2,84	17,21	17,16	1,43	0,33
Raweta	601,15	23,37	2,08	19,84	14,64	1,63	0,32

FER – ferulowy, SYN – synapinowy, KAW – kawowy, WAN – wanilinowy, SYR – syringowy, PRO – protokatechowy, SAL - salicylowy

Źródło: Sułek, 2016 (57)

Tabela 3

Zawartość kwasów fenolowych ($\mu\text{g g}^{-1}$) w ziarnie odmian pszenicy ozimej

Odmiana	FER	SYN	KAW	WAN	SYR	PRO	SAL
Kris	757,5	54,31	2,11	11,68	9,13	1,25	0,33
Satyna	691,46	41,43	3,45	12,59	14,63	2,15	0,31
Tonacja	542,55	47,09	2,47	11,63	8,7	1,72	0,2

FER – ferulowy, SYN – synapinowy, KAW – kawowy, WAN – wanilinowy, SYR – syringowy, PRO – protokatechowy, SAL - salicylowy

Źródło: Sułek, 2016 (57)

Błonnik pokarmowy – w największym stopniu wpływa na gospodarkę lipidową i metabolizm węglowodanów, a także reguluje czynnością całego przewodu pokarmowego, co wpływa na zmniejszenie ryzyka wystąpienia np. miażdżycy, choroby niedokrwiennej serca, cukrzycy typu 2 czy też otyłości. Obecność błonnika w diecie zapobiega również powstawaniu nowotworów jelita grubego. Szczególnie cennymi pod względem żywieniowym składnikami błonnika pokarmowego są pentozany, fruktany i β -glukany, a zwłaszcza ich frakcje rozpuszczalne w wodzie. Wyniki badań jakie przeprowadziła Jasińska i in. (28) wskazują, że najwyższa ilość składników błonnika pokarmowego w życie występuje w okrywie owocowo-nasiennej i warstwie komórek aleurenowych, natomiast najmniejsza w wewnętrznych tkankach bielma. Są one głównie składnikami ścian komórkowych (5, 18, 25, 26, 43, 44). Z kolei badania przeprowadzone przez Nilssona i in. (48) wskazują, że występuje istotna korelacja między zawartością błonnika pokarmowego, a zawartością składników bioaktywnych – fitoestrogenów w ziarnie żyta.

Tokole – to grupa związków (witamina E) składająca się z 8 kongenerów: 4 tokoferoli (α -, β -, γ -, δ -) i 4 tokotrienoli (α -, β -, γ -, δ -). Związki te zbudowane są z pierścieni 6-chromanolu oraz łańcucha fitylowego, który u tokoferoli jest nasycony, a u tokotrienoli zawiera 3 wiązania podwójne. Różnice w budowie strukturalnej skutkują różną aktywnością biologiczną tych substancji. Tokoferole i tokotrienole to związki o właściwościach przeciwutleniających, występujące w ziarniakach zbóż (24). Według literatury (24, 57) tokoferole i β -tokotrienol występują głównie w zarodku, natomiast tokotrienole w większości zlokalizowane są w okrywie owocowo-nasiennej, z kolei tokotrienole występują w bielmie.

Fitoestrogeny – są to związki niesteroidowe o właściwościach estrogennych. Wśród nich można wyróżnić trzy główne grupy: izoflawonoidy, ligniany i kumestany (3). Mają one właściwości antywirusowe, antynowotworowe, bakteriobójczej przeciwgrzybicze (31).

Ligniany – należą do związków fenolowych, które są obecne w roślinach. Niektóre z nich przekształcane są w organizmie człowieka do lignianów typowych dla ssaków. Charakteryzują się one aktywnością fitoestrogenną. Właściwości te skutkują możliwością wykorzystania ich w terapii objawów menopauzalnych, raka

czy chorób serca (24). Wstępują w całych ziarniakach zbóż. Substancje te w ścianach komórkowych tworzą strukturalne bloki lignin. Ich źródłem są głównie rośliny zbożowe, a także nasiona lnu, owoce i warzywa (6, 56). Substancje te występują również w roślinach jako diglikozydy z dwoma resztami glukozowymi, przyłączonymi do grupy OH- pierścienia fenolowego lub łańcuchów bocznych. Jak podaje Bingham i in. (6) poziom lignianów w moczu wzrasta w sposób istotny po spożyciu posiłku zawierającego te substancje.

Alkilorezorcynole – uznane w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku za substancje nieporządane w ziarnie paszowym, a wręcz szkodliwe dla zwierząt monogastrycznych. W dzisiejszych czasach budzą duże zainteresowanie jako składnik bioaktywny żywności (7). Do najbardziej przebadanych i najlepiej poznanych należą alkilorezorcynole ziarna zbóż – pszenicy i żyta (38, 52, 62, 63). Ich zawartość w ziarnie zależy nie tylko od gatunku zboża ale również od technologii produkcji i odmiany (tab. 4). Według danych literaturowych ich zawartość w ziarnie zbóż mieści się w różnych przedziałach (tab. 5). Substancje te są pochodzenia roślinnego (36). Są one pochodnymi 1,3 dihydroksy-5-n-alkilobenzenu, a więc orcyny. Alkilorezorcynole są niezbędne do wzrostu, adaptacji, a także obrony roślin przed patogenami (7, 29).

Tabela 4

Zawartość alkilorezorcynoli w ziarnie pszenżyta ozimego w zależności od technologii produkcji oraz odmiany ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Lata badań/ Czynniki doświadczenia		Technologia produkcji	
		Integrowana	Intensywna
Rok	2011	287b	316ab
	2014	327ab	356a
Odmiana	Pigmej	331ab	353a
	Pizzaro	284b	319ab
Średnia		307b	336a

Źródło: Jaśkiewicz i Szczepanek, 2016 (29)

Po raz pierwszy w zbożach zostały one wyizolowane z otrąb pszennych (65). W kolejnych badaniach Wierning (66) odkryto takie same substancje w ziarnie żyta. Do cech charakterystycznych alkilorezorcynoli należy występowanie w aromatycznym pierścieniu, w pozycji 5, bocznego łańcucha alkilowego o nieparzystej liczbie atomów węgla (34, 35). Łańcuch ten jest zazwyczaj nasycony, ale występują również homologi nienasycone lub posiadające dodatkową grupę tlenową (35). Alkilorezorcynole znajdują się wyłącznie w zewnętrznych warstwach ziarniaka (7). Według Tłuszcika i in. (61) część zarodkowa oraz bielmo są całkowicie pozbawione alkilorezorcynoli. W ziarnie żyta zawartość tych substancji waha się w granicach 360 mg/kg do 2180 mg/kg (13, 54) i jest ona na najwyższym poziomie w porównaniu do pozostałych gatunków zbóż.

Do tej pory w niewielkim stopniu poznano rolę alkilorezorcynoli w aktywności biologicznej i regulacji procesów fizjologicznych czy przemian metabolicznych. Wiadomo, że regulują procesami wzrostu komórkowego, hamują syntezę DNA i RNA, zaburzają aktywność enzymatyczną białek, oddziałują z błonami biologicznymi i regulują procesami utleniania lipidów. Wykazano również, że posiadają właściwości antymutagenne, antibakteryjne ale również grzybobójcze i cytotoksyczne. Zaliczane są do jednych z najbardziej skutecznych substancji zapobiegających chorobom nowotworowym czy chorobie niedokrwiennej serca. Opóźniają procesy starzenia (7).

Tabela 5

Zawartość alkilorezorcynoli w ziarnie podstawowych gatunków zbóż

Gatunek	Zawartość alkilorezorcynoli (mg·kg ⁻¹)
Pszenica	530-890
	620-670
	600
	406-712
	317-655
	489-642
	672-943
	268-674
	426-697
	386-668
Pszenżyto	660-950
	720
	394-1145
	294-357
	439-647
	381-706
Żyto	991
	360-1790
	1010-1240
	1140-2180
	1188-1238
	867-1424
	720-761
	1058-1152
	752-934

Tabela 5 cd.

Jęczmień	100
	121-152
	42-51
	41-74
	32-103
	47-119

Źródło: Boros, 2015 (7)

Benzoksazynoidy – występują powszechnie wśród gatunków jednoliściennych (m. in. u kukurydzy, pszenicy, żyta i dzikich gatunków jęczmienia). Są to metabolity wtórne, które pełnią wiele istotnych funkcji obronnych i adaptacyjnych: działają bakteriobójczo, grzybobójczo, allelopatycznie, ograniczają rozwój i liczbę jaj pasożytniczych nicieni (16, 46). Zostały one stosunkowo niedawno zidentyfikowane w życie i wypiekach z tego gatunku zboża. Poszczególne związki z tej grupy charakteryzują się właściwościami farmakologicznymi oraz prozdrowotnymi, ale również antydrobnoustrojowymi, antyalergicznymi, przeciwzapalnymi czy przeciwrakowymi (24).

Karotenoidy – są to związki nadające żółtą, pomarańczową i czerwoną barwę owocom, warzywom i ziarniakom niektórych zbóż. Związki te charakteryzują się cennymi właściwościami biologicznymi (17). Dzieli się je na dwie podstawowe grupy: karoteny – które zawierają w cząsteczce 11 sprzężonych wiązań podwójnych, ksantofile – zawierają w cząsteczce tlen w formie grup karbonylowych, epoksydowych i hydroksylowych. Karotenoidy to główne substancje barwne ziarniaków zbóż. Według literatury (32) występują w małych ilościach we wszystkich częściach anatomicznych ziarniaków, głównie w zarodkach. Do podstawowych barwników pszenicy zaliczana jest żółta luteina, a także jej mono- i diestry z kwasami tłuszczowymi. Jak podaje Konopka i in. (32) zawartość karotenoidów w bielmie skrobiowym pszenicy jarej wynosi około $3,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, a w ozimej $2,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. W ziarnie żyta frakcja karotenoidów składa się z α -karotenu, poli-cis-likopeny B, luteiny, epoksydów ksantofili (5,6-epoksyluteiny) oraz taraksantyny, która zlokalizowana jest głównie w zarodku, a jej ilość waha się od $2,8$ do $7,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (67). Natomiast w ziarnie owsa stwierdzono występowanie 5,6-epoksyluteiny i taraksantyny (19).

Flawonoidy – to związki, które w swojej cząsteczce zawierają układ difenylopropanowy złożony z dwóch pierścieni benzoesowych. Powszechnie występują w roślinach, przy czym różnią się względem struktury i właściwości. Związki te charakteryzują się wieloma prozdrowotnymi właściwościami farmakologicznymi i biologicznymi. W literaturze (33, 53) autorzy wskazują na działania przeciwzapalne, przeciwalergiczne, przeciwzakrzepowe, przeciwwirusowe oraz przeciwnowotworowe, przeciwutleniające, diuretyczne, detoksykacyjne. Substancje te mają zdolność modyfikowania enzymów odpowiedzialnych za

działanie immunologiczne, kancerogenezę i transformacje komórkowe (67). Jak podaje Rybka i in. (53) wiele flawonoidów hamuje preoksydację lipidów, poprawia czynność śródbłonna naczyniowego, hamuje agregację płytek krwi i napięcie mięśni otaczających tętnice w chorobach układu naczyniowego. W ziarniakach zbóż związki te występują w bardzo małych ilościach, a ich obecność została potwierdzona głównie w okrywie owocowo-nasiennej, komórkach aleuronowych, łusce (owsa) ale również w niektórych przypadkach w zarodku (19). Spośród gatunków zbóż jedynie jęczmień zawiera większe ilości flawonoidów, są to głównie katechiny oraz proantocyjanidyny (2, 59). Głównym polifenolem, który występuje w ziarnie pszenicy wyizolowanym już w latach 30 ubiegłego wieku jest trycyna (4). Gryka w odróżnieniu do podstawowych gatunków zbóż zdecydowanie wyróżnia się większą zawartością flawonoidów (27, 69). Zieliński i in. (69) wskazują, że w łusce gryczanej występuje 6 flawonoidów: rutyna, kwercetyna, orientyna, izorientyna, witeksyna oraz izowiteksyna, których zawartość może wynosić nawet 740 mg/kg suchej masy. Natomiast w kaszy gryczanej obecna jest jedynie rutyna i izowiteksyna w ilościach 188 mg/kg suchej masy.

Sterole roślinne – uznane są za bioaktywne składniki nie odżywcze o udowodnionych właściwościach prozdrowotnych, ale także o stwierdzonym niekorzystnym oddziaływaniu na organizm człowieka. Sterole zaliczane są do zróżnicowanej grupy roślinnych metabolitów wtórnych obecnych m. in. w orzechach, owocach i nasionach (24). Fitosterole występują zazwyczaj w postaci wolnej lub zestryfikowanej. Są one strukturalnymi i funkcjonalnymi analogami cholesterolu, syntetyzowanymi przez rośliny. Wchodzą w skład błon komórkowych roślin, zmniejszają płynność ich warstwy powierzchniowej. Są to 28- lub 29-węglowe wielopierścieniowe alkohole (4, 39). Sterole mają układ wielopierścieniowy taki jak cholesterol, z jedną grupą wodorotlenową. Różnica w ich budowie dotyczy łańcucha bocznego. Mogą one zawierać dodatkowo jedno lub dwa wiązania podwójne w tym łańcuchu, a także są bogatsze o grupę metylową lub estrową (39). W stanie naturalnym związki te występują w postaci wolnej oraz jako sterolowe lub stanolowe estry kwasów tłuszczowych, kwasu hydroksycynamonowego, glukozy oraz glikolipidów. Sterole roślinne mają status bezpiecznych i oświadczenia zdrowotne zawierające odwołania do korzystnego wpływu steroli na zdrowie człowieka są akceptowane dla różnych produktów przez FDA jak i EFSA. Według literatury zaledwie 15% steroli jest przyswajalnych z jelit, przez co aktywne stężenie w organizmie jest niskie (24). Dotychczas poznano blisko 40 form fitosteroli roślinnych, z których najlepiej znane i najczęściej spotykane są: sitosterol i sitostanol, kapesterol i kampestanol oraz stigmasterol, swą budową najbardziej podobne do pierścienia cholesterolowego (21, 22, 40 42). Sterolami roślinnymi nazywa się wszystkie związki zaliczone do tej grupy, jednak tak naprawdę sterolami są związki nienasycone, czyli posiadające w swym pierścieniu podwójne wiązania, natomiast stanolami ich formy nienasycone, bez podwójnych wiązań. Dość powszechnie fitosterole występują w produktach roślinnych, jednak ich ilość jest bardzo mała. Największe ilości tych związków stwierdza się w olejach roślinnych,

roślinach strączkowych, sezamie, słoneczniku i innych nasionach. Śladowe ilości zawierają warzywa, owoce oraz produkty zbożowe z pełnego przemiału (tab. 6). Do organizmu wraz z dietą możliwe jest dostarczenie zaledwie 200-400 mg fitosteroli. Jest to zdecydowanie zbyt mało aby zredukować skutecznie cholesterol frakcji LDL.

Zarówno sterole jak i stanole są słabo rozpuszczalne w tłuszczach i nierozpuszczalne w wodzie (23).

Tabela 6

Zawartość głównych fitosteroli i fitostanoli ogółem w niektórych produktach zbożowych (mg/100 g s.m.)

Materiał		β -Sitosterol	Kampesterol	Stigmasterol	Stanole	Suma
Pszenica	Zarodki pszenne	230,4	93,9	3,2	16,8	344,3
	Otręby	99,0	36,4	7,2	-	142,6
	Mąka pszenna	18,9	4,7	4,4	0,1	28,1
Żyto	Otręby	42,0	14,0	2,4	11,0	69,4
	Mąka żytnia	48,1	17,0	3,3	18,3	86,7
Owies	Otręby	36,3	6,3	1,7	2,0	46,3
	Mąka owsiana	28,0	5,0	-	3,0	36,0
Jęczmień	Mąka jęczmienna	32,8	12,7	1,9	-	47,4
Gryka	Mąka gryczana	26,0	8,8	2,2	14,5	51,5

Źródło: Bryngelsson i in., 2015; Parke, 1999; Quilez i in., 2003; Zieliński i in., 2012 (8, 49, 51, 67)

Na świecie w przetwórstwie żywności obserwuje się tendencje, które zmierzają w kierunku szerszego wykorzystania składników wartościowych z żywieniowego punktu widzenia w produktach powszechnie konsumowanych m. in. w pieczywie. Proponowane jest zwiększenie spożycia produktów zbożowych produkowanych z całego ziarna, gdzie występuje znaczny udział błonnika pokarmowego, witamin, składników mineralnych i przeciwutleniaczy.

Podsumowanie

Ziarno zbóż jest bogatym źródłem substancji biologicznie aktywnych. Substancjami tymi są błonnik pokarmowy, związki fenolowe, w tym kwasy fenolowe i alkilorezorcynole. W ziarniaku związki te zlokalizowane są w największych ilościach w okrywie owocowo-nasiennej i warstwie aleuronowej. Niektóre substancje bioaktywne działają jako naturalne przeciwutleniacze, a ich obecność w organizmie

zapobiega wielu chorobom cywilizacyjnym. Ze względu na ich lokalizację w ziarniaku konsumenci powinni wybierać produkty pełnoziarniste. Zawartość składników bioaktywnych w ziarnie zbóż jest cechą odmianową, uwarunkowaną genetycznie jednakże w różnym stopniu modyfikowaną warunkami siedliskowymi i czynnikami agrotechnicznymi.

Literatura

1. Andersen M. F., Christensen L. P., Meyer A. S., Hansen A.: Release of hydrocinnamic and hydrobenzoic acids in rye by commercial plant cell wall degrading enzyme preparations, *J. Sci. Food Agric.*, 1999, **79**: 411-413.
2. Andlauer W., Frust P.: Antioxidative power of phytochemicals with special reference to cereals, *Cereals Foods World*, 1998, **5**: 356-360.
3. Badowski P., Urbanek-Karłowska B.: Fitoestrogeny – występowanie w żywności. *Roczniki PZH*, 2001, **52(3)**: 203-2012.
4. Batta A. K., Xu G., Honda A., Miyazaki T., Salen G.: Stigmasterol reduces plasma cholesterol level and inhibits hepatic synthesis and intestinal absorption in the rat, *Metab. Clin. Exp.*, 2006, **55**: 292-299.
5. Bengtsson S., Andersson R., Westerlund E., Aman P.: Content, structure and viscosity of soluble arabinoxylans in rye grain from several countries, *J. Sci. Food Agric.*, 1992, **58(3)**: 331-337.
6. Bingham S. A., Atkinson C., Liggins J., Bluck L., Coward A.: Phyto-oestrogens: where are we now?, *Br. J. Nutr.*, 1998, **79**: 393-406.
7. Boros D.: Alkilorezorcynole ziarna zbóż – ich znaczenie w żywności i paszy. *Biuletyn IHAR*, 2015, **277**: 7-20.
8. Bryngelsson S., Johnsson M., Normen L., Dutta P., Andersson H.: Plant sterols in cereals products. W: *Bioactive inositol phosphates and phytosterols in foods*, 1997, COST 916, Second Workshop, Goteborg: 131-134.
9. Chu K. O., Chan K. P., Wang C. C.: Green tea catechins and their oxidative protection in the rat eye. *J. Agri. Food Chem.*, 2010, **58(3)**: 1523-1534.
10. Covas M. I.: Bioactive effects of olive oil phenolic compounds in humans: reduction of heart disease factors and oxidative damage, *Inflammopharmacology*, 2008, **16(5)**: 216-218. |
11. Czaban J., Sułek A., Pecio Ł., Żuchowski J., Podolska G.: Effect of genotype and crop management systems on phenolic acid content in winter wheat grain, *J. Food, Agriculture & Environment*, 2013, **11(3&4)**: 1201-1206.
12. Devlin J. P. A., Hargrave K. D.: Pulmonary and antiallergic drugs; design and synthesis. W: *Pulmonary and Antiallergic Drugs*, Devlin J.P.A. (red.), Wiley, Chichester, 1985.
13. Evans L. E., Dedio W., Hill R.D.: Variability in the alkylresorcinol content of rye grain. *Can. J. Plant Sci.*, 1973, **53**: 485-488.
14. Fardet A.: New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre? *Nutr. Res. Rev.*, 2010, **23**: 65-134.
15. Fresco, P.; Borges, F.; Marques, M. P.M.; Diniz, C.: The Anticancer Properties of Dietary Polyphenols and its Relation with Apoptosis, *Current Pharmaceutical Design*, 2010 **16(1)**: 114-134.
16. Frey M., Schullehner K., Dick R., Fiesselmann A., Gierl A.: Benzoxazinoid biosynthesis, a model for evolution of secondary metabolic pathways in plants, *Phytochem.*, 2009, **70**: 1645-1651.
17. Gajek W. (red.): *Przeciwutleniacze w żywności – aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne*, WNT, Warszawa, 2007.

18. Gąsiorowski H. (red): Żyto: chemia i technologia, PWRiL, Poznań, 1994.
19. Gąsiorowski H. (red.): Jęczmień – chemia i technologia, PWRiL, Poznań 1997.
20. Graf F.: Antioxidant potential of ferulic acid, *Free Rad Biol Med.*, 1992, **13**: 435-448.
21. Gylling H., Hallikainen M., Nissinen M. J., Simonen P., Miettinen T. A.: Very high plant stanol intake and serum plant stanols and non-cholesterol sterols, *Eur. J. Nutr.*, 2010, **49**: 111-117.
22. Gylling H., Hallikainen M., Nissinen M., Miettinen T. A.: The effect of very high daily plant stanol ester intake on serum lipids, carotenoids, and fat-soluble vitamins, *Clin. Nutr.*, 2010, **29**: 112-118.
23. Gylling H., Miettinen T. A.: Plants sterols in nutrition. *Scand. J. Nutr.*, 2000, **44**: 155-157.
24. Harasym J.: Wybrane substancje bioaktywne obecne w ziarnie żyta, *Przegląd Zboż.-Młyn.*, 2015, **4**: 5-7.
25. Härkönen H., Pessa E., Suortti T., Poutanen K.: Distribution and some properties of cell wall polysaccharides in rye milling fractions, *J. Cereal Sci.*, 1997, **26**: 95-104.
26. Henry R. J.: Pentosan and (1-3),(1-4)-beta-glucan concentrations in endosperm and whole grain of wheat, barley, oats and rye, *J. Cereal Sci.*, 1987, **6**: 253-258.
27. Holasova M., Fiedlerowa V., Smrcinova H., Orsak M.: Buckwheat – the source of antioxidant activity in functional foods, *Food Res. Int.*, 2002, **35**: 207-211.
28. Jasińska I., Kołodziejczyk P., Michniewicz J.: Ziarno żyta jako potencjalne źródło składników prozdrowotnychw diecie. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2006, **2(47)**: 85-92.
29. Jaśkiewicz B., Szczepanek M.: Crop management and variety have influence on alkyloresolcinol content in triticale grain, *Acta Agric. Scan., Section B*, 2016, **66**: 570-574.
30. Karamač M., Amarowicz R., Weider S.: Anioxidant activity of rye caryopses and embroyes extracts, *Czech J. Food Sci.*, 2001, **20(6)**: 209-214.
31. Knight D. C., Eden J. A.: Phytoestrogens – a short review, *Maturitas*, 1995, **22**: 167-175.
32. Konopka I., Czaplicki S., Rotkiewicz D.: Differences in content and composition of fee lipids and carotenoids in flour of spring and winter wheat cultivated in Poland, *Food Chem.*, 2006, **95**: 290-300.
33. Kozłowska K., Troszyńska A.: Rola naturalnych substancji nieodżywczych pochodzenia roślinnego jako składników żywności funkcjonalnej, *Żywność. Technologia. Jakość*, 1999, **4(21)**: 63-74.
34. Kozubek A., Tylman J. H. P.: Cereals grain resorcinolic lipids: mono and dirnoic homologues are present in rye grains, *Chem. Phys. Lipid.*, 1995, **78**: 29-35.
35. Kozubek A., Tylman J. H. P.: Resorcinolic lipids, the natural non-iso-prenoid phenolic amphiphiles and their biological activity, *Chem. Rev.*, 1999, **99**: 1-25.
36. Kozubek A., Pietr S., Czerwonka A.: Alkyloresorcinols are abundant lipid component in *Azotobacter* and *Pseudomonas* strains, *Journal Bacteriol*, 1996, **178**: 4027-4030.
37. Kris-Etherton P. M., Hacker K. D., Bonanome A., Coval, A.E., Binkoski, K.F., Hilpert-Griel, A.E., Etherton, T.D.: Bioactive compounds in food: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer, *Am. J. Med.*, 2002, **113**: 71-88.
38. Kulawinek M., Jaromin M., Kozubek A., Żarnowski R.: Alkylresorcinols in selected Polish rye and wheat cereals and whole-grain cereal products, *J. Food Chem.*, 2008, **56**: 7236-7242.
39. Lagarda M. J.: Analysis of phytosterols in food, *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 2006, **41**: 1486-1496.
40. Law M.: Plant sterol and stanol margarines and health. *BMJ*, 2000, **320**: 861-864.
41. Lempereur I., Rouaur X., Abecassis J.: Arabinoxylan and ferulic acid variation in durum wheat (*Triticum durum*) and distribution in miling fractions, *J. Cereal Sci.*, 1997, **25**: 103-107.
42. Marangoni F., Poli A.: Phytosterols and cardiovascular health, *Pharm. Res.*, 2010, **61**: 193-199.
43. Michniewicz J., Gąsiorowski H.: Beta-glukany zbożowe I ich rola w przemyśle I żywieniu człowieka, *Postępy Nauk Rolniczych*, 1994, **1(247)**: 41-49.
44. Michniewicz J.: Pentozany w technologii zbóż, *Roczniki AP w Poznaniu*, 1995: ss. 261.

45. Mpofu A., Sapirstein H. D., Beta T.: Genotype and Environmental Variation in Phenolic Content, Phenolic Acid Composition, and Antioxidant Activity of Hard Spring Wheat, *J. Agric. Food Chem.*, 2006, **54**(4), 1265-1270
46. Niemeyer H. M.: Hydroxamic acids derived from 2-Hydroxy-2H-1,4-Benzoxazin-3(4H)-one: Key defense chemicals of cereals, *J. Agric. Food Chem.*, 2009, **57**: 1677-1696.
47. NIH, Office of Dietary Supplements Federal Register, **69**, **179**, FR Dec 04-20892.
48. Nilsson M., Aman P., Harkonen H., Hallmans G., Knudsen K. E. B., Mazur W., Adlercreutz H.: Content of nutrients and lignans in roller milled fractions of rye, *J. Sci Food Agric.*, 1997, **73**: 143-148.
49. Parke D. V.: Nutritional antioxidants and disease prevention: mechanisms of action. W: *Antioxidants in Human Health and Disease*, 1999, Wallingford, UK: 1-13.
50. Piłat B., Zadernowski R.: Substancje bioaktywne pozytywne i negatywne skutki dodawania do żywności, *Przem. Spoż.*, 2017, **71**: 24-27.
51. Quilez J., Garcia-Lorda P., Salas-Salvado J.: Potential uses and benefits of phytosterols in diet: present situation and future directions, *Cili. Nutr.*, 2003, **22** (4): 343-351.
52. Ross A. B.: Alkylresorcinols in cereal grains. Occurrence, absorption, and possible use as biomarkers of whole grain wheat and rye intake. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. 2003
53. Rybka K., Sitarska J., Raczyńska-Bojanowska K.: Feluric acid in rye and wheat grain and grain dietary fiber, *Cereal Chem.*, 1993, **70**(1): 55-59.
54. Sałek M.: Oznaczanie zawartości 5-alkilresorcyn w ziarnie i produktach przemiału żyta. *Roczniki PZH*, 1978, **29**: 205-211.
55. Shepard M. J., Schupphaus M., Sinclair V., Alfaro B., Kamal-Eldin A., Aman P.: Alkylresorcinols in cereals and cereals products, *J. Agri. Food Chem.*, 2003, **51**: 4111-4118.
56. Strauss L., Santti R., Saarinen N., Streng T., Joshi S., Makela S.: Dietary phytoestrogens and their role in hormonally dependent disease, *Toxicol. Let.*, 1998, **102-103**: 349-354.
57. Sułek A.: Właściwości prozdrowotne wybranych substancji bioaktywnych obecnych w ziarnie zbóż, Aplikacyjne i teoretyczne i teoretyczne problemy w przemyśle rolno-spożywczym – postęp naukowo-technologiczny, 2016, **465**: 317-328.
58. Świdorski F., Kołanowski W.: Żywność funkcjonalna i dietetyczna. W: *Żywność wygodna i żywność funkcjonalna*, WNT, Warszawa, 1999: 28.
59. Tamagawa K., Izuka S., Ideka A., Koike H.: Antioxidative activity of proanthocyanidins isolated from barley bran, *J. Jap. Society Food Sci. Tech.*, 1999, **46**: 106-110.
60. Thompson L. U.: Potential health benefits of whole grains and their components, *Contemp. Nutr.*, 1992, **17**: 1-2.
61. Tłuścik F., Kozubek A., Mejbaum-Katzenellebogen W.: Alkylresorcinols in rye (*Secale cereale*L.) grains. VI. Colorimetric micromethod for the determination of alkylresorcinols with the use of diazonium salt, Fast Blue B. *Acta Soc. Bot. Polon.*, 1981, **50**: 645-651
62. Verdeal K., Lorenz K.: Alkylresorcinols in wheat, rye and triticale, *Cereal Chem.* 1977, **54**: 475-483.
63. Vinkx C. J. A., Delcour J. A.: Rye (*Secale cereal* L.) arabinoxylans: a critical review, *J. Cereal Sci.*, 1996, **24**: 1-14.
64. Weider S., Amarowicz R., Karamać M., Frączek E.: Changes in endogenous phenolic acids during development of *Secale cereale* cartopses and after dehydration treatment of unripe rye, *Plant Physiol. Biochem.*, 2000, **38**: 595-602.
65. Wenkert E., Loeser E. M., Mahapatra N., Schenker F., Wilson E. M.: Wheat grain phenols, *J. Org. Chem.*, 1964, **29**: 435-439.
66. Wieringa G. W. On occurrence of growth inhibiting substances in rye, *Ins. Storage Proc. Agric. Prod., Wageningen, Netherlands*. 1967, **156**.

-
67. Zieliński H., Achremowicz B., Przygocka M.: Przeciwutleniacze ziarniaków zbóż, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2012, **1(80)**: 5-26.
 68. Zieliński H., Ceglińska A.: Wpływ obróbki mechanicznej na zawartość przeciwutleniaczy w ziarniakach zbóż. W: Przeciwutleniacze w żywności – aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne, W. Gajek (red.), WNT, Warszawa 2007: 467-470.
 69. Zieliński H., Michalska A., Amigo-Benavent M., del Castillo M. D., Piskula M. K.: Changes in protein quality and antioxidant properties of buckwheat seeds and groats induced by roasting, J. Agric. Food Chem., 2009, **57**: 771-776.
-

Adres do korespondencji:

dr Marta Wyzińska
dr hab. Jerzy Grabiński, prof. IUNG-PIB
Zakład Uprawy Roślin Zbożowych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 814, 81 4786 811
e-mail: mwyzinska@iung.pulawy.pl
jurek@iung.pulawy.pl

Mariola Staniak, Anna Stępień, Katarzyna Czopek

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

REAKCJA SOI ZWYCZAJNEJ (*GLYCINE MAX* (L.) MERR.)
NA WYBRANE STRESY ABIOTYCZNE*

Słowa kluczowe: soja, stres chłodu, susza, zasolenie, stres abiotyczny

Wstęp

Soja jest rośliną niezwykle ważną dla całego współczesnego świata, ze względu na szerokie wykorzystanie paszowe (poekstrakcyjna śruta sojowa), konsumpcyjne (olej), a także przemysłowe (m.in. kosmetyki, tworzywa sztuczne, farby). Ponadto, olej uzyskiwany z tej rośliny stanowi jeden z podstawowych surowców do produkcji biodiesla. Nasiona soi zawierają około 40% białka o korzystnym składzie aminokwasowym i około 20% tłuszczu, z którego połowę stanowią nienasycone kwasy tłuszczowe, obniżające poziom cholesterolu we krwi. Są też źródłem wielu cennych związków chemicznych, takich jak błonnik, lecytyna, witaminy, sole mineralne i antyoksydanty (27, 43). Soja, jako gatunek z rodziny bobowatych, przynosi dodatkowo korzyści ekonomiczne i ekologiczne, wynikające z wiązania wolnego azotu przez bakterie brodawkowe *Bradyrhizobium japonicum*. Dzięki temu ma mniejsze wymagania nawozowe, zwiększa plon roślin następczych oraz przerywa uprawę zbóż po sobie, stając się ważnym elementem zmianowania (42). Dzięki swemu wszechstronnemu wykorzystaniu, soja pod względem powierzchni uprawy zajmuje czwarte miejsce na świecie (po pszenicy, ryżu i kukurydzy), pierwsze - spośród roślin bobowatych grubonasiennych, a areal jej uprawy ciągle się zwiększa. Głównymi producentami soi na świecie są USA, Brazylia i Argentyna, które zapewniają 83% światowej produkcji nasion soi (41). W Europie zajmuje ona 9, a w Polsce dopiero 38 miejsce pod względem powierzchni uprawy, co jest spowodowane głównie klimatem (11). Duże zapotrzebowanie na białko roślinne sprawia, że aby zaspokoić potrzeby paszowe zwierząt Polska rocznie importuje około 2 mln t poekstrakcyjnej

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

śruty sojowej, głównie GMO. Aby, choć w części uniezależnić się od importowanej śruty sojowej w Polsce promowana i dotowana jest uprawa krajowych gatunków roślin strączkowych oraz krajowych odmian soi (nie modyfikowanych genetycznie).

Soja jest rośliną dnia krótkiego o dużych wymaganiach termicznych, dlatego jeszcze do niedawna miała niewielkie szanse na wydanie satysfakcjonującego plonu w naszych warunkach klimatycznych. W ostatnich latach obserwujemy jednak duży postęp biologiczny w hodowli nowych odmian, które coraz lepiej przystosowane są do uprawy w warunkach Polski. Aktualnie w Krajowym Rejestrze Odmian COBORU zarejestrowanych jest 17 odmian soi, z czego 11 zostało wpisanych w latach 2017-2018 (6). Ponadto, obserwowane od kilkunastu lat zmiany klimatu, związane ze wzrostem temperatury, liczby dni słonecznych i wydłużaniem okresu wegetacyjnego sprawiają, że uprawa soi zaczyna wzbudzać coraz większe zainteresowanie rolników (24).

Przyczynami zmiennego w latach plonowania roślin uprawnych są, między innymi, niekorzystne czynniki środowiska, takie jak: susza, zasolenie, ekstremalne temperatury, choroby czy szkodniki. Ich działanie może doprowadzić do odwracalnych lub nieodwracalnych zaburzeń w funkcjonowaniu rośliny i budujących ją struktur. Zaburzenia te mogą polegać na zakłóceniach wzrostu i rozwoju rośliny oraz procesów metabolicznych przebiegających w komórce, a także na zmianie właściwości fizykochemicznych struktur komórkowych (4). Skutkiem ich działania jest ograniczenie procesów życiowych i zahamowanie wzrostu roślin, co w konsekwencji prowadzi do spadku plonu i pogorszenia jego jakości. Czynniki te, określane mianem stresowych, możemy podzielić na dwie grupy: biotyczne (konkurencja, allelopatia, inwazja patogenów) i abiotyczne (wysoka bądź niska temperatura, niedobór lub nadmiar wody, szkodliwe promieniowanie, zasolenie, zanieczyszczenia, pestycydy); (20). Ponadto w warunkach naturalnych często obserwuje się jednoczesne oddziaływanie kilku stresów zwanych multistresami. Przykładowo, niedoborowi wody zwykle towarzyszy wysoka temperatura, która pogłębia stres suszy.

Rośliny uprawne charakteryzują się zróżnicowaną odpornością na czynniki stresowe. Decydują o tym trzy podstawowe elementy: właściwości organizmu, które mówią o podatności lub wytrzymałości jego struktur na działanie stresu, zdolności organizmu do naprawy uszkodzeń oraz do adaptacji lub aklimatyzacji (40). Adaptacja jest skutkiem zmian zachodzących w genomie osobnika w toku ewolucji, w wyniku mutacji bądź prac hodowlanych i różnicuje rośliny pod względem morfologicznym i metabolicznym (sukulenty, sklerofity), natomiast aklimatyzacja (hartowanie) prowadzi do modyfikacji struktury i funkcji osobnika podczas jego rozwoju osobniczego, w odpowiedzi na czynnik stresowy i nie dziedziczny się. Umożliwia zminimalizowanie uszkodzeń i lepiej przystosowuje osobnika do panujących warunków środowiskowych (17).

Soja, jako roślina ciepłolubna narażona jest w Polsce przede wszystkim na stres termiczny, związany z niskimi temperaturami wiosną i latem, ale także na stres suszy powodowany przez coraz częściej występujące w ostatnich latach okresowe

niedobory wody w glebie, obejmujące znaczne obszary kraju i powodujące duże straty w produkcji rolniczej (9). Niekorzystnie warunki uprawy soi mogą dotyczyć także zasolenia gleby (35). Celem opracowania jest omówienie reakcji soi zwyczajnej na ważniejsze stropy abiotyczne (chłód, susza, zasolenie), które mogą ujemnie wpływać na wielkość i jakość plonu nasion uzyskiwanego w warunkach Polski. Podstawą rozważań są wyniki badań własnych oraz innych autorów dostępne w literaturze krajowej i zagranicznej.

Reakcja soi na stres chłodu

W warunkach klimatu umiarkowanego niskie temperatury w okresie wiosennym są jednym z głównych czynników mających negatywny wpływ na kiełkowanie i wschody soi. Jest to roślina dnia krótkiego, o dużych wymaganiach termicznych (13). Zdaniem Camara i in. (3) średnia temperatura dobowa w trakcie wegetacji nie powinna być niższa niż 15°C, bowiem przy niższych wartościach temperatur następuje spowolnienie wzrostu roślin, nie wytwarzają się nowe liście, pędy i strąki, a spadek temperatury poniżej 10°C może spowodować, że soja nie wejdzie w fazę kwitnienia. Na podstawie badań prowadzonych w Szwajcarii (13) stwierdzono, że w okresie wegetacji soi występują 2 okresy krytyczne związane z wrażliwością roślin na niskie temperatury. Pierwszy okres przypada od siewu do pełni wschodów, w czasie którego niska temperatura może powodować przedłużenie kiełkowania, gnicie części nasion, zaś wschody pozostałych są spowolnione i opóźnione. Janas i in. (18) wykazali, że stres chłodu we wczesnych fazach rozwojowych powodował zahamowanie wzrostu pędu i korzenia soi, przy czym bardziej ograniczał długość korzenia niż jego masę (Tab. 1). Zdaniem Markowskiego (32) uszkodzenia siewek wywołane niską temperaturą (5°C) znacznie się zmniejszyły, jeśli zakończenie kiełkowania i wschody siewek odbywały się w wyższej temperaturze (20°C).

Drugi okres krytyczny występuje w fazie kwitnienia, gdzie za biologiczne minimum temperatury powietrza uważa się przedział 17-18°C, zaś za optimum 22-25°C. Zdaniem Gass i in. (13), po lekkim przechłodzeniu w fazie reprodukcyjnej, u roślin soi pojawiają się małe, pozbawione nasion lub zdeformowane strąki, zwykle w szczytowej części lodygi, co spowodowane jest nieotwieraniem się kwiatów podczas chłodnej pogody i brakiem zapylenia. Umiarkowany stres w tej fazie rozwojowej może prowadzić do opadania kwiatów, co skutkuje brakiem zawiązywania strąków, bądź pojawianiem się strąków płonnych wzdłuż pędu głównego. Przy silnym stresie nawet do 100% kwiatów może opaść, co skutkuje zupełnym brakiem plonu. Mniejsze wymagania cieplne ma natomiast soja w okresie dojrzewania, które kształtują się na poziomie minimum biologicznego w granicach 8-14°C, przy optimum wnoszącym 14-19°C. Zdaniem Łykowskiego (30) temperatura 10°C jest najniższą, zapewniającą jeszcze normalną wegetację wielu odmian soi.

Tabela 1

Wpływ stresu chłodu na długość i suchą masę korzenia soi

Liczba dni ze stresem chłodu	Długość korzenia (cm)		Sucha masa (mg·g ⁻¹)	
	25°C	10°C	25°C	10°C
0	3,7 ± 0,4	3,7 ± 0,4	78,0 ± 7,0	78,0 ± 7,0
1	5,0 ± 0,4	3,9 ± 0,7	79,0 ± 6,0	76,5 ± 10,5
2	6,6 ± 3,3	4,0 ± 0,5	81,0 ± 8,0	79,5 ± 6,5
3	7,4 ± 0,4	4,1 ± 0,9	80,0 ± 10,2	79,0 ± 7,8
4	8,4 ± 1,8	4,1 ± 0,4	76,0 ± 5,6	79,5 ± 10,1

Źródło: Hanson i Hitz, 1982 (18)

Badania różnych autorów wykazały, że plon oraz skład chemiczny i wartość pokarmowa nasion soi są zróżnicowane w zależności od genotypu i odmiany, ale są także modyfikowane przez warunki siedliskowe i pogodowe w okresie wegetacji. Zróżnicowanie odmianowe soi w reakcji na stres chłodu wskazuje wielu autorów. Gass i in. (13) wykazali zróżnicowanie w tolerancji chłodu o 3° pomiędzy 10 genotypami soi. W badaniach Kołodziej i Pisulewskiej (22) spośród dwóch odmian soi, Naviko była bardziej wrażliwa na niekorzystny przebieg warunków pogodowych niż Aldana, a wzrost amplitudy temperatur przyczyniał się do zwiększania nie tylko plonu nasion, ale i tłuszczu. Zdaniem Kapusty (21) wysoka temperatura powietrza (23-27°C) i usłonecznienie (900-1000 godzin) w okresie wegetacji dodatnio wpływają na zawartość białka w nasionach soi.

Badania przeprowadzone przez Ohnishi i in. (36) wskazują na dwa etapy podczas kwitnienia soi, szczególnie wrażliwe na stres chłodu. Pierwszy etap obejmuje okres początku rozwoju kwiatów (12 dni przed pełnią kwitnienia), zaś drugi – 3-4 dni przed pełnią kwitnienia roślin. W obu etapach wykazano niewystarczające zapylenie roślin i w konsekwencji małą ilość zawiązanych strąków na skutek stresu chłodu. Niska temperatura powodowała tworzenie nieprawidłowych ziaren pyłku w kształcie tetrad, co znacząco ograniczało zapylenie. Zdaniem Schor i in. (38) genotypy soi odporne na chłód można rozróżnić w stanie dojrzałości pełnej poprzez ocenę regularności rozmieszczenia strąków wzdłuż pędu głównego. Genotypy odporne mają mało lub nie mają w ogóle jałowych węzłów po stresie chłodu, w przeciwieństwie do odmian wrażliwych, które mają ich bardzo dużo. U genotypów odpornych dobra produktywność poszczególnych węzłów jest związana ze zmniejszonym spoczynkiem po stresie i/lub szybkim wyrównaniem uszkodzonych strąków.

Reakcja soi na stres suszy

Ograniczony dostęp do wody powoduje jej deficyt w tkankach, przez co hamowany jest przebieg różnych procesów fizjologicznych. Wpływa to na wzrost i rozwój roślin, a w konsekwencji decyduje o plonie i składzie chemicznym nasion (39). Soja jest rośliną o umiarkowanych wymaganiach wodnych i dość dobrze znosi krótkie okresy posuszne. Ma do tego genetyczne przystosowania, takie jak owłosienie liści i łodyg,

które ogranicza nadmierną transpirację oraz głęboki, palowy system korzeniowy umożliwiający pobieranie wody z głębszych warstw gleby. Dodatkowo liście soi w czasie dużego promieniowania słonecznego ustawiają się równolegle do padających promieni (krawędzią do słońca), dzięki czemu roślina ogranicza nagrzewanie oraz intensywność procesów fizjologicznych (7). Wyniki badań własnych, przeprowadzonych w warunkach kontrolowanych wykazały, że długotrwałe zmniejszenie ilości wody w glebie (z 60 do 30% połowej pojemności wodnej) istotnie zredukowało średnio plon nasion dwóch wczesnych (Aldana, Annushka) i jednej późnej (Lissabon) odmian soi (średnio o 12,3%), przy czym największą stratę zanotowano u Aldany (17,6%), a najmniejszą u Lissabon (4,5%) (Tab. 2). Niedobór wody w glebie nie wpłynął natomiast na MTN badanych odmian. W badaniach Michałka i Borowskiego (34) niedobór wody w glebie przyczynił się do wykształcenia mniejszej masy nasion siedmiu krajowych odmian soi (Aldana, Jutro, Polan, Progres, Mazowia, Gaj, Nawiko), zarówno w doświadczeniu wazonowym (średnio o 49,1%), jak i w warunkach polowych (średnio o 19,8%), przy czym w obu doświadczeniach najbardziej wrażliwe na stres były odmiany Jutro i Aldana. O mniejszym plonowaniu soi w latach charakteryzujących się mniejszymi opadami donoszą także inni autorzy (2, 29).

Tabela 2

Wpływ poziomu wilgotności gleby na plon nasion wybranych odmian soi

Odmiana	Masa nasion (g z wazonu)		MTN (g)	
	poziom wilgotności gleby (% ppw)			
	30	60	30	60
Aldana	11,7 a	14,2 a	119 a	117 a
Lissabon	11,4 a	11,9 a	109 a	103 a
Annushka	11,3 a	12,8 a	96 a	100 a
średnia dla odmiany				
Aldana	13,0 a		118 b	
Lissabon	11,6 a		106 a	
Annushka	12,0 a		98 a	
średnia dla poziomu wilgotności gleby (% ppw)				
30	11,4 a		108 a	
60	13,0 b		107 a	

Źródło: Czopek i Staniak, 2018 (7)

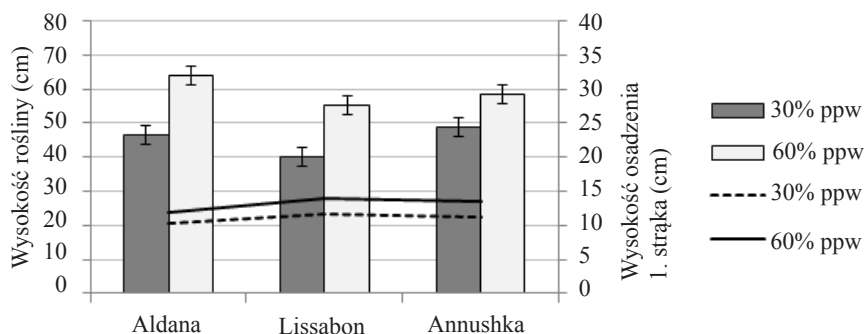
Zdaniem Jasińskiej i Koteckiego (19), w uprawie soi wyróżnia się trzy okresy krytyczne pod względem wymagań wilgotnościowych. Pierwszy okres przypada od siewu do pełni wschodów (ilość pobranej wody w okresie kiełkowania stanowi około 120% masy nasion), drugi – w fazie kwitnienia, a trzeci – w okresie wypełniania strąków. Michałek i Borowski (33) wykazali, że spadek potencjału wody w roztworze w istotny sposób obniżał ilość skielkowanych nasion soi, szybkość

ich kiełkowania, a także przyrost masy kiełków, zaś warunki symulowanej suszy w większym stopniu wpływały na kiełkowanie nasion niż na wzrost młodych roślin. Również Hafeez i in. (16) wykazali, że susza istotnie zmniejszyła wigor nasion soi, procent skiełkowanych nasion, zawartość chlorofilu i karotenoidów w siewkach soi oraz długość pędu, w porównaniu do warunków optymalnych.

Zdaniem Kołodziej i Pisulewskiej (22) największe straty plonu nasion soi powoduje niedobór wody w fazie wypełniania strąków, co potwierdzają badania przeprowadzone przez Mandić i in. (31). Także Eck i in. (10) wykazali duży wpływ fazy rozwojowej oraz długości trwania suszy na plon nasion soi. Długotrwały stres zadany roślinom od fazy początku lub pełni kwitnienia do końca fazy pełnego rozwoju strąków oraz od początku rozwoju nasion do końca okresu wegetacji bardziej zredukował plon nasion soi (odpowiednio o 45 i 46%) niż we wcześniejszych fazach rozwojowych. Mniejszą redukcję plonu zanotowano natomiast, gdy stres był krótkotrwały i wystąpił w okresie od początku lub pełni kwitnienia do fazy początkowego rozwoju strąków, a także zapoczątkowany w fazie początku rozwoju nasion, a zakończony w fazie pełnego ich rozwoju (odpowiednio o 9-13 i 15%).

Na poziom plonowania soi duży wpływ mają cechy morfologiczne, takie jak wysokość roślin, która decyduje o podatności roślin na wyleganie oraz wysokość osadzenia pierwszego strąka, która jest istotna przy zbiorze nasion. Wyniki badań własnych wykazały, że odmiany soi w warunkach niedoboru wody w glebie były istotnie niższe (średnio o 25%) i miały niżej osadzony pierwszy strąk (średnio o 15%) (Rys. 1). Także Śliwa i in. (42) wskazali na ograniczenie wzrostu i rozwoju roślin soi we wczesnych fazach rozwojowych na skutek stresu związanego z niedoborem wody w glebie. Z kolei Desclaux i in. (8) wykazali zmniejszenie liczby węzłów na roślinie spowodowane suszą, przez co rośliny były niższe, zaś międzywęzła, które rozpoczęły wzrost w warunkach stresu były krótsze.

Zdaniem niektórych autorów susza i wysoka temperatura niekorzystnie wpływają na symbiozę soi i bakterii brodawkowych *Bradyrhizobium japonicum* (26). Korsak-Adamowicz i in. (23) najmniej brodawek wykazali w latach, gdy w okresie kwitnienia roślin suma opadów wynosiła poniżej 20 mm, a średnia temperatura kształtowała się na poziomie 20°C i więcej. Także Sadeghipour i Abbasi (37) wykazali spadek aktywności bakterii symbiotycznych oraz zmniejszenie liczby strąków na roślinie, nasion w strąku, masy nasion i plonu nasion w warunkach stresu suszy.



Rys. 1. Wpływ poziomu wilgotności gleby na wysokość roślin oraz osadzenie 1-szego strąka wybranych odmian soi

Źródło: Czopek i Staniak, 2018 (7)

Niedobór wody w glebie wpływa również na zawartość składników pokarmowych w nasionach soi (25). O wartości odżywczej nasion roślin strączkowych decydują przede wszystkim, zawartość białka ogólnego i tłuszczu surowego, przy czym zawartość białka w nasionach soi jest ujemnie skorelowana z zawartością tłuszczu (5, 45). Michałek i Borowski (34) wykazali spadek zawartości tłuszczu surowego (średnio o 13,8%) oraz niewielki wzrost zawartości białka ogólnego (o 6,2%) w nasionach kilku odmian soi poddanych okresowej suszy (Tab. 3). Także inni autorzy donoszą o dużym wpływie warunków pogodowych na skład chemiczny nasion soi. W latach chłodnych i wilgotnych zebrane nasiona charakteryzowały się mniejszą zawartością białka ogólnego i większą – tłuszczu surowego, w porównaniu do lat o cieplejszym i bardziej suchym przebiegu pogody (12, 29).

Tabela 3

Wpływ poziomu wilgotności gleby na zawartość białka i tłuszczu w nasionach wybranych odmian soi

Odmiana	Białko ogólne (% s.m.)		Tłuszcz surowy (% s.m.)	
	warunki wilgotnościowe gleby			
	optymalne	susza	optymalne	susza
Aldana	36,8	38,6	19,4	17,0
Jutro	36,7	38,4	18,3	16,2
Polan	37,4	39,8	17,6	14,8
Progres	36,8	38,9	16,2	13,8
Mazowia	34,8	37,4	15,4	13,9
Gaj	38,5	41,6	14,8	13,3
Nawiko	37,7	39,5	15,0	12,2
Średnia	36,9	39,2	16,7	14,4

Źródło: Markowski, 1982 (34)

Reakcja soi na stres solny

Jednym z głównych abiotycznych czynników stresowych ograniczających wzrost roślin jest zasolenie podłoża. Szacuje się, że około 20% nawadnianych gruntów, które dostarczają jedną trzecią światowej żywności, jest w mniejszym lub większym stopniu zasolona (35). Wysoka koncentracja soli w glebie powoduje zaburzenia w pobieraniu wody, narusza równowagę jonową oraz wpływa na nadmierne gromadzenie szkodliwych jonów (Na^+ , Cl^-); (40). Powoduje również zaburzenia w procesach fizjologicznych, przede wszystkim w intensywności fotosyntezy. W przypadku stresu solnego roślina często narażona jest także na stres osmotyczny i suszę fizjologiczną, co powoduje wystąpienie objawów podobnych do tych, które wywołuje niedobór wody w glebie. Munns (35) wykazał, że nadmierne zasolenie gleby powoduje zaburzenia metabolizmu u roślin oraz spowolnienie wzrostu roślin. Zdaniem Lee i in. (28) podstawowe parametry, które określają odporność roślin na stres solny, to przyrost biomasy części nadziemnych i podziemnych oraz wzrost elongacyjny korzenia. Według Amirjani (1) istnieje też szereg innych parametrów określających odporność roślin na czynniki stresowe, jak np. zawartość mikroelementów w liściach czy aktywność enzymów antyoksydacyjnych. Xu i in. (46), w odpowiedzi na stres solny wykazali, wzrost zawartości kwasu absycynowego i giberelinowego w komórkach roślin.

Soja należy do gatunków wrażliwych na zasolenie podłoża (15, 46). Z badań Gawlik i in. (14) wynika, że stres solny negatywnie wpływa na rozwój młodych siewek soi, ogranicza intensywność fotosyntezy oraz zmniejsza świeżą i suchą masę części nadziemnych. Duże zasolenie gleby może mieć również niekorzystny wpływ na symbiozę soi z bakteriami brodawkowymi *Bradyrhizobium japonicum*, poprzez ograniczanie wiązania wolnego azotu, a w konsekwencji plonowania roślin. Velagaleti i Marsh (44) w badaniach nad efektywnością symbiozy pomiędzy soją a bakteriami brodawkowymi *Bradyrhizobium japonicum* wykazali zróżnicowanie w tolerancji na zasolenie, zarówno wśród odmian soi, jak i szczepów bakterii symbiotycznych, jednak to właśnie poziom tolerancji u gospodarza był kluczowy w przypadku procesu symbiozy między tymi dwoma gatunkami. Szczepy bakterii wysoce wrażliwe na zasolenie wykazywały wyższą aktywność symbiotyczną z odmianą odporną soi, w porównaniu do wrażliwej, co wyrażało się, m.in. większą liczbą tworzonych brodawek korzeniowych (Tab. 4). Dlatego ważny jest postęp biologiczny również w tym zakresie i poszukiwanie odmian tolerujących większe zasolenie.

Tabela 4

Wpływ zasolenia na rozwój roślin i brodawkowanie różnych odmian soi

Odmiana/ szczep	Sól (Mm)	Sucha masa części nadziemnej (mg/roślina)	Sucha masa części podziemnej (mg/roślina)	Liczba brodawek	Sucha masa brodawek (mg/roślina)
Williams/110	0	1552	372	32	132
	60 NaCl	364	122	2	3
	60 KCl	474	167	5	8
Manchu/110	0	1757	393	37	171
	60 NaCl	892	332	8	38
	60 KCl	974	287	5	30
Williams/136	0	1425	311	35	132
	60 NaCl	476	139	8	9
	60 KCl	493	180	4	6
Manchu/136	0	1705	435	34	154
	60 NaCl	960	370	9	50
	60 KCl	935	319	6	32
Williams/SM	0	1385	355	49	149
	60 NaCl	352	107	10	8
	60 KCl	374	122	9	8
Manchu/SM	0	1487	370	36	175
	60 NaCl	911	253	26	47
	60 KCl	1027	289	15	54
NIR ($\alpha=0,05$)	odmiany	321	121	10	32
	Sole	301	118	11	35

Źródło: Świącicki i in., 2007 (44)

Podsumowanie

Badania dotyczące oddziaływania czynników stresowych na rośliny uprawne prowadzone są od kilkudziesięciu lat w wielu ośrodkach w kraju i za granicą. Podstawę działań stanowią metody hodowlane, które mają za zadanie utwalić korzystne cechy roślin dotyczące przede wszystkim produktywności i odporności na czynniki stresowe. Złożoność problemu polega jednak na tym, że o wrażliwości danego gatunku na stres decydują nie tylko uwarunkowania genetyczne (zróżnicowanie odmianowe), ale również środowiskowe. Czynniki stresowe, takie jak susza, chłód czy zasolenie mogą zakłócać procesy fizjologiczne, zmieniać metabolizm roślin, powodować uszkodzenia struktur komórkowych, a w konsekwencji hamować wzrost roślin, obniżać plon i pogarszać jego jakość. Ciągłe jednak brak jest pełnego i dokładnego wyjaśnienia mechanizmów ich oddziaływania oraz prognozowania skutków ich działania. Poznanie reakcji roślin na czynniki stresowe i ich odpowiedzi na stres ma duże znaczenie poznawcze i praktyczne. Wyselekcjonowanie gatunków i odmian odpornych na niekorzystne czynniki środowiska może przyczynić się do wzrostu plonowania roślin uprawnych i rozszerzenia ich areалу.

Małe zainteresowanie uprawą soi na terenie Polski do tej pory spowodowane było niekorzystnymi dla tego gatunku warunkami klimatycznymi. Jako roślina pochodząca z Dalekiego Wschodu soja ma wysokie wymagania termiczne i bardzo zmiennie reaguje na niekorzystne warunki klimatyczne. Wrażliwość na długość dnia i wiosenne chłody sprawiała, że jeszcze do niedawna soja w Polsce uprawiana była na niewielkim areale, głównie w południowej i południowo-wschodniej części kraju. Postęp biologiczny i wzrastająca dostępność odmian, także wczesnych o krótszym okresie wegetacji (do 130 dni), a także obserwowane od kilkunastu lat zmiany klimatu sprawiły, że z roku na rok powierzchnia uprawy tego gatunku w Polsce zwiększa się i jest to trend rosnący.

Literatura

1. Amirjani M. R. Effect of salinity stress on growth, mineral composition, proline content, antioxidant enzymes of soybean. *Am. J. Plant Physiol.*, 2010, **5(6)**: 350-360.
2. Bury M., Nawracała J. Wstępna ocena potencjału plonowania odmian soi (*Glycine max* (L.) Merrill) uprawianych w rejonie Szczecina. *Rośliny Oleiste*, 2004, **15**: 415-422.
3. Camara G. M. S., Sediya T., Dourado-Neto D., Bernardes M. S. Influence of fotoperiod and air temperature on the growth, flowering and maturation of the soybean (*Glycine max*. L. Merrill). *Sci. Agric.*, 1997, **54**: 149-154.
4. Chaves M. M., Oliveira M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *J. Exp. Bot.*, 2004, **407**: 2365-2379.
5. Chung J., Babka H. L., Graef G. L., Staswick P. E., Lee D. J., Cregan P. B., Shoemaker R. C., Specht J. E. The seed protein, oil, and yield QTL on soybean linkage group I. *Crop Sci.*, 2003, **43(3)**: 1053-1067.
6. COBORU 2018, (http://www.coboru.pl/Polska/Rejestr/odm_w_rej.asp?kodgatunku=SOS (dostępny 13.09.2018))
7. Czopek K., Staniak M. Wpływ niedoboru wody w glebie na cechy morfologiczne oraz wielkość i jakość plonu nasion soi (*Glycine max* (L.) MERR.). *Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce. Nauki Przyrodnicze*, 2018, **3**: 38-44.
8. Desclaux D., Huynh T. T., Roumet P. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. *Crop Sci.*, 2000, **40**: 716-722.
9. Doroszewski A., Jadczyński J., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Mizak K., Łopata A., Koza P., Wróblewska E. Podstawy monitoringu suszy rolniczej. *Woda Środ. Obsz. Wiej.*, 2012, **12, 2(38)**: 77-91.
10. Eck H. V., Mathers A. C., Musick J. Y. Plant water stress at various growth stages and growth and yield of soybeans. *Field Crops Res.*, 1987, **17(1)**: 716-722.
11. FAOSTAT 2015 <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (dostępny 13.09.2018)
12. Fecak P., Sarikova D., Cerny I. Influence of tillage system and starting fertilization on seed yield and quality of soybean *Glycine max* (L.) Merrill. *Plant Soil Environ.*, 2010, **56**: 105-110.
13. Gass T., Schori A., Fossati A., Soldati A., Stamp P. Cold tolerance of soybean (*Glycine max*. L. Merrill) during the reproductive phase. *Eur. J. Agron.*, 1996, **5**: 71-88.
14. Gawlik A., Matuszak-Slamani R., Gołębiowska D., Bejger R., Sienkiewicz M., Kulpa D. Ocena reakcji siewek soi na stres solny. *Acta Agroph.*, 2014, **21(2)**: 143-152.
15. Grieve C. M., Wang D., Shannon M. C. Salinity and irrigation method affect mineral ion relations of soybean. *J. Plant Nutr.*, 2003, **26**: 901-913.
16. Hafeez Y., Iqbal S., Jabeen K., Shahzad S., Jahan S., Rasul F. Effect of biochar application on seed germination and seedling growth of *Glycine max* (L.) Merr. under drought stress. *Pak. J. Bot.*, 2017, **49**: 7-13.
17. Hanson A.D., Hitz W.D. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 1982, **33**: 163-203.

18. Janas K., Cvirikova M., Pałagiewicz A., Eder J. Alterations in phenylpropanoid content in soybean roots during low temperature acclimation. *Plant Physiol. Biochem.*, 2000, **38**: 587-593.
19. Jasińska Z., Kotecki A. Wpływ doglebowego nawożenia azotem i dolistnego mikroelementami na rozwój i plonowanie soi odmiany Polan. Cz. III Wartość pokarmowa nasion i słomy. *Biuletyn IHAR*, 1994, **190**: 161-168.
20. Kacperska A. Reakcje roślin na abiotyczne czynniki stresowe. W: *Fizjologia roślin*. J. Kopcewicz i S. Lewtak (red.), wyd. PWN Warszawa, 2002, s. 612-678.
21. Kapusta F. Rośliny strączkowe źródłem białka dla ludzi i zwierząt. *Nauki Inż. Technol.*, 2012, **1(4)**: 16-32.
22. Kołodziej J., Pisulewska E. Wpływ czynników meteorologicznych na plon nasion i tłuszczu oraz zawartość tłuszczu w nasionach dwóch odmian soi. *Rośliny Oleiste*, 2000, **21**: 759-773.
23. Korsak-Adamowicz M., Starczewski J., Dopka D. Oddziaływanie niektórych zabiegów agrotechnicznych na brodawkowanie soi. *Fragm. Agron.*, 2007, **3(95)**: 232-237.
24. Kozyra J., Doroszewski A., Nieróbca A. Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 2009, **14**, 243-257.
25. Ku Y. S., Au-Yeung W. K., Yung Y. L., Li M. W., Wen C. Q., Lam H. M. Drought stress and tolerance in soybean, W: *A Comprehensive Survey of International Soybean Research - Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships*, J. E. Board (red.), 2013, s. 209-237.
26. Kunert K. J., Vorster B. J., Fenta B. A., Kibido T., Dionisio G., Foyer C. H. Drought Stress Responses in Soybean Roots and Nodules. *Front. Plant Sci.*, 2016, **7**: 1015.
27. Lampart-Szczapa E. Nasiona roślin strączkowych w żywieniu człowieka, wartość biologiczna i technologiczna. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1997, **446**, 61-82.
28. Lee S. K., Sohn E. Y., Hamayun M., Yoon J. Y., Lee I. J. Effect of silicon growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. *Agroforest. Syst.*, 2010, **80(3)**: 333-340.
29. Lorenc-Kozik A. M., Pisulewska E., Gondek K. Wpływ warunków pogodowych na skład chemiczny trzech odmian soi. *Ecol. Chem. Eng.*, 2011, **18(8)**: 1079-1085.
30. Łykowski B. Warunki klimatyczne rozwoju i plonowania soi w Polsce. *Rozpr. Nauk. Monogr. Dział Wyd. SGGW, Warszawa*, 1984, **41**: 1-84.
31. Mandić V., Krnjaja V., Tomić Z., Bijelić Z., Simić A., Đorđević S., Stanojković A., Gogić M. Effect of water stress on soybean production. *Proceedings of the 4th International Congress New Perspectives and Challenges of Sustainable Livestock Production*, Belgrade, Serbia, October 7-9, 2015, s. 405-414.
32. Markowski A. Influence of initial seed moisture and temperature conditions during germination and emergence on seedling survival and yields of soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Acta Agrobot.*, 1982, **35(1)**: 43-59.
33. Michałek S., Borowski E. Kielkowanie nasion i wzrost siewek krajowych odmian soi (*Glycine max* (L.) Merr.) w warunkach suszy. *Biul. IHAR*, 2002, **223/224**: 195-201.
34. Michałek S., Borowski E. Plonowanie oraz zawartość tłuszczu, kwasów tłuszczowych i białka w nasionach krajowych odmian soi w warunkach suszy. *Acta Agroph.*, 2006, **8**: 459-471.
35. Munns R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.*, 2002, **25**: 239-250.
36. Ohnishi S., Miyoshi T., Shirai S. Low temperature stress at different flower developmental stages affects pollen development, pollination, and pod set in soybean. *Environ. Exp. Bot.*, 2010, **69**: 56-62.
37. Sadeghipour O., Abbasi S. Soybean Response to Drought and Seed Inoculation. *World Appl. Sci. J.*, 2012, **17**: 55-6.
38. Schor A., Fossati A., Soldat A., Stamp P. Cold tolerance in soybean (*Glycine max*. L. Mer.) in relation to flowering habit, pod set and compensation for lost reproductive organs. *Eur. J. Agron.*, 1993, **2(3)**: 173-178.
39. Sionit N., Kramer P. J. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. *Agron. J.*, 1977, **69**: 274-278.
40. Starck Z. Wpływ warunków stresowych na kondycję wytwarzania i dystrybucji fotoasymilatów. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2010, **1**: 9-26.
41. STATISTA 2015 <https://www.statista.com/search/?q=soybean> (dostępny 13.09.2018)

42. Śliwa J., Zajac T., Oleksy A., Klimek-Kopyra A., Lorenc-Kozik A., Kulig B. Comparison of the development and productivity of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivated in western Poland. *Acta Sci. Pol. sec. Agricultura*, 2015, **14(4)**: 81-95.
 43. Święcicki W., Chudy M., Żuk-Gołaszewska K. Rośliny strączkowe w projektach badawczych Unii Europejskiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2007, **522**: 55-65.
 44. Velagaleti R. R., Marsh S. Influence of host cultivars and Bradyrhizobium strains on the growth and symbiotic performance of soybean under salt stress. *Plant Soil*, 1989, **119**: 133-138.
 45. Vollmann J., Fritz C. N., Wagentristl H., Ruckebauer P. Environmental and genetic variation of soybean seed protein content under Central European growing conditions. *J. Sci. Food Agr.*, 2000, **80(9)**: 1300-1306.
 46. Xu X., Fan R., Zheng R., Li C., Yu D. Proteomic analysis of seed germination under salt stress in soybean. *J. Zhejiang Univ-Sc. B*, 2011, **12(7)**: 507-517.
-

Adres do korespondencji:

*dr hab. Mariola Staniak, prof. IUNG-PIB
Zakład Uprawy Roślin Pastewnych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 790
e-mail: staniakm@iung.pulawy.pl*

Eliza Gawel¹, Mieczysław Grzelak²

*¹Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

*²Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
Katedra Łąkarstwa i Krajobrazu Przyrodniczego*

WIELKOŚĆ I JAKOŚĆ PLONU ROŚLIN BOBOWATYCH DROBNONASIENNYCH I ICH MIESZANEK Z TRAWAMI W WARUNKACH NIEDOBORU OPADÓW*

Słowa kluczowe: bobowate drobnonasienne, plonowanie, jakość pokarmowa, jakość odżywcza, mieszanki bobowato-trawiaste, niedobór opadów

Wstęp

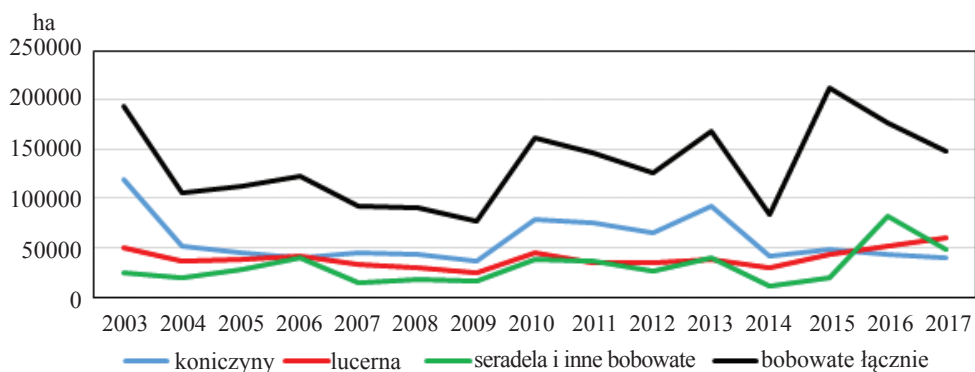
Bobowate drobnonasienne należą do grupy roślin bardzo cennych z rolniczego i pozarolniczego oddziaływania na środowisko przyrodnicze. Mają one duże znaczenie w rolnictwie w produkcji wartościowej wysokobiałkowej paszy objętościowej dla zwierząt gospodarskich produkowanej głównie na gruntach ornych oraz w siedliskach trwałych użytków zielonych. Działają strukturotwórczo na glebę, poprzez wprowadzenie do niej znacznej ilości substancji organicznej, składników pokarmowych, w tym azotu pochodzenia symbiotycznego oraz innych makro- i mikroelementów (2, 24). Wykazano, że krótkotrwałe pastwisko obsiane mieszankami koniczyny łąkowej i lucerny z trawami pozostawia po czteroletniej uprawie od 9,51 do 16,71 t/ha resztek pozbiorowych, w których do wykorzystania przez rośliny następcze pozostaje 145,3-193,5 kg N·ha⁻¹, 18,64-23,30 kg P·ha⁻¹, 51,57-65,31 kg K·ha⁻¹, 52,02-82,80 kg Ca·ha⁻¹ i 12,31-19,31 kg Mg·ha⁻¹ (2). Bobowate drobnonasienne szczególnie przydatne są do uprawy w gospodarstwach wytwarzających produkty rolnicze w systemach ekologicznym i zrównoważonym, ale olbrzymie znaczenie mają także w gospodarstwach konwencjonalnych. Uprawa tej grupy roślin jest ważnym źródłem substancji organicznej, działa fitosanitarnie ograniczając rozwój patogenów roślin zbożowych, zmniejsza zużycie nawozów azotowych przez symbiozę tych roślin z bakteriami wiążącymi wolny azot z powietrza i umożliwia transfer azotu do innych roślin uprawianych współrzędnie, zmniejsza niekorzystne

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

oddziaływanie zbóż dominujących w strukturze zasiewów większości gospodarstw rolnych na terenie naszego kraju (25). Rośliny bobowate o mniejszych wymaganiach siedliskowych stosuje się do ochrony i rekultywacji gleb trudnych, ugorów, odłogów, terenów przemysłowych lub zdewastowanych przez człowieka gdzie służą do odtworzenia próchnicy i chronią glebę przed wystąpieniem erozji wietrznej oraz wodnej (25). Niektóre spośród tych roślin wykorzystuje się do fitoremediacji i rekultywacji gleb skażonych metalami ciężkimi i olejami, stosuje do biologicznej rekultywacji hałd fabrycznych, używa do umacniania i zwiększania wytrzymałości i szczelności wałów przeciwpowodziowych i nasypów kolejowych oraz stosuje na poboczach dróg, trawnikach terenach zurbanizowanych w celu oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń pyłowych, gazowych i tłumienia hałasu (4).

Pomimo wielu zalet bobowate negatywnie mogą działać na środowisko np. zakwaszają glebę pobierając z niej duże ilości wapnia i szybko wyczerpują ten składnik zgromadzony w glebie (4). Rośliny bobowate i trawy w mieszankach niekiedy nie wykorzystują całej puli azotu związanego symbiotycznie, który wydalony do środowiska zanieczyszcza wody gruntowe azotanami (33).

W Polsce w latach pięćdziesiątych dwudziestego wieku uprawiano około milion hektarów roślin bobowatych drobnonasiennych, a połowę tego areалу przeznaczano na tzw. zielony nawóz na przyoranie ponieważ w tym czasie produkowano i zużywano niewielką ilość nawozów sztucznych. Jeszcze w połowie lat siedemdziesiątych uprawiano około 994 tys. ha bobowatych drobnonasiennych, a po roku 1995 areal tych roślin spadł do 441 tys. ha (40). Po roku dwutysięcznym zmiany ustrojowe w naszym kraju, wolny rynek, zmniejszenie pogłowia zwierząt, wzrastające zainteresowanie nawozami mineralnymi oraz wejście Polski do Unii Europejskiej i związana z nim możliwość zakupu pasz (zwłaszcza białka sojowego) i materiału siewnego w innych krajach przyczyniły się do zmniejszenia zainteresowania uprawą roślin bobowatych drobnonasiennych na terenie kraju (rys. 1). Duże zmiany i systematyczny spadek areálu tych roślin uprawianych na paszę obserwuje się do roku 2009 (rys. 1). Zainteresowanie roślinami bobowatymi znacznie wzrosło po 2010 roku kiedy wprowadzono po raz pierwszy dotację unijną do ich uprawy. W ostatnich latach zmieniająca się kwota wsparcia finansowego do produkcji paszy z roślin bobowatych drobnonasiennych i mieszanek powodowała, w niektórych latach zwiększenie, a w innych ograniczenie powierzchni uprawy tych roślin. Z rysunku nr 1 wynika, że najbardziej stabilna powierzchnia uprawy w latach 2003-2017 charakteryzowała lucernę.



Rys. 1. Powierzchnia uprawy roślin bobowatych drobnonasiennych na paszę w tys. ha

Źródło: pracowanie własne na podstawie danych GUS 2003-2017, (31)

Podstawę opracowania stanowiły doniesienia naukowe opisujące reakcję roślin bobowatych drobnonasiennych na obserwowane w ostatnim okresie anomalie pogodowe: nierównomierne opady, przedłużające się susze, gwałtowne zjawiska atmosferyczne.

Celem opracowania było wskazanie możliwości ograniczenia negatywnych skutków wymienionych zjawisk na wysokość i jakość plonów roślin bobowatych drobnonasiennych i mieszanek bobowato-trawiastych.

Charakterystyka warunków pogodowych w Polsce

Warunki pogodowe w naszym kraju są regionalnie zróżnicowane w zakresie temperatury, opadów atmosferycznych i długości okresu wegetacji trwającego około 180 dni w Sudetach, Karpatach i południowo-wschodniej Polsce do około 230 dni w rejonie południowozachodnim kraju (30, 51). W warunkach dłuższego okresu wegetacji rośliny rozpoczynają wzrost i rozwój wcześniej niż w rejonie z krótszym okresem wegetacji. Z wyżej wymienionych opracowań wynika także, że roczne opady atmosferyczne w Polsce kształtują się na poziomie 500-700 mm, a największe nasilenie opadów przypada na okres lata. Opady atmosferyczne decydują o zasobach wody w glebie, które są największe w rejonie górskim i pogórskim. Na pozostałym terytorium kraju częściej występuje niedobór opadów niż ich nadmiar. Z i e r n i c k a – W o j t a s z e k (48) przedstawiła zmiany w regionalizacji agroklimatu Polski w scenariuszu uwzględniającym wzrost temperatury w okresie wegetacji o 1 do 2 °C przy niezmiennych sumach opadów w latach 1971-2000 i wykazała zmniejszenie w Polsce powierzchni regionu umiarkowanie chłodnego, zwiększenie powierzchni regionu umiarkowanie ciepłego i pojawienie się regionu ciepłego zwłaszcza w warunkach podniesienia temperatury o 2 °C. W badanym okresie autorka zaobserwowała zmniejszenie się powierzchni regionu optymalnego uwilgotnienia oraz wzrost obszaru regionu umiarkowanie suchego (48). M r ó w c z y Ń s k i i i n. (37) zauważyli, że rolnictwo jest działem gospodarki, w którym produkcja pasz

i żywności zależy od warunków klimatycznych (między innymi od suszy, wielkości i rozkładu opadów atmosferycznych, wzrostu temperatury powietrza, emisji gazów cieplarnianych), ponieważ są to ważne parametry wpływające na rozwój i plonowanie roślin. K o z y r a i i n. (35) twierdzą, że ociepleniu klimatu towarzyszyć będą niesprzyjające produkcji rolniczej zjawiska: susze, burze, wysokie temperatury, gwałtowne zmiany pogodowe ulewne deszcze, spadki temperatury, śnieżycy i bezśnieżne zimy. Przewiduje się, że w niektórych rejonach kraju ze wszystkich zjawisk atmosferycznych to susza odgrywać będzie największą rolę w rolnictwie (34, 35).

Według C h m u r y i i n. (10) zarówno nadmiar jak i niedobór wody opadowej szkodzi wszystkim roślinom i może przyczynić się do spadku ich plonów, który w przypadku roślin bobowatych może wynosić 3-34% w stosunku do warunków optymalnego uwilgotnienia.

Z przetoczonych wcześniej wyników badań C h m u r y i i n. (10) wiadomo, że co 5-6 lat następują u nas w Polsce lata suche, a co 10-11 lat bardzo suche, w których ograniczony rozwój może wystąpić w okresach największego zapotrzebowania roślin na wodę czyli w tak zwanych okresach krytycznych rozwoju roślin. Według tych autorów okres krytyczny dla wieloletnich roślin bobowatych drobnonasiennych (koniczyna, lucerna) przypada na fazę przyrostu wegetatywnego, zawiązywania pąków kwiatowych i fazę kwitnienia (10). Niedobór wody hamuje kiełkowanie nasion i wschody roślin, ogranicza przyrost łodyg i liści oraz wiązanie nasion. Natomiast nadmiar wody w okresie przyrostu wegetatywnego, zawiązywania pąków kwiatowych i fazy kwitnienia opóźnia dojrzewanie, zwiększa ryzyko wystąpienia chorób grzybowych, prowadzi też do porastania nasion w strąkach a w uprawie na paszę opóźnia proces suszenia siana. Rośliny bobowate uprawiane na glebach lekkich częściej są narażone na niedobór opadów głównie z powodu małych możliwości retencyjnych, krótkotrwałych zapasów wody w glebie, zaburzonego podsiąkania, mniejszych opadów oraz niższego poziomu wody gruntowej niż na glebach średnich i ciężkich (15, 16).

Najkorzystniejsze warunki dla polskiego rolnictwa, zdaniem K o z y r y i i n. (35) występują na Dolnym Śląsku i pogarszają się w kierunku północno-wschodnim, gdzie wskaźnik agroklimatu osiąga wartość około 85 pkt. w skali 100 pkt. Autorzy tych badań zaobserwowali częste spadki plonów roślin w latach 1990-2007 w wyniku suszy, rzadziej były one spowodowane niekorzystnymi warunkami zimowania. Szczególny wpływ na plonowanie i jakość roślin mają wiosenne i letnie niedobory opadów. Z wyliczonego dla obszaru Polski współczynnika Sielianiowa dla lat 1971-2000 wynika, że najczęściej skrajnie suche i suche warunki pluwiometryczne oraz najrzadziej bardzo wilgotne i skrajnie wilgotne zanotowano w maju (43). Jest to niekorzystne ponieważ w tym okresie przypada początkowy rozwój roślin wysiewanych wiosną i intensywny wzrost roślin wieloletnich.

Potrzeby wodne roślin bobowatych drobnonasiennych

Zapotrzebowanie na wodę roślin uprawnych jest zróżnicowane gatunkowo i wzrasta w miarę przyrostu masy (rozwoju roślin). Największe potrzeby wodne (ilość wody potrzebna do uzyskania wysokiego plonu) rośliny posiadają w okresie krytycznym przypadającym na zaawansowaną fazę rozwoju wegetatywnego i początkową fazę rozwoju generatywnego, który u bobowatych drobnonasiennych przypada zazwyczaj na początek pąkowania, tj. do 1-2 tygodnie przed koszeniem na paszę. U traw, które są komponentem mieszanek bobowato-trawiastych okres krytycznego zapotrzebowania na wodę przypada na fazę strzelania w źdźbło, tj. do 1-2 tygodnie przed zbiorem na paszę (16, 41, 42).

Przeciętne potrzeby wodne roślin uprawnych w naszym kraju kształtują się na poziomie od 200 do ponad 500 mm. Najmniejsze potrzeby wodne mają rośliny zbożowe, nieco większe – strączkowe, ziemniaki, psiankowate i cebulowe, jeszcze większe bobowate drobnonasienne i warzywa korzeniowe, natomiast największe buraki, kapusta i trawy (16, 41, 42). Według R o j k a (41) rośliny bobowate drobnonasienne zużywają dwukrotnie więcej wody na produkcję 1 t suchej masy, niż zboża i potrzebują 500-700 mm opadów na rok, z czego na sezon wegetacyjny powinno przypadać 300-450 mm opadów. Zapotrzebowanie roślin bobowatych na wodę zwiększa się na glebach lekkich w stosunku do gleb ciężkich, w których istnieje możliwość magazynowania większych zapasów wody dostępnej dla roślin i rzadziej występują susze przejściowe, wyższy jest też z reguły poziom wód gruntowych (16). Na glebie lekkiej i średnio związłej nawadnianie koniczyny łąkowej zwiększyło plonowanie w stosunku do nienawadnianej odpowiednio o więcej niż 40% oraz o około 30-40% (15, 16, 42).

Tabela 1

Potrzeby wodne ważniejszych gatunków roślin bobowatych drobnonasiennych

Gatunek rośliny bobowatej	Roczne potrzeby wodne w mm (potrzeby wodne w sezonie wegetacyjnym IV-IX)	Głębokość systemu korzeniowego (% systemu korzeniowego w warstwie ornej)	Okres z największymi potrzebami wodnymi	Budowa lodygi
Koniczyna łąkowa	500-600 (300-400)	2-2,5 m (75-80%)	Intensywny wzrost w fazie formowania pędów i rozgałęziania oraz wykształcania kwiatostanów (połowa maja do końca sierpnia)	Lodyga pusta, cienkie ściany komórkowe
Koniczyna białoróżowa	600 (400)	50-60 cm (80-90%)	Formowanie pędów głównych, początek tworzenia kwiatostanów	Pusty rdzeń pędów, cienkie ścianki komórkowe
Koniczyna biała	550-620 (300-400)	Krótki korzeń główny, dużo korzeni przybyszowych (80-90%)	Okres największego przyrostu masy	Lodyga pełna, płożąca
Koniczyna perska	400-500 (250-350)	60-70 (70%)	Intensywny wzrost wegetatywny VI-VIII	Lodyga pusta, dobrze ulistniona

Tabela 1 cd.

Lucerna	400-600 (340-470)	2-3 m (czasem do 5-10 m) (60%)	Intensywny wzrost wegetatywny, zawiązywanie pąków kwiatowych, faza kwitnienia II dekada czerwca do I dekady sierpnia	Rdzeń łodygi pełny, drewniejący, łodyga łamiwa
---------	----------------------	--------------------------------------	--	--

Źródło: Chmura i in., 2009 (10), Dzieżyc i Trybała, 1989 (16), Rojek, 1986, 1989 (41, 42)

Odporność roślin bobowatych drobnonasiennych na suszę zależy między innymi od głębokości systemu korzeniowego, poziomu wód gruntowych, dostępności wody, fazy rozwojowej oraz budowy anatomicznej rośliny tzn. im cieńsze są ściany komórkowe pędów tym ich wrażliwość na suszę jest większa. Rośliny bobowate o pustych łodygach jak np. koniczyny: łąkowa i perska są mniej odporne na suszę niż lucerna (tab. 1). Największe potrzeby wodne spośród najważniejszych gatunków roślin bobowatych ma koniczyna białoróżowa o pustej łodydze, małym i płytkim systemie korzeniowym, którego 80-90% masy znajduje się w warstwie ornej oraz koniczyna biała. Pod uprawę koniczyny łąkowej nadają się tereny górskie i nadmorskie. Koniczyna biała dzięki korzeniom przybyszowym dobrze znosi okresowe susze i zalewanie wodą, można ją uprawiać na terenie całego kraju.

Koniczyna białoróżowa jest rośliną stanowisk wilgotnych i mokrych, z powodu płytkiego systemu korzeniowego bardzo wrażliwą na suszę.

Lucerna wraz z esparcetą siewną mają najsilniej rozbudowany system korzeniowy spośród bobowatych drobnonasiennych, dzięki temu dobrze znoszą krótkotrwały deficyt wody, natomiast długotrwały niedobór wody hamuje ich rozwój. Najczęściej lucernę wysiewa się wiosną w jęczmień jary na ziarno jako roślina ochronna, ale taki zasiew nie zawsze gwarantuje dobre plonowanie lucerny w następnym roku. Powodem tego jest konkurencja rośliny ochronnej i zmniejszająca się obsada roślin lucerny w warunkach niedoboru wody (13). Andrzejewska i in. (1) uważają, że dla wsiewek lucerny w roślinie ochronną alternatywą gwarantującą dobrą obsadę i plonowanie roślin w kolejnym sezonie wegetacyjnym może być siew czysty tego gatunku wykonany nie później niż w drugiej połowie lipca.

Mieszanki bobowato-trawiaste uprawiane w warunkach gruntów ornych charakteryzujących się ograniczoną możliwością podsiąku wody z głębszych warstw gleby, korzystają głównie z wody zmagazynowanej w jednometrowej warstwie gleby (29). Według tego autora mieszanki bobowato-trawiaste przy wytwarzaniu pierwszego odrostu runi korzystają z wody zmagazynowanej w okresie zimowym, niedostatek opadów podczas wiosny hamuje rozwój drugiego odrostu runi, natomiast gdy w pierwszym miesiącu po skoszeniu runi opady wynoszą 20-30 mm całkowicie ustaje rozwój traw (29).

Zmiany klimatu a efekty produkcyjne roślin bobowatych

Na wydajność roślin bobowatych drobnonasiennych i mieszanek bobowato-trawiastych wpływają między innymi warunki pogodowe i glebowe. Z reguły te uprawy prowadzi się na określonym dla nich typie i klasie bonitacyjnej gleby. Dlatego, niezależnie od stosowanych technologii produkcji duży wpływ na plonowanie roślin bobowatych i mieszanek mają warunki pogodowe: ilość opadów śniegu (zapasy wody pozimowej), długotrwałe zaleganie śniegu, brak pokrywy śnieżnej w warunkach niskich temperatur, przymrozki wiosenne (zwłaszcza niekorzystne są wahania temperatury wiosną, które niszczą szyjki korzeniowe roślin bobowatych), usłonecznienie, roczne opady atmosferyczne i ich rozkład w sezonie wegetacyjnym oraz susze przejściowe i trwałe jak też zmiany temperatury w tym zwłaszcza wyższe niż zwykle temperatury związane z ocieplaniem klimatu. Niedobór wody w glebie zakłóca przebieg procesu fotosyntezy i transpiracji ograniczając rozwój roślin i ich plonowanie (39, 45, 49).

Reakcja roślin bobowatych uprawianych w mieszankach na niedobór wody zależy między innymi od gatunku komponenta trawiastego. Stwierdzono mniejszą transpirację i lepsze wykorzystanie wody przez komonicę zwyczajną uprawianą z *Festulolium* niż z kostrzewą łąkową (38).

Na podstawie długoletnich analiz wpływu przebiegu pogody wykonano mapę efektów plonotwórczych klimatu w uprawie lucerny na paszę, z której wynika, że rejon Niziny i Wyżyny Śląskiej, Pogórza Karpackiego, Kotliny Sandomierskiej, okolice Rzeszowa i Leska są najbardziej odpowiednie pod uprawę tego gatunku ponieważ cechują się dużymi opadami i nasłonecznieniem oraz długim okresem wegetacji (12). Z opracowania *M r ó w c z y ń s k i e g o i i n.* (37) wynika możliwość ograniczenia plonów przez nowe choroby i szkodniki pojawiające się w warunkach susz lub zwiększającego się uwilgotnienia gleby oraz ocieplenia klimatu.

W warunkach niedoboru opadów stwierdzono 34-3% zniżkę plonu koniczyny łąkowej w porównaniu do uzyskanego w optymalnych warunkach uwilgotnienia wynoszącego 350-460 mm (10) (*C h m u r a i i n.* 2009). Autorzy tych badań stwierdzili ponadto 23-5% spadek plonu lucerny mieszańcowej spowodowany opadami mniejszymi od optymalnych (tzn. w granicach 250-400 mm). *L a z z a r o t t o i i n.* (36) w badaniach wykonanych w Szwajcarii, w rejonie występowania stresu suszy wiosennej, letniej i wczesnojesiennej na mieszance koniczyny białej z trawami przewidują, że w latach 2071-2100 nastąpi wzrost temperatury powietrza o około 3°C w okresie zimy i 5°C w okresie lata. Według tych autorów, w tym czasie opady zmniejszą się o 30% i dwukrotnie wydłużą się okresy suche. Pod wpływem tych zmian klimatycznych nastąpi spadek plonu zwłaszcza traw w runi mieszanek z roślinami bobowatymi z powodu ograniczenia obiegu składników odżywczych w wyniku pobierania mniejszej ilości składników pokarmowych z gleby małą masą, słabo rozwiniętych i płytkich korzeni. Ograniczenia te będą dotyczyły również azotu symbiotycznego transferowanego z koniczyny do gleby i pobieranego przez

trawy (36). W innych badaniach udowodniono wpływ opadów atmosferycznych i ich równomiernego rozkładu w sezonie wegetacyjnym na wysoki poziom plonów runi łąkowej z roślinami bobowatymi (14). W warunkach łąk uprawianych w rejonie Bydgoszczy w latach 1981-2014 stwierdzono, że średnie opady atmosferyczne w okresie wegetacji na poziomie 313 mm zaspakajały w 73% potrzeby runi łąkowej na wodę, a największy deficyt opadów na łąkach dwukośnych występował w pierwszym odroście, natomiast w trzykośnych – w drugim (11). Plonowanie mieszanek wielogatunkowych koniczyny łąkowej z różnymi gatunkami traw w latach 1996-1998 zależało od warunków wilgotnościowych (47), a dobre warunki wilgotnościowe w rejonie Puław z wysokimi i dobrze rozłożonymi opadami w sezonie wegetacyjnym (I rok opady 501,5 mm, II rok 428,1mm) dały o 47% wyższe plony z dwóch lat użytkowania niż w rejonie Błonie-Topola w woj. łódzkim, charakteryzującym się mniejszymi opadami wynoszącymi odpowiednio 314,4 mm i 298,6 mm (47). W tych badaniach zaobserwowano również letnie okresowe susze i upały które hamowały wzrost mieszanek w trzecim pokosie runi. Istotny, negatywny wpływ niedoboru opadów i ich nierównomiernego rozkładu na plonowanie traw stwierdziła B o r a w s k a – J a r m u ł o w i c z i współautorki (5). Wykazały one lepszą adaptację kupkówki pospolitej do warunków stresu suszy niż innych traw. Większą tolerancję kupkówki pospolitej w stosunku do festulolium na niedobór opadów potwierdzają także inne badania, w których większe plony suchej masy mieszanek z tym gatunkiem uzyskano w latach wilgotniejszych (19, 21). W tych badaniach w warunkach niedoboru opadów gatunkiem dominującym w runi była lucerna korzystająca z głębszych pokładów wody niż trawy. Uzyskane w badaniach wysokie plony suchej masy mieszanek lucerny z trawami sugerują, że w warunkach niedoboru wilgoci w glebie bardziej polecane są do uprawy mieszanki z lucerną niż z koniczyną łąkową lub koniczyną łąkową i białą z trawami (23, 26). W ostatnich badaniach własnych przeprowadzonych w latach z niedoborem opadów stwierdzono znaczny spadek rocznego plonu suchej masy w drugim i trzecim roku użytkowania runi bobowato-trawiastej (2015 i 2016 r.) (26). Brak opadów latem i po zbiorze trzeciego odrostu runi zahamował odrastanie roślin bobowatych i traw, co skłoniło autora do zrezygnowania z określania plonu czwartego odrostu runi i przerwania prowadzonych obserwacji (26).

W składzie runi mieszanek bobowatych z trawami obserwuje się dominujący udział traw w odroście wiosennym, który wynika z dobrego wykorzystania przez nie zapasów wody zgromadzonych podczas zimy (20, 21, 24, 26, 39). Latem i jesienią kiedy pogarszają się warunki wilgotnościowe w runi obserwuje się większy udział roślin bobowatych i chwastów niż traw. Z badań własnych realizowanych nad mieszankami wielogatunkowymi wynika wpływ składu gatunkowego mieszanek bobowato-trawiastych na plonowanie, a dobrym plonowaniem wyróżniały się mieszanki zawierające z grupy roślin bobowatych lucerną siewną bądź mieszańcową oraz koniczynę łąkową, natomiast z traw – kupkówkę pospolitą (20, 21, 24, 26).

Mieszanki wieloskładnikowe zawierające wymienione wcześniej gatunki z powodu ich trwałości i plonowania polecane są do podsiewu zdegradowanych trwałych użytków zielonych i do zakładania krótkotrwałych pastwisk na użytkach przemianych (26).

Wpływ niedoboru opadów na jakość plonu roślin bobowatych i mieszanek bobowato-trawiastych

W produkcji pasz objętościowych ważne jest zapewnienie zwierzętom paszy najlepszej jakości ponieważ od niej zależy wydajność mleczna i rzeźna zwierząt. Zwierzęta wykorzystują z pasz objętościowych energię, białko, składniki mineralne i witaminy do pokrycia potrzeb bytowych oraz wytworzenia produktów zwierzęcych (mleka lub mięsa). Do pasz objętościowych zalicza się świeże lub konserwowane rośliny pastewne i uboczne produkty uprawy zbóż zawierające poniżej 4,1 MJ energii metabolicznej jak np.: zielonka, siano, kiszonka i susz (7, 8). Wartość pasz objętościowych zależy od jakości pokarmowej (składu chemicznego i zawartości składników pokarmowych takich jak np.: sucha masa, białko ogólne, tłuszcz, włókno surowe, neutralne i kwaśne włókno detergentowe, składniki mineralne), jakości odżywczej, na którą składa się: wartość wypełnieniowa, energetyczna i białkowa wyrażona w białku właściwym rzeczywiście trawionym jelitowo, strawność i jakości higienicznej określonej występowaniem chorobotwórczych bakterii w paszy, a właściwie ich brakiem.

Wpływ na jakość pokarmową i odżywczą paszy mają między innymi: skład botaniczny mieszanek, procentowy udział roślin bobowatych, intensywność użytkowania, fazy rozwojowe zbieranych roślin, termin zbioru pierwszego pokosu, sposób użytkowania, poziom nawożenia oraz warunki wilgotnościowe decydujące o proporcjach komponentów w runi i tym samym o składzie chemicznym uzyskanej paszy (14, 17, 22, 24, 25, 32, 44, 46, 47). U roślin bobowatych drobnonasiennych uprawianych w siewie czystym lub w mieszankach z trawami obserwuje się duże zmiany w jakości plonu w poszczególnych odrostach runi ponieważ zmieniające się warunki pogodowe modyfikują wzrost i rozwój roślin oraz udziały poszczególnych komponentów w runi. Z obserwacji wynika, że rośliny bobowate uprawiane w mieszankach dominują w odrostach letnich charakteryzujących się niedoborem opadów, ponieważ w przeciwieństwie do traw lepiej znoszą okresowe i krótkotrwałe susze. Badania własne i innych autorów potwierdziły te zależności (3, 21, 23, 24, 26, 44). Zaobserwowano, że niedobór wilgoci w glebie prowadzi do uproszczenia składu mieszanek i zwiększenia udziału roślin bobowatych w kolejnych odrostach runi i latach użytkowania (20, 22, 24). Do grupy gatunków bardziej wytrzymałych na niedobór opadów zaliczane są lucerna oraz koniczyny łąkowa i biała (3, 19, 26). Wyniki badań nad mieszankami wykazały obniżenie ilości paszy pobranej przez zwierzęta, zwiększenie zawartości kwaśnej frakcji włókna detergentowego (ADF) i spadek względnej wartości pokarmowej paszy przy wysokim udziale lucerny w runi

(39, 44). W żywieniu przeżuwaczy szczególnie ważna jest neutralna frakcja włókna detergentowego (NDF) będąca źródłem energii dla mikroorganizmów bytujących w żwaczu, odpowiadająca za wypełnienie żwacza. Istnieje ujemna korelacja pomiędzy NDF a pobraną paszą tzn. wysoka zawartość NDF w paszy zmniejsza jej pobranie (18). Kwaśne włókno detergentowe (ADF) występujące w roślinach odpowiada z kolei za strawność suchej masy paszy. O strawności paszy decyduje też rozkładalność włókna która jest gatunkowo i odmianowo zróżnicowana (28). Wraz ze zmniejszeniem zasobności paszy we włókno, zwłaszcza frakcji kwaśnej włókna detergentowego ujemnie skorelowanej ze strawnością wzrastała względna wartość pokarmowa paszy (38, 44).

W warunkach okresowego niedostatku wilgoci w glebie stwierdzono dominację roślin bobowatych w runi mieszanek, co prowadziło do zwiększenia zawartości niektórych makroelementów w kolejnych odrostach runi. Głównie wzrastała koncentracja N, Ca i Mg, wartość białkowa i plon białka z 1 ha oraz strawność paszy, a niekiedy - wartość energetyczna paszy, natomiast spadała zawartość włókna surowego (3, 17, 24, 27, 47). Zwiększająca się w kolejnych pokosach zawartość składników mineralnych, w niektórych przypadkach przekraczała zapotrzebowanie krów na N, P, K, Ca i Mg (24). Podobne wyniki dotyczące poprawy wartości pastewnej mieszanek bobowato-trawiatych w sezonie wegetacyjnym, zwiększania wartości białkowej i strawności paszy oraz spadku zawartości włókna surowego opisano w innym opracowaniu (3, 6). W tych badaniach najlepszy skład mineralny paszy stwierdzono w odroście wiosennym runi wzrastającym w optymalnych warunkach wilgotnościowych gdyż rośliny korzystały z zapasów wody zgromadzonej w okresie zimowym. W badaniach Ś c i b i o r i G a w e ł (47) zwiększenie udziału koniczyny w runi mieszanek dwu – i wielogatunkowych w warunkach upalnej pogody i letniej suszy przełożyło się na większą koncentrację białka ogólnego, popiołu surowego i strawność oraz spadek włókna surowego i frakcji NDF i ADF. W warunkach tych badań wysoka zawartość białka ogólnego i duża koncentracja białka trawionego w jelicie cienkim (BTJN) wskazywała na konieczność wzbogacania dawki żywieniowej bydła paszami węglowodanowymi (47).

W składzie chemicznym wszystkich roślinach bobowatych występują składniki antyodżywcze, niekorzystnie wpływające na zdrowie zwierząt. Ich zawartość w roślinach zmienia się w sezonie wegetacyjnym. Zanotowano znaczny wzrost koncentracji izoflawonów w liściach koniczyny łąkowej w drugim pokosie w porównaniu z pierwszym (9). Koncentracja saponin występujących głównie w lucernie także wzrasta w sezonie letnim charakteryzującym się mniejszą ilością opadów i wyższymi temperaturami w porównaniu z okresem wiosennym (6).

Podsumowanie

Zmiany klimatu (ocieplenie i niedobór opadów) wywierają duży wpływ na plonowanie i jakość paszy pozyskanej z uprawy roślin bobowatych i mieszanek

bobowato-trawiastych. Ograniczyć ten negatywny wpływ można przez bezwzględne przestrzeganie zasad agrotechniki tych cennych dla środowiska przyrodniczego roślin. Należy przy tym kierować się potrzebami wodnymi poszczególnych gatunków.

Postępujące ocieplenie, przewidywany wzrost temperatury powietrza i wydłużające się okresy suche zmniejszają pobieranie składników pokarmowych z gleby przez rośliny bobowate i obniżają ich plonowanie, zakłócają również przebieg procesu symbiozy i odżywiania roślin niebobowatych występujących z nimi w mieszankach. Niedobór opadów szczególnie niekorzystny i dotkliwy będzie dla traw charakteryzujących się większymi potrzebami wodnymi niż posiadają rośliny bobowate. Mało wydajna ruń użytków zielonych będzie poddawana renowacji metodą podsiewu mieszankami. W celu dobrego wykorzystania wody w warunkach niedoboru opadów można do podsiewu zastosować wielogatunkowe mieszanki bobowato-trawiaste, w których trawy wykorzystują wodę z płytkich a bobowate z głębszych pokładów gleby. Do komponowania tych mieszanek należy stosować gatunki mniej podatne na niedostatek opadów jak np. z grupy roślin bobowatych lucernę siewną i mieszańcową, esparcetę siewną lub koniczynę łąkową. Spośród traw należy również wybierać gatunki wykazujące większą tolerancję na suszę, między innymi w mieszankach z roślinami bobowatymi powinna znaleźć się kupkówka pospolita reagująca mniejszym spadkiem plonu na niedobór opadów niż pozostałe trawy.

Choroby i szkodniki atakujące rośliny bobowate i ich mieszanki z trawami i rozwijające się w warunkach suszy będą dla nich nowym zagrożeniem obniżającym trwałość i plonowanie. Jakość paszy pozyskanej z roślin bobowatych w siewie czystym i mieszankach bobowato-trawiastych w warunkach niedoboru opadów pogarsza się ze względu na ograniczone pobieranie składników pokarmowych z gleby oraz wytwarzanie przez rośliny bobowate większych ilości substancji antyodżywczych szkodliwych dla zwierząt po spożyciu dużej ilości tych związków chemicznych.

Literatura

1. Andrzejewska J., Kenneth A., Albrecht, Ignaczak S., Skinder Z.: Method and time of alfalfa sowing when climate is changing. *Acta Sci. Pol. Agricultura*, 2015, **14(3)**: 3-13.
2. Adamczyk F., Bilińska E., Bojarszczuk J., Buchwald W., Czerwińska E., Danelski W., Deszcz E., Domańska J., Dymkowska-Malesa M., Erlichowska B., Feledyn-Szewczyk B., Fijoł-Adach E.B., Gawęł E., Grzelak M., Grzesik M., Jabłoński M., Janas R., Juliszewski T., Kazimierczak R., Kiełbasa P., Książak J., Kucharski W.A., Leszczyńska D., Łowiński Ł., Mordalski R., Piłat A., Piskier T., Romanowska-Duda Z., Stalenga J., Staniak M., Szaroleta M., Szczepaniak J., Szparaga A., Tadasiewicz R., Talarczyk W., Tylek P., Walczyk J., Zbytek Z.: Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Monografia PIMR, 2017, 10: ssp. 134.
3. Bahrynowski D., Barszczewski J., Bieniaszewski T., Borkowska M., Buchwald W., Byczyńska M., Ciesielska A., Dobrowolska A., Feledyn-Szewczyk B., Futa B., Gawęł E., Golinowska M., Grabowski M., Gryszczyńska A., Grzelak M., Grzyb Z.S., Hallmann E., Heller K., Jończyk K., Kruszyński M., Kucharski W.A., Kucińska K., Kuś J., Mendra M., Mordalski R., Nowacki W., Piotrowski W., Podleśna A., Podleśny J., Rymarczyk J., Ryniec I., Sas Paszt L., Semkiw P., Skubida P., Szulc M., Wielgus K., Wysmułek A.: Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Monografia, 2014, 7: ss. 176.

4. Bilińska E, Bojarszczuk J, Breza–Boruta B, Buchwald W, Czerwińska E, Danielski W, Gałęzewski L, Gawęł E, Grzelak M, Hallmann E, Jaskulska I, Jończyk K, Kaczmarek S, Kitkowska S, Kotwica K, Księżak J, Kucharski A, Lempkowska M, Matyjaszyk E, Mordalski R, Piskier T, Radzikowski P, Sobczak J, Stałęga J, Staniak M, Szparaga A, Szulc M, Zalińska H: Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Monografia, 2015, 8: ss. 116.
5. Borawska–Jarmułowicz B, Mastalerczuk G, Janicka M.: Ocena cech biologicznych oraz plonowania wybranych odmian *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis* i *Phleum pratense* w siewach czystych i mieszanych. Łąkarstwo w Polsce (*Grassland Science in Poland*). 2016, **19**: 35-50.
6. Borowiecki J, Gawęł E, Guy P, Filipiak K.: Wzrost plonowania oraz jakości masy roślinnej krajowych i zagranicznych odmian lucerny. II. Cz. Skład chemiczny roślin. Pam., Puł., 1999, **117**: 37-48.
7. Brzóška F, Śliwiński B.: Jakość pasz objętościowych w żywieniu przeżuwaczy i metody jej oceny. Cz. I. Charakterystyka pasz objętościowych i mierniki jej jakości. Wiadomości Zootechniczne, 2011, R. **XLIX(2)**: 11-23.
8. Brzóška F, Śliwiński B.: Jakość pasz objętościowych w żywieniu przeżuwaczy i metody jej oceny. Cz. II. Metody analizy i oceny wartości pokarmowej pasz objętościowych. Wiadomości Zootechniczne, 2011, R. **XLIX, 4**: 57-68.
9. Burda S, Ścibior H, Bawolski S.: Wpływ terminu zbioru na zawartość izoflawonów w liściach koniczyny czerwonej. Acta Agrobotanica, 1997, **50(1-2)**: 87-92.
10. Chmura K., Chylińska E., Dmowski Z., Nowak L.: Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2009, **9**: 33-34.
11. Dembek R., Żarski J., Łyszczarz R.: Niedobory opadów atmosferycznych na łąkach dwu- i trzykośnych w rejonie Bydgoszczy. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2015, **III(1)**: 569-582.
12. Demidowicz G.: Bonitacja agroklimatu Polski dla wielokośnego zbioru zielonej masy lucerny. Acta Agrophysica, 2005, **6(1)**: 53-58.
13. Domański P. J., Andrzejewska J.: Ocena odmian lucerny przy wypasaniu i częstym koszeniu. Wiadomości Odmianoznawcze, 2007, **82**: ss. 24.
14. Ducka M., Barszczewski J.: Degradacja runi łąkowej w warunkach optymalnego uwilgotnienia i zróżnicowanego nawożenia. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2012, **12, 3(39)**: 39-51.
15. Dzieżyc J., Dmowski Z., Nowak L., Panek K.: Efekty i efektywność produkcyjna deszczowania roślin w uprawie polowej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1987, **326**: 27-43.
16. Dzieżyc J., Trybała M.: Rola wody w intensyfikacji produkcji roślinnej na glebach lekkich. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1989, **377**: 179-193.
17. Gawęł E.: Produkcyjność i wartość pokarmowa mieszanek lucerny z trawami w warunkach użytkowania pastwiskowego Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2001, **479**, 57-64.
18. Gawęł E.: Cechy odmian lucerny (*Medicago sativa ssp. sativa*) warunkujące przydatność do wypasania. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2004, **497**: 269-278..
19. Gawęł E.: Wpływ sposobów i różnej częstości użytkowania mieszanek lucerny mieszańcowej (*Medicago sativa* L. x *varia* T. Martyn) z trawami na plon, jego skład botaniczny i jakość. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2008, **8, 2(24)**: 5-18.
20. Gawęł E.: Struktura i wielkość plonu, zasobność w składniki pokarmowe oraz wartość pokarmowa mieszanki motylkowato-trawiastej w warunkach różnej częstotliwości wypasania. Fragm., Agron., 2009, **26(2)**: 43-54.
21. Gawęł E.: Plonowanie mieszanek koniczyny czerwonej i lucerny mieszańcowej z trawami w gospodarstwie ekologicznym. J. Res. Applic. Engng., 2009, **54(3)**: 79-85.
22. Gawęł E.: Skład chemiczny mieszanek wielogatunkowych z lucerną w zależności od częstości koszenia. Fragm., Agron., 2009, **26(4)**, 28-37.
23. Gawęł E.: Plon białka w ekologicznej uprawie mieszanek motylkowato-trawiastych. J. Res. Applic. Engng., 2010, **55(3)**: 80-85.

24. G a w e ł E.: Skład gatunkowy i mineralny mieszanek motylkowato-trawiastych w ekologicznej uprawie i kośno-pastwiskowym użytkowaniu. Polish Journal of Agronomy, 2011, 6: 17-26.
25. G a w e ł E.: Rola roślin motylkowatych drobnonasiennych w gospodarstwie rolnym. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2011, t. 11, z. 3(35): 73-91.
26. G a w e ł E.: Influence of renovation of grassland on sward yields in the conditions of organic farming. J. Res. Applic. Engng., 2017, 62(3): 105-111.
27. G a w e ł E., M a d e j A., G r z e ł a k M.: Ocena ekonomiczno-produkcyjna dwóch sposobów renowacji użytku zielonego z wykorzystaniem mieszanek bobowato-trawiastych w warunkach ekologicznych. Roczniki Nauk. SERiA, 2017, XIX(5): 72-79.
28. G a w e ł E., Ż u r e k J.: Wartość pokarmowa wybranych odmian lucerny. Biul. IHAR, 2003, 225: 167-174.
29. G r a b a r c z y k S.: Potrzeby wodne użytków zielonych i traw. W: Potrzeby wodne roślin uprawnych, Dzieżyc J. (red.), PWN Warszawa 1989: 189-226.
30. G u m i ń s k i R.: Meteorologia i klimatologia dla rolników. PWR i L Warszawa, 1951.
31. G U S, Dane statystyczne. Obszary tematyczne/Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2003-2017.
32. H a r a s i m J., Harasim A.: Produkcyjność mieszanek pastwiskowych z udziałem koniczyny białej (*Trifolium repense* L.) w różnych warunkach siedliskowych. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB w Puławach, 2010, 26: ssp. 65.
33. K o z ł o w s k i S., Z i e l e w i c z W.: Obecność azotu azotanowego w roślinach i w wodzie –przeszłość i przyszłość. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2009, 9(2): 125-138.
34. K o z y r a J., D o r o s z e w s k i A., N i e r ó b c a A.: Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 2009, 14: 243-257.
35. K o z y r a J., N i e r ó b c a A., M i z a k K., P u d e ł k o R., B o r z e ń c k a - W a l k e r M., F a b e r A., D o r o s z e w s k i A.: Zmiana klimatu – nowe wyzwania dla rolnictwa. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 2010, 19: 133-144.
36. L a z z a r o t t o P., C a l a n c a P., S e m e n o v M., F u h r e r J.: Transient responses to increasing CO₂ and climate change in an unfertilized grass-clover sward. Clim. Res., 2010, 41: 221-232.
37. M r ó w c z y ń s k i M., W a l c z a k F., K o r b a s M., P a r a d o w s k i A., R o t h M.: Zmiany klimatyczne a zagrożenia roślin rolniczych przez agrofagi. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 2009, 17: 139-146.
38. O ł s z e w s k a M., G r z e g o r c z y k S.: Intensywność fotosyntezy i transpiracji liści *Lotus corniculatus* L. uprawianej w mieszanekach z *Festulolium braunii* (K. Richt.) A. Camus i *Festuca pratensis* L. w zależności od nawożenia azotem i pogody. Biul. IHAR, 2008, 248: 125-133.
39. O ł s z e w s k a M., G r z e g o r c z y k S., K o b y l i ń s k i A.: Plonowanie oraz względna wartość pokarmowa mieszanek *Dactylis glomerata* L z *Medicago media* Pers. W zależności od udziału lucerny w zasiewie. Acta Agroph., 2017, 24(3): 485-496.
40. P r u s i ń s k i J., K o t e c k i A.: Współczesne problemy w produkcji roślin motylkowatych. Bibiothea Fragm. Agron., 2005, 9: 27-28.
41. R o j e k S.: Potrzeby wodne motylkowych. Fragm. Agron., 1986, 2(10): 3-20.
42. R o j e k S.: Potrzeby wodne roślin motylkowatych. W: Potrzeby wodne roślin uprawnych. J. Dzieżyc (red.). PWN Warszawa, 1989: 137-158.
43. S k o w e r a B., P u ł a J.: Skrajne warunki pluwiometryczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971-2000. Acta Agroph., 2004, 3(1): 171-177.
44. S o s n o w s k i J.: Wartość RFV mieszanek *Festulolium* z koniczyną łąkową i lucerna mieszańcowa zasilanych użyźnierzem glebowym. Łąkarstwo w Polsce (*Grassland Science in Poland*), 2012, 15: 167-176.
45. S t a n i a k M., K o c o ń A.: Forage grasses under drought stress in conditions of Poland. Acta Physiol. Plant, 2015, 37: 116.
46. S z y s z k o w s k a A., K r z y w i e c k i S., G o s p o d a r c z y k F., N o w a k W., S o w i ń s k i J.: Zmiany wartości pokarmowej mieszanek tetraploidalnych odmian traw i koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.) w sezonie wegetacyjnym. Biul. Oc. Odm., 1997, 29: 179-183.
47. Ś c i b i o r H., G a w e ł E.: Plonowanie i wartość pokarmowa wielogatunkowych mieszanek koniczyny czerwonej z trawami. Pam., Puł., 2004, 137: 149-161.

48. Ziernicka – Wojtaszek A.: Weryfikacja rolniczo-klimatycznych regionalizacji Polski w świetle współczesnych zmian klimatu. *Acta Agroph.*, 2009, 13(3): 803-812.
 49. Żakowicz S.: Wpływ wilgotności gleby i warunków ewapotranspiracyjnych na przebieg transpiracji roślin. *Fragm. Agron.*, 1986, 2(10): 21-28.
 50. Żyłowski T.: Czynniki wpływające na emisję podtlenku azotu z rolnictwa. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 50(4): 97-119.
 51. https://www.igipz.pan.pl/tl_files/igipz/ZGWiRL/ARP/02.Warunki%20naturalne%20rolnictwa.pdf
-

Adres do korespondencji:

dr hab. Eliza Gawel
Zakład Uprawy Roślin Pastewnych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 794
e-mail: gawel@iung.pulawy.pl

Renata Kieloch

*Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

**ROLA CHEMICZNEJ REGULACJI ZACHWASZCZENIA UPRAW
ROLNICZYCH W KSZTAŁTOWANIU JAKOŚCI PŁODÓW ROLNYCH***

Słowa kluczowe: herbicyd, wartość technologiczna ziemiopłodów, pozostałości herbicydu, zdrowotność ziarna, fitotoksyczność herbicydu

Wstęp

Jednym z priorytetów w produkcji roślinnej jest uzyskanie nie tylko wysokich plonów, lecz także wysokiej jakości surowca, który spełnia zawarte w przepisach unijnych wymogi określające jego przydatność dla przemysłu spożywczego oraz bezpieczeństwo dla konsumenta. Jakość płodów rolnych jest podstawowym kryterium decydującym nie tylko o cenie jaką można uzyskać za sprzedany surowiec, lecz również o możliwości jego zbytu w punktach skupu. O wartości technologicznej skupowanego surowca decydują parametry jakościowe, w zależności od gatunku rośliny uprawnej. W przypadku najczęściej uprawianej w naszym kraju pszenicy ocenie podlegają następujące wskaźniki jakościowe ziarna: zawartość białka i glutenu, wskaźnik sedymentacji, liczba opadania, masa hektolitra i wyrównanie, natomiast w przypadku rzepaku kluczowymi parametrami są zawartość tłuszczu i kwasu erukowego. Dla jakości korzeni buraka cukrowego istotna jest zawartość cukru i związków melasotwórczych.

Skupowane płody rolne, oprócz konieczności spełnienia kryteriów określających ich wartość technologiczną, powinny również nie zagrażać zdrowiu konsumenta. Bezpieczny surowiec to taki, który jest wolny od zanieczyszczeń toksycznymi substancjami takimi jak metale ciężkie, pozostałości środków ochrony roślin oraz mikotoksyny (aflatoksyna, ochratoksyna, zearalenon, deoksyniwalenol) lub zanieczyszczenia te nie przekraczają dopuszczalnych norm zawartych w rozporządzeniach unijnych (29, 30).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Jakość pozyskiwanego surowca dla przetwórstwa spożywczego zależy przede wszystkim od właściwości genetycznych uprawianej odmiany, jednak może być w znacznym stopniu kształtowana przez przebieg pogody w sezonie wegetacyjnym, warunki glebowe oraz zabiegi agrotechniczne. Największe znaczenie w kształtowaniu jakości ziemiopłodów przypisuje się nawożeniu, ponieważ dostarcza ono roślinie składników odżywczych niezbędnych do wzrostu i wydania plonu. Znaczącą rolę odgrywają również zabiegi ochrony roślin, w tym ochrona plantacji przed chwastami. Z wyjątkiem gospodarstw o ekologicznym systemie gospodarowania, do regulacji zachwaszczenia upraw stosuje się herbicydy, z tego względu, że są one łatwo dostępne na rynku oraz dają bardzo dobre rezultaty chwastobójcze. Środki te odgrywają znaczącą rolę plonotwórczą, ponieważ zapobiegają stratom w plonach powstałych w wyniku konkurencyjnego wpływu chwastów. Uratowany plon może kształtować się w bardzo szerokim zakresie, w zależności od gatunku rośliny uprawnej i jej odmiany, stanu zachwaszczenia, zastosowanego herbicydu oraz przebiegu pogody. Wpływ herbicydów na jakość plonów określa się jako pośredni. Środki te, poprzez eliminację szkodliwych dla upraw chwastów, stwarzają roślinie uprawnej dogodne warunki wzrostu co sprzyja uzyskaniu wartościowego surowca. Chwasty bowiem konkurują z rośliną uprawną o wodę, światło i składniki pokarmowe, ograniczając jej dostęp do tych zasobów i osłabiając kondycję, co prowadzi do strat w plonie oraz pogorszenia jego jakości. Badania wykazały, że chwasty mogą pobierać z gleby kilka razy więcej składników pokarmowych niż roślina uprawna (20, 28). Obecność chwastów w uprawie zaciemnia roślinę uprawną, skutkiem czego następuje zmniejszenie jej powierzchni asymilacyjnej i ograniczenie produkcji asymilatów.

Straty w plonie i uzyskanie słabszej jakości surowca na skutek obecności chwastów są zróżnicowane i zależą od stopnia zachwaszczenia upraw oraz składu gatunkowego chwastów. Jakość korzeni buraka cukrowego jest zdecydowanie gorsza, gdy plantacja opanowana jest głównie przez chwasty dwuliścienne w porównaniu z zebranymi z pól, na których dominują gatunki jednoliścienne. Wschodzą one w tym samym czasie co buraki, szybciej rosną i bardziej zaciemniają je niż chwasty jednoliścienne (1). Istotne znaczenie w omawianej kwestii ma również obecność i nasilenie występowania gatunków silnie konkurencyjnych dla uprawianego gatunku. Odznaczają się one szybkim wzrostem i wytwarzaniem dużej ilości biomasy, przez co są w stanie silnie zagłuszyć roślinę uprawną. Są to chwasty piętra wysokiego, które mogą przerosnąć łan zbóż bądź rzepaku i utrudniać zbiór. Dodatkowo, rozdrobnione w czasie zbioru mogą zanieczyszczać plon ziarna. Zanieczyszczenia mogą stanowić nie tylko rozdrobnione elementy części zielonych chwastów, jak również ich nasiona. Jeśli w partii rzepaku obecność nasion przytuli czepnej przekroczy 2% masy tej partii, takie ziarno należy zdyskwalifikować.

Na pogorszenie jakości plonu może wpłynąć nasilenie występowania chwastów o specyficznych preferencjach pokarmowych jak np. przytulia czepna. Jest to gatunek azotolubny, który wyczerpuje glebę z tego pierwiastka, a w konsekwencji mniej zostaje dla rośliny uprawnej.

Wpływ herbicydów na wartość technologiczną

Stosowanie chemicznej ochrony upraw przed chwastami na ogół wpływa pozytywnie na wartość technologiczną pozyskiwanych płodów rolnych. Szeroko przebadaną grupą roślin w omawianym zakresie są zboża, głównie pszenica. Ziarno zebrane z odchwaszczanych chemicznie upraw roślin zbożowych jest bardziej dorodne i wyrównane, co czyni je dobrym surowcem do przemiału. Odznacza się również lepszymi zdolnościami wypiekowymi określanymi na podstawie parametrów tworzących kompleks białkowy tj. zawartość białka i glutenu oraz wskaźnik sedymentacji (14, 22, 24). Wiele prac z zakresu chemicznej regulacji zachwaszczenia zbóż podejmuje tematykę stosowania zredukowanych dawek herbicydów. Badania uwzględniają również wpływ obniżonych dawek tych środków na jakość ziarna zbóż. W większości przypadków nie stwierdza się, aby obniżenie dawki herbicydu spowodowało pogorszenie parametrów jakościowych ziarna w porównaniu z dawką zalecaną (5, 15, 32).

Dla nasion rzepaku kluczowym parametrem jakościowym jest zawartość tłuszczu oraz substancji niepożądanych takich jak kwas erukowy (w nasionach) i glukozynolany (w śrucie poekstrakcyjnej). Ziarno zebrane z zachwaszczonego łąnu odznacza się mniejszą zawartością oleju oraz korzystnych kwasów tłuszczowych (np. kwas oleinowy), natomiast może zawierać więcej glukozynolanów oraz kwasu erukowego (21). Stosowanie herbicydów przyczynia się do wzrostu zawartości oleju w porównaniu do tego jaki można otrzymać z ziarna zebranego z poletek nieodchwaszczanych (21). Chemiczna regulacja zachwaszczenia wpływa również na skład jakościowy oleju rzepakowego. W przeprowadzonych badaniach wykazano, że zastosowane herbicydy w zróżnicowany sposób kształtowały zawartość nasyconych, jednonienasyconych i wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, w zależności od warunków pogodowych (2, 23). Stosunek kwasu linolowego i linolenowego zależał również od rodzaju zastosowanego środka i najwyższy, jednocześnie najbardziej korzystny, zanotowano dla herbicydu Butisan 400 SC (metazachlor) (23).

O jakości korzeni buraka cukrowego decyduje zawartość cukru w korzeniach oraz szkodliwych melasotworów (Na^+ , K^+ , Jon N- α -aminokwasowy), które utrudniają przerób i zmniejszają ilość uzyskanego cukru. W zbyt drobnych korzeniach buraka cukrowego, zawartość cukru jest niższa niż w korzeniach większych (26). Z tego powodu, na plantacjach zachwaszczonych można spodziewać się mniejszego plonu cukru z jednostki powierzchni, ponieważ roślina nie jest w stanie wykształcić korzeni o dużej masie na skutek zagłuszania przez konkurencyjne chwasty. W badaniach Domaradzkiego i in. (6) nie zanotowano istotnego wzrostu zawartości cukru w korzeniach buraka cukrowego po aplikacji mieszaniny herbicydów w zredukowanych dawkach. Dopiero dodatek biostymulatorów Asahi SL lub Kelpak SL skutkowało znacząco większą zawartością cukru, co wynikało z ich stymulującego wpływu na procesy życiowe roślin (Tabela 1). Z kolei Kierzek i in. (13) wykazali, że stosowanie mieszaniny herbicydów Betanal Elite 274 EC (fenmedifam + desmedifam) + Safari 50

WG (triflusułfuron metyłowyy) w dawkach zalecanych z biostymulatorem Aminoplant SL nie wpłynęło istotnie na poziom parametrów jakościowych korzenia buraka cukrowego w porównaniu do aplikacji samych herbicydów.

Tabela 1

Wpływ herbicydów oraz ich mieszanin z biostymulatorami na zawartość cukru oraz związków melasotwórczych w korzeniu buraka cukrowego

Obiekty	Dawki (/ha)	Cukier (%)	Związki melasotwórcze		
			Na ⁺	K ⁺	Jon N- α -aminokwasowy
			(mmol/kg)		
Kontrola	-	17,0	6,8	47,4	13,0
Kemifam Super Koncentrat 320 EC + Safari 50 WG + Torero 500 SC + Lontrel 300 SL + Trend 90 EC	0,5 l + 15 g + 0,75 l + 0,1 l + 0,1%	17,7	6,2	49,7	13,0
Kemifam Super Koncentrat 320 EC + Safari 50 WG + Torero 500 SC + Lontrel 300 SL + Trend 90 EC + Asahi SL	0,5 l + 15 g + 0,75 l + 0,1 l + 0,1% + 0,4 l	18,0	5,1	47,7	12,1
Kemifam Super Koncentrat 320 EC + Safari 50 WG + Torero 500 SC + Lontrel 300 SL + Trend 90 EC + Kelpak SL	0,5 l + 15 g + 0,75 l + 0,1 l + 0,1% + 1 l	18,3	6,6	49,5	13,6
Kemifam Super Koncentrat 320 EC + Kemiron Koncentrat 500 SC	1 l + 0,2 l	18,9	6,2	48,2	15,6

Źródło: Domaradzki i in., 2015 (6)

Zróźnicowany wpływ intensywności ochrony herbicydowej na zawartość związków melasotwórczych zaobserwowano w badaniach Rajewskiego i współautorów (27). Intensywna ochrona przyczyniła się do wzrostu zawartości jonów K⁺ i N- α -aminowego w porównaniu z obiektem na którym zastosowano mniejszą liczbę zabiegów herbicydowych. Z kolei w pracy Kurus i Podstawki-Chmielewskiej (19) porównywano różne systemy odchwaszczania buraka cukrowego na wysokość i jakość plonu. W badaniach uwzględniono następujące kombinacje: 1. Pyramin Turbo 520 SC doglebowo + zabiegi mechaniczne, 2. Pyramin Turbo 520 SC (chlorydazon) doglebowo + Betanal Progress AM 180 EC (desmedifam + fenmedifam + etofumesat) w fazie 2-4 liści buraka, 3. Betanal Progress AM 180 EC nalistnie w trzech dawkach dzielonych). Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono brak istotnych różnic pomiędzy systemami odchwaszczania w kształtowaniu zawartości cukru oraz N- α -aminowego.

Fitotoksyczny wpływ herbicydów

Herbicydy mogą wywierać fitotoksyczny wpływ na roślinę uprawną, powodując uszkodzenia w trakcie wegetacji oraz obniżenie plonowania. Roślina uprawna posiada zdolność do detoksykacji herbicydu, czyli rozkładu jego substancji aktywnej

do związków dla niej nieszkodliwych, bądź o małej szkodliwości. Proces ten nie przebiega sprawnie u roślin o obniżonej tolerancji na dany herbicyd oraz w warunkach niesprzyjających metabolizowaniu środka np. w warunkach niskiej temperatury, skutkiem czego dochodzi do zakłóceń w przebiegu procesów biochemicznych roślin (33, 34). Fitotoksyczny wpływ herbicydów na jakość plonu zależy od odmiany oraz przebiegu pogody w sezonie wegetacyjnym. Wykazano, że zastosowany dogłębowo herbicyd Stomp 330 EC (pendimetalina) ograniczył wschody roślin pszenicy ozimej odmian Nadobna i Cubus, co skutkowało istotnym obniżeniem zawartości glutenu (Tabela 2). Fitotoksyczne dla badanych odmian były również środki Axial 100 EC (pinoksaden) i Snajper 600 SC (diflufenikan + izoproturon), które spowodowały żółknięcie liści oraz obniżenie zawartości glutenu w ziarnie. Pozostałe parametry jakościowe ziarna, tj. masa hektolitra, wyrównanie i zawartość białka kształtowały się na poziomie jak dla obiektu kontrolnego (12).

Tabela 2

Wpływ herbicydów na wartość technologiczną ziarna odmian pszenicy ozimej

Herbicyd	F (1:9)	Masa hektolitra (kg/hl)	Wyrównanie (%)	Białko (%)	Gluten (%)
Odmiana: Cubus					
Kontrola	1	74,0	92,1	11,8	27,6
Stomp 330 EC	2	72,8	89,4	11,6	25,7
Axial 100 EC + Adigor 440 EC	1-2	74,0	91,8	11,4	25,6
Snajper 600 SC	1-2	74,0	88,9	11,5	25,4
Odmiana: Nadobna					
Kontrola	1	72,6	87,3	10,9	25,2
Stomp 330 EC	2	72,3	88,9	10,4	23,4
Axial 100 EC + Adigor 440 EC	2	72,9	91,0	9,3	23,4
Snajper 600 SC	2	71,9	87,9	9,9	22,8
NIR (0,05) dla herbicydy x odmiana	-	r.n.	r.n.	r.n.	1,75

F – fitotoksyczność herbicydów podana w skali 9-stopniowej

Źródło: Kieloch i Gołębiowska, 2013 (12)

Herbicydy mogą również obniżać wartość siewną nasion, co jest zjawiskiem niepożądanym na plantacjach nasiennych. Negatywny wpływ środków chwastobójczych na zdolność kiełkowania nasion zaobserwowano po aplikacji środków Granstar 75 DF (tribenuron metylu) w jęczmieniu jarym oraz Chwastox D 179 SL (MCPA + dikamba) w pszenicy jarym (14). Z kolei w pracach Mularczyk i in. (22) herbicydy Glean 75 WG, Kantor 050 SC (florasulam), Atlantis 04 WG (jodosulfuron metylosodowy + mezosulfuron metyloowy) nie różnicowały zdolności kiełkowania nasion pszenicy ozimej.

Wieloletnie prace prowadzone w placówkach naukowo-badawczych dają podstawę aby stwierdzić, że negatywny wpływ herbicydów na jakość ziemiopłodów występował sporadycznie, a obserwowane pogorszenie parametrów jakościowych nie było

powtarzalne w latach. Można również było zaobserwować, że wpływ ten jest bardziej wyraźny w latach o niekorzystnym dla wegetacji roślin przebiegu pogody, kiedy to będąca w gorszej kondycji roślina uprawna wykazuje zwiększoną wrażliwość na środki chwastobójcze (8, 11). Ryzyko pogorszenia jakości plonu jest dużo większe gdy nie stosuje się ochrony herbicydowej, niż gdy herbicyd okaże się nie w pełni selektywny dla rośliny uprawnej.

Wpływ herbicydów na zdrowotność

Stosowanie herbicydów wpływa w różnicowany sposób na stan fitosanitarny upraw. Obecność chwastów w uprawie przyczynia się do stworzenia mikroklimatu (wzrost wilgotności) sprzyjającemu rozwojowi grzybów chorobotwórczych, natomiast eliminacja chwastów z upraw dzięki stosowaniu środków chwastobójczych przyczynia się do redukcji porażenia roślin. Zaobserwowano zmniejszone porażenie źdźbeł pszenicy ozimej przez grzyby z rodzaju *Fusarium* na obiektach, na których zastosowano ochronę chemiczną przeciw chwastom (22, 24). Kurowski i in. (18) dowiedli, że niektóre herbicydy wpływają korzystnie na stan fitosanitarny pszenicy ozimej, natomiast inne powodują zwiększone porażenie łanu. Badania wykazały, że porażone ziarno ma gorszą wartość technologiczną oraz jest szkodliwe dla zdrowia ludzi i zwierząt ze względu na obecność mykotoksyn, które mogą występować w ziarnie zbóż lub kukurydzy porażonych zarodnikami grzyba z rodzaju *Fusarium* ssp., a następnie przedostawać się do mąki. Z drugiej jednak strony istnieje opinia, że chwasty mogą stanowić barierę dla rozprzestrzeniania się zarodników grzybów chorobotwórczych, stąd też chemiczne odchwaszczanie może przyczyniać się do wzrostu porażenia plantacji.

Ponadto, jak wcześniej wspomniano, herbicydy mogą działać fitotoksycznie na roślinę uprawną, co osłabia jej kondycję i powoduje uszkodzenia. Takie rośliny są bardziej podatne na porażenie grzybami chorobotwórczymi. Tego rodzaju zależność zaobserwowano w życie opryskanym herbicydem Glean 75 WG (chlorosulfuron); (Tabela 3). Ziarno zebrane z tego obiektu było w większym stopniu zainfekowane zarodnikami grzybów z rodzaju *Fusarium* niż uzyskane z innego obiektu herbicydowego oraz z kontroli, a także było skażone mykotoksyną deoksyniwalenolem (tabela 4); (10).

Tabela 3

Wpływ herbicydów stosowanych w różnych terminach na porażenie ziarna dwóch odmian żyta przez grzyby z rodzaju *Fusarium*

Obiekty	Uprawa tradycyjna		Uprawa uproszczona		Suma
	Dańkowskie Złote	Picasso	Dańkowskie Złote	Picasso	
Kontrola	58	29	80	32	199
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	59	32	60	48	199
Glean 75 WG	44	40	107	54	245

Źródło: Gołębiowska i in., 2016 (10)

Istnieje związek pomiędzy wartością technologiczną ziarna zbóż a stopniem porażenia przez grzyby chorobotwórcze. Porażone ziarno może odznaczać się zmniejszoną zawartością białka, masą tysiąca ziaren, liczbą opadania i wskaźnikiem sedymentacji z tego powodu, że mykotoksyny wytwarzane przez zarodniki grzybów pogarszają w znacznym stopniu wymienione wskaźniki (25). Parametry jakościowe ziarna żyta odmiany Dańkowskie Złote pochodzące z poletek, na których zastosowano Glean 75 WG nie uległy poprawie pod wpływem zastosowanego środka (tabela 4). Stwierdzono natomiast obniżenie masy hektolitra w porównaniu z obiektem kontrolnym. Jednocześnie, zarówno w ziarnie zebranych z kontroli, jak również z poletek traktowanych herbicydem Glean 75 WG, wykryto obecność mykotoksyny deoksyniwalenol. Należy podkreślić, że powyższą zależność zaobserwowano na życie rosnącym w warunkach uproszczonej uprawy roli, na którym znacznie zwiększone nasilenie występowania chwastów mogło być jedną z przyczyn większego porażenia ziarna, a tym samym skażenia ziarna mykotoksyną. W takim samym doświadczeniu, prowadzonym w warunkach uprawy tradycyjnej, zachwaszczenie było prawie trzykrotnie słabsze, mniejsze więc było porażenie ziarna i nie wykryto obecności mykotoksyn.

Tabela 4

Wpływ herbicydów na wartość technologiczną oraz poziom mykotoksyn w ziarnie żyta odmiany Dańkowskie Złote w warunkach różnych systemów uprawy roli

Herbicyd	Zniszczenie chwastów (%)	Masa hektolitra (kg/hl)	DON	NIV	ZEA
Uprawa uproszczona					
Kontrola	240 szt. · m ⁻²	66,7	0,038	nw	nw
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	96	72,5	nw	nw	nw
Glean 75 WG	79	62,9	0,02	nw	nw
Uprawa tradycyjna					
Kontrola	95 szt. · m ⁻²	69,2	nw	nw	nw
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	100	72,5	nw	nw	nw
Glean 75 WG	86	68,9	nw	nw	nw

DON – deoksyniwalenol, NIV – niwalenol, ZEA – zearalenon nw – nie wykryto

Źródło: Kieloch i Gołębiowska, 2013 (12)

Pozostałości herbicydów

Jednym z ubocznych skutków chemicznej regulacji zachwaszczenia jest fakt, że płody rolne mogą być zanieczyszczone pozostałościami substancji aktywnych zastosowanego herbicydu. W czasie oprysku środek chwastobójczy jest pobierany nie tylko przez chwasty, lecz również przez roślinę uprawną, w której następnie podlega procesom degradacji. Procesy te przebiegają w różnicowanym tempie, w zależności od zdolności roślin do rozkładu środka, przebiegu pogody w sezonie wegetacyjnym, dawki herbicydu i sposobu jego aplikacji. W warunkach niesprzyjających degradacji

środka proces ten przebiega znacznie wolniej. W konsekwencji część nierozłożonej substancji pozostaje w roślinie, w tym również w częściach roślin przeznaczonych na surowiec dla przemysłu lub na paszę.

Odmiany danego gatunku rośliny uprawnej różnią się pod względem zdolności do rozkładu zastosowanego herbicydu, skutkiem czego poziom jego pozostałości w zebranych plonach jest zróżnicowany. Na cztery badane odmiany rzepaku ozimego uprawianego na glebach typu czarne ziemie (Monolit, Canti, ES Bourbon, Nelson), tylko w ziarnie jednej z nich wykryto pozostałości metazachloru (9). Z kolei w doświadczeniu założonym na glebie płowej w ziarnie dwóch odmian wykryto pozostałości metozachloru oraz chlomazonu (tabela 5). Różnice mogą wynikać z faktu, że roślina rosnąca na czarnej ziemi posiada bardziej korzystne warunki wzrostu i w związku z tym lepiej radzi sobie z rozkładem herbicydu. Znaczącą rolę odgrywają również zdolności gleb do adsorpcji herbicydu przez kompleks sorpcyjny. Na czarnych ziemiach więcej środka związanego jest z kompleksem sorpcyjnym, a tym samym w mniejszym stopniu jest dostępny dla roślin (4).

Tabela 5

Poziom pozostałości substancji aktywnych herbicydów (mg/kg) w ziarnie odmian rzepaku ozimego

Herbicyd	Wykryta substancja aktywna	Gleba płowa				Czarna ziemia			
		Monolit	Canti	ES Bourbon	Nelson	Monolit	Canti	ES Bourbon	Nelson
Kontrola	-	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw
Command 480 EC	chlomazon	0,008	nw	0,006	nw	nw	nw	nw	nw
Nimbus 283 SE	metazachlor	0,008	nw	0,004	nw	nw	nw	0,002	nw
Butisan Star 416 SC	metazachlor	0,002	nw	nw	nw	nw	nw	0,002	nw

nw – nie wykryto

Źródło: Gołębiowska i Badowski, 2015 (9)

Występowanie pozostałości herbicydu w płodach rolnych zależy od terminu zastosowania środka. Im dłuższy jest okres czasu od wykonania zabiegu do zbioru rośliny uprawnej, tym więcej czasu roślina posiada na jego rozłożenie. Z tego powodu więcej pozostałości wykrywa się w próbkach roślin opryskiwanych w późniejszym terminie. W zbożach lub rzepaku ozimym większe pozostałości herbicydów oznaczano w próbkach zebranych z poletok opryskiwanych wiosną niż z poletok, na których ten sam środek zastosowano jesienią. Poziom pozostałości czterech herbicydów (chizalofop-P-etylu fluazyfop-P-butylowy, haloksyfop-P-R, chizalofop-P-tefurylu) w ziarnie rzepaku ozimego był dwukrotnie wyższy, gdy herbicydy stosowano krótko po ruszeniu wiosennej wegetacji niż jesienią (3).

Poziom pozostałości herbicydów w roślinach jest zróżnicowany w latach, głównie z powodu zmiennych warunków pogodowych w sezonach wegetacyjnych. W trzyletnich badaniach Domaradzkiego i Kucharskiego (7) stężenie fenmedifamu, desmedifamu i etofumesatu w korzeniach buraka cukrowego było najwyższe w sezonie, w którym wystąpił deficyt opadów, co spowolniło degradację tych substancji.

Rozkład herbicydów w roślinie jest również determinowany przez sposób aplikacji środków. Często herbicydy stosuje się łącznie z adiuwantami w celu poprawy ich działania i zapobieganiu spadkowi skuteczności zabiegu wykonanego w niesprzyjających warunkach pogodowych. Z drugiej strony dodatek adiuwantów spowalnia rozkład herbicydu, w związku z czym stężenie pozostałości herbicydów w płodach rolnych może być wyższe niż w przypadku samodzielnej aplikacji. Tego rodzaju zależność stwierdzono dla diflufenikanu i chlorotoluronu w ziarnie pszenicy ozimej (16, 17). W uprawie buraka cukrowego zalecanym systemem odchwaszczania jest kilkukrotna aplikacja herbicydu w dawkach dzielonych. Badania wykazały, że najmniejsze pozostałości etofumesatu, desmedifamu i fenmedifamu w korzeniu buraka cukrowego oznaczano dla zabiegu pojedynczego z użyciem herbicydu Betanal Progress OF 274 EC (fenmedifam + desmedifam + etofumesat) w fazie 2 liści oraz trzykrotnej aplikacji dawek dzielonych (1 l/ha w każdym zabiegu) w fazie liścieni, 2 liści i 2-4 liści. Najwyższy poziom pozostałości zanotowano dla zabiegu dwukrotnego w dawkach 1,3 oraz 1,6 l/ha (7).

Podsumowanie

Przytoczone przykłady badań wskazują, że obecność pozostałości herbicydów w płodach rolnych występuje dość często. Nie istnieją jednak powody do obaw, że wpłyną one negatywnie na zdrowie ludzi i zwierząt. W przebadanych próbkach, pochodzących zarówno z badań monitoringowych oraz ścisłych doświadczeń polowych ocenianych w okresie 1999-2010, poziom pozostałości nie przekraczał dopuszczalnych norm określonych w przepisach prawnych (29).

Literatura

1. Abdollahi F., Ghadiri H. Effect of separate and combined application of herbicides on weed control and yield of sugar beet. *Weed Technol.*, 2004, **18**: 968-976.
2. Adomas B. Skład kwasów tłuszczowych w oleju nasion rzepaku jarego w zależności od stosowanych herbicydów. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, 2003, **XXIV**: 209-222.
3. Badowski M., Kucharski M. Wpływ terminu aplikacji graminicydów na poziom pozostałości i skuteczność chwastobójczą w uprawie rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, 2004, **XXV**: 151-157.
4. Boivin A., Amellal S., Schiavon M., van Genuchten M.T. 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) sorption and degradation dynamics in three agricultural soils. *Environ. Pollut.*, 2005, **138**: 92-99.
5. Buczek J., Tobiasz-Salach R., Bobrecka-Jamro D. Wpływ nawożenia dolistnego i zmniejszonych dawek herbicydu na plon i cechy jakościowe ziarna pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.*, 2012, **29(1)**: 7-15.

6. Domaradzki K., Marczevska-Kolasa K., Bortniak M.: Ocena skuteczności mieszaniny herbicydów i biostymulatorów w uprawie buraka cukrowego. *Przem. Chem.*, 2015, **94(5)**: 787-792.
7. Domaradzki K., Kucharski M.: Wpływ sposobu ochrony plantacji na skuteczność chwastobójczą, plonowanie oraz poziom pozostałości w korzeniu buraka cukrowego. *Pam. Puł.*, 2006, **142**: 65-74.
8. Gil Z., Narkiewicz-Jodko M., Urban M.: Jakość technologiczna ziarna pszenicy ozimej w zależności od środków chwastobójczych. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin*, 2006, **46(2)**: 312-315.
9. Gołębiowska H., Badowski M.: The effect of metazachlor used in mixtures with clomazone and chinomerac on morphology of plants and seed quality of some cultivars of winter oilseed rape. *Acta Sci. Pol. Agric.*, 2015, **14(3)**: 25-38.
10. Gołębiowska H., Płaskowska E., Weber R., Kieloch R.: The effect of soil tillage and herbicide applications on the incidence of the genus *Fusarium* fungi in the grain of rye. *Plant Soil Environ.*, 2016, **10**: 435-440.
11. Kieloch R., Sumińska J.: Oddziaływanie herbicydów na plonowanie oraz jakość ziarna trzech odmian pszenicy ozimej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin*, 2012, **52(2)**: 266-271.
12. Kieloch R., Gołębiowska H.: Wpływ herbicydów na wartość technologiczną i zdrowotność ziarna zbóż. Aplikacyjne i teoretyczne problemy w przemyśle rolno-spożywczym. *Studia i Monografie – Politechnika Opolska*, 2013, **370**: 139-150.
13. Kierzek R., Dubas M., Matysiak K.: Wpływ łącznego stosowania biostymulatora Aminoplant z herbicydami na wielkość i jakość plonu buraka cukrowego. *Prog. Plant Prot.*, 2013, **53(3)**: 621-626.
14. Klimont K., Osińska A.: Wpływ herbicydów na wartość siewną i zawartość niektórych składników w ziarnie pszenicy ozimej, jęczmienia jarego i pszenżyta jarego. *Biul. IHAR*, 2004, **233**: 49-58.
15. Krawczyk R., Kaczmarek S.: Wpływ stosowania obniżonych dawek herbicydów na plon i jakość pszenicy jare. *Fragm. Agron.*, 2008, **25(1)**: 188-197.
16. Kucharski M., Sadowski J., Kieloch R.: Adiuwanty w zabiegach przedwiosennych – wpływ na skuteczność diflufenikanu i jakość ziarna pszenicy ozimej. *Prog. Plant Prot.*, 2012, **52(1)**: 51-54.
17. Kucharski M., Sadowski J., Kalitowska O.: Wpływ terminu aplikacji oraz dodatku adiuwanta na pozostałości chlorotoluronu i jakość ziarna pszenicy ozimej. *Prog. Plant Prot.*, 2013, **53(2)**: 379-385.
18. Kurowski T.P., Brzozowska I., Brzozowski J.: Wpływ stosowania różnych herbicydów i mieszanin herbicydowo-mocznikowych na stan zdrowotny pszenżyta ozimego. *Ann. UMCS*, 2004, *Sec. E*, **59(3)**: 1267-1274.
19. Kurus J., Podstawka-Chmielewska E.: Wpływ sposobów nawożenia azotem oraz systemów odchwaszczania na plonowanie buraka cukrowego na rędzinie. *Biul. IHAR*, 2002, **222**: 279-286.
20. Liszka-Podkowa A., Sowiński J.: Skuteczność różnych metod odchwaszczania kukurydzy oraz pobranie makropierwiastków przez chwasty. *Fragm. Agron.*, 2009, **26(3)**: 109-117.
21. McMullan P.M., Daun J.K., DeClercq D.R.: Effect of wild mustard (*Brassica kabera*) competition on yield and quality of triazine-tolerant and triazine susceptible canola (*Brassica napus* and *Brassica rapa*). *Can. J. Plant Sci.*, 1994, **74(2)**: 369-374.
22. Mularczyk A., Narkiewicz-Jodko M., Gil Z., Urban M.: Wpływ herbicydów na zdrowotność i jakość ziarna pszenicy ozimej na tle warunków pogodowych. *Prog. Plant Prot.*, 2010, **50(1)**: 482-490.
23. Murawa D., Warmiński K., Pykało I.: Skład kwasów tłuszczowych oleju z nasion rzepaku jarego w zależności od stosowanych herbicydów. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, 2000, **XXI**: 819-825.
24. Narkiewicz-Jodko M., Gil Z., Urban M.: Porażenie podstawy źdźbła pszenicy ozimej przez *Fusarium* ssp. – przyczyny i skutki, *Acta Agrobot.*, 2005, **58(2)**: 319-328.
25. Nitzsche O., Schmidt W., Gebhart C.: *Fusarium* pfluglos bekämpfen. *Landwirtschaft ohne Pflug.*, 2002, **5**: 1-4.
26. Ostrowska D., Kucińska K., Artyszak A.: Wpływ wielkości masy korzenia buraka cukrowego na wartość technologiczną surowca. *Biul. IHAR*, 2002, **222**: 149-154.
27. Rajewski J., Zimny L., Kuc P.: Wpływ różnych wariantów uprawy konserwującej na wartość technologiczną korzeni buraka cukrowego. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2008, **1/2008**: 109-115.

28. Rola H., Żurawski H.: Wpływ stopnia zachwaszczenia *Apera spica-venti*, *Avena fatua*, *Anthemideae* na zawartość azotu, fosforu i potasu w ziarnie pszenicy ozimej i jarej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1988, **349**: 47-55.
 29. Rozporządzenie Komisji (WE) NR 1126/2007 z dnia 28 września 2007 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych w odniesieniu do toksyn *Fusarium* w kukurydzy i produktach z kukurydzy.
 30. Rozporządzenie Komisji (WE) NR 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych.
 31. Trajdos J., Snopczyński T., Sadowski J.: Pozostałości herbicydów w roślinach uprawnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2017, **588**: 113-127.
 32. Urban M., Gil Z., Elias E., Kostyk M.: Wpływ zróżnicowanych dawek herbicydów na poziom plonowania i jakość ziarna dwóch odmian owsa. Prog. Plant Prot., 2014, **54(2)**: 145-150.
 33. Wang M., Zhou Q.: Effects of herbicide chlorimuron-ethyl on physiological mechanisms in wheat (*Triticum aestivum*). Ecotoxicology and Environmental Safety, 2006, **64**: 190-197.
 34. Žaltauskaitė J., Kišonaitė D.: Assessment of the effect of sulfonylureas herbicide amidosulfuron application on target and non-target organisms. Fresen. Envir. Bull., 2013, **22(7a)**: 1977-1982.
-

Adres do korespondencji:

dr Renata Kieloch
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61, 50-540 Wrocław
tel. 71 363-87-07
e-mail: r.kieloch@iung.wroclaw.pl

Urszula Skomra

*Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

POSTĘP W TECHNOLOGII PRODUKCJI CHMIELU – NAJWAŻNIEJSZE ROZWIĄZANIA TECHNICZNE ORAZ OSIĄGNIĘCIA HODOWLI*

Słowa kluczowe: chmiel, mechanizacja produkcji, konstrukcja chmielnika, materiał sadzonkowy, odmiany

Wstęp

Uprawa chmielu należy do jednych z bardziej pracochłonnych gałęzi produkcji roślinnej. W latach 50. XX w., kiedy większość czynności na plantacjach chmielu wykonywano ręcznie, nakłady pracy związane z uprawą tej rośliny szacowano na około 4000 - 4500 roboczogodzin na 1 ha (31). Prace naukowe i wdrożeniowe podjęte w wielu ośrodkach naukowych na świecie, w tym również w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowym Instytucie Badawczym, doprowadziły do wprowadzenia rozwiązań technicznych usprawniających wykonywanie zabiegów uprawowych oraz zbiorów i wstępną obróbkę surowca chmielowego. W wyniku wdrożenia tych innowacji nakłady pracy na prowadzenie plantacji chmielu uległy znacznemu zmniejszeniu. Szacuje się, że obecnie wynoszą one od 600 do 900 roboczogodzin na 1 ha w zależności od wielkości plantacji oraz jej oddalenia od stanowiska zbioru i suszenia szyszek (31).

Mechanizacja była jednym z ważniejszych czynników intensyfikacji produkcji chmielu w Polsce w drugiej połowie XX w. Konsekwencją wprowadzenia urządzeń mechanicznych, które zastąpiły pracę ludzi przy najbardziej pracochłonnych czynnościach było zwiększenie powierzchni plantacji oraz specjalizacja gospodarstw chmielarskich. Równoległe z rozwiązaniami technicznymi wprowadzano do uprawy nowe odmiany przystosowane do nowocześniejszych technologii, charakteryzujące się zarówno wyższym potencjałem plonowania, jak i zawartością metabolitów wtórnych ważnych z punktu widzenia przemysłu piwowarskiego. Obecnie to właśnie postępowanie

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.5 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

biologiczny jest najważniejszym czynnikiem wpływającym na wzrost produktywności chmielu.

Celem pracy jest przedstawienie, w ujęciu historycznym, najważniejszych elementów postępu technicznego w produkcji chmielu oraz osiągnięć hodowli ze szczególnym uwzględnieniem wkładu polskiej nauki w rozwój tego sektora produkcji rolnej.

Mechanizacja produkcji chmielu

Jednym z bardziej pracochłonnych zabiegów wykonywanych corocznie na plantacjach chmielu jest cięcie karp. Zabieg ten wpływa na wzrost i rozwój roślin w dalszej części okresu wegetacyjnego, dlatego powinien być wykonany w odpowiednim terminie agrotechnicznym. Niekorzystne jest zarówno zbyt wczesne, jak i zbyt późne jego przeprowadzenie. Późne cięcie prowadzi do ograniczenia wzrostu części wegetatywnych rośliny, natomiast zbyt wczesne – powoduje wybujałość części wegetatywnych kosztem generatywnych. W obu przypadkach następuje spadek plonu roślin. W tradycyjnej technologii uprawy cięcie karp wykonywano ręcznie przy użyciu noża, co wymagało nakładów pracy w granicach $140 \text{ rbh} \cdot \text{ha}^{-1}$, a w przypadku większych plantacji powodowało trudności w dotrzymaniu optymalnego terminu agrotechnicznego. W wyniku wieloletnich prac i doświadczeń opracowano w IUNG konstrukcję mechanicznej ścinarki, zaopatrzonej w dwie tarcze obracające się w przeciwnych kierunkach, odcinające górną część karpki wraz z odrostami. Mechanizacja cięcia karp umożliwiła zmniejszenie nakładów pracy do $16 \text{ rbh} \cdot \text{ha}^{-1}$ (31). Dopełnieniem tej technologii było opracowanie i wdrożenie bocznego odorywacza karpki chmielu (26). Innowacją tego rozwiązania było mocowanie odorywacza z boku ciągnika, co umożliwiała jednoczesną obserwację pracy narzędzia i kontrolowanie kierunku jazdy. Pozwoliło to na precyzyjniejsze odorywanie rzędów roślin przed cięciem karpki, co z kolei wpływało na jakość cięcia przy użyciu ścinarki.

Najbardziej pracochłonnym etapem produkcji surowca chmielowego był zbiór szyszek. Szyszki zrywano ręcznie, bezpośrednio na plantacji. Zebranie chmielu z 1 ha plantacji, przy plonie suchych szyszek $1000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, wymagało zatrudnienia 12-14 osób przez okres około 15 dni (14). Zbiór chmielu powinien być przeprowadzany, gdy rośliny osiągną dojrzałość technologiczną. Jest to taka faza dojrzałości owocostanów, w której ich cechy kształtują się na optymalnym poziomie z punktu widzenia przetwórstwa. W tej fazie szyszki charakteryzują się najkorzystniejszym składem chemicznym, a ich masa osiąga najwyższą wartość. Zarówno zbyt wczesne rozpoczęcie zbioru, jak i jego opóźnienie wpływa niekorzystnie na jakość surowca. Okres dojrzałości technologicznej trwa w zależności od odmiany chmielu od kilku do kilkunastu dni. Dotrzymanie odpowiedniego terminu przy zbiorze ręcznym wymagało zatrudnienia dużej liczby sezonowych pracowników, bowiem jedna osoba mogła zerwać w ciągu dnia od 20 do 40 kg świeżych szyszek (31). Duża pracochłonność zbioru ręcznego

była jednym z ważnych czynników ograniczających wzrost powierzchni chmielników. Szczególnie w rejonach o dużej koncentracji uprawy chmielu występowały trudności w znalezieniu odpowiedniej liczby pracowników do zbioru.

Pierwsze próby mechanicznego zbioru chmielu przeprowadzono w 1905 r. w Kalifornii (USA)(4). W 1934 r. pierwszą stacjonarną maszynę do zbioru chmielu zbudowali konstruktorzy brytyjscy. II wojna światowa zahamowała postęp w tej dziedzinie, ale w okresie powojennym nastąpił dynamiczny rozwój. Jak podaje Brown (1952) w 1949 r. w Anglii pracowały cztery maszyny do zbioru chmielu typu Bruff, w 1950 r. było ich już jednaście, a w 1951 r. – czterdzieści.

W Polsce pierwsze próby maszynowego zbioru szyszek przeprowadzono w końcu lat 50. XX w. z wykorzystaniem maszyn typu Allayes produkcji belgijskiej. Były one przystosowane do potrzeb dużych gospodarstw rolnych, dlatego też w gospodarstwach indywidualnych jeszcze do początku lat 70. XX w. szyszki zrywano ręcznie. Pochłaniało to około 2500 roboczogodzin, tj. od 50 do 80% całkowitych nakładów pracy związanych z prowadzeniem plantacji chmielu (32). W 1969 r. rozpoczęto w Polsce prace nad uruchomieniem produkcji maszyn do zbioru chmielu odpowiadających warunkom indywidualnych gospodarstw chmielarskich. W 1970 r. na podstawie opracowania IUNG wykonano prototyp tzw. maszyny klepiskowej, przeznaczonej do zrywania szyszek z pędów bocznych, które były ręcznie oddzielane od łodyg. Wydajność tej maszyny pozwalała na zerwanie szyszek z 65-100 dwulodygowych roślin w ciągu godziny, co odpowiadało potrzebom gospodarstw posiadających plantacje o powierzchni do 3 ha (33). Zastosowanie tego rozwiązania pozwoliło na zmniejszenie nakładów pracy na zbiór chmielu do około 600 rbh·ha⁻¹. Pozytywne wyniki działania maszyny klepiskowej oraz stosunkowo niska cena spowodowały uruchomienie od 1971 r. produkcji seryjnej. W 1972 r. przygotowano w IUNG nową wersję maszyny dostosowaną do zrywania szyszek z całych roślin, bez konieczności wstępnego oddzielania pędów bocznych, co było wyrazem dalszego postępu i jeszcze bardziej usprawniło zbiór chmielu. Dużą zaletą tej maszyny były bardzo proste rozwiązania konstrukcyjne dostosowane do warunków eksploatacji w gospodarstwach indywidualnych. W latach 70. i 80. ubiegłego wieku wprowadzono do praktyki jeszcze kilka innych typów maszyn do zbioru chmielu, wykorzystujących różne rozwiązania konstrukcyjne, co przyczyniło się do rozpowszechnienia zbioru maszynowego w stosunkowo krótkim czasie (31). W 1976 r., a więc po sześciu latach od wyprodukowania prototypu maszyny klepiskowej, w Polsce zbierano chmiel maszynowo z 45% plantacji (28). W początku lat 80. XX w. prawie cały zbiór chmielu wykonywany był już maszynowo (12).

Obecnie producenci chmielu mają do dyspozycji szeroki asortyment maszyn do zbioru chmielu o różnej wydajności, przeznaczonych zarówno dla małych kilkuhektarowych gospodarstw, jak i ogromnych kilkusethektarowych farm chmielarskich.

Wprowadzenie maszynowego zbioru szyszek spowodowało konieczność zmodernizowania innych czynności technologicznych w uprawie chmielu, tak aby

można było sprawnie przeprowadzić zbiór i w sposób maksymalny wykorzystać wydajność maszyn. Przede wszystkim należało wyeliminować haczyki stalowe, przy pomocy których mocowano przewodniki roślin do siatki nośnej chmielnika. Przy zbiorze chmielu maszynami zrywającymi szyszki z całych roślin, haczyki dostawały się do układu zrywającego maszyny powodując jego uszkodzenie, co znacznie utrudniało pracę. W 1973 r. w IUNG podjęto badania nad różnymi sposobami zawieszania przewodników roślin bez użycia haczyków stalowych. Przetestowano kilka różnych rozwiązań, z których najlepszym okazało się mocowanie przewodników stalowych do drutów liniowych siatki nośnej chmielnika za pośrednictwem łącznika wykonanego ze sznurka polipropylenowego lub też stosowanie przewodników ze sznurka polipropylenowego mocowanych bezpośrednio do drutów liniowych siatki (29). Oba sposoby zawieszania przewodników wymagały użycia specjalistycznego pomostu chmielarskiego umieszczonego na ciągniku, ale ich wdrożenie ograniczało nakłady pracy o około 30% w porównaniu z zawieszaniem haczyków przy użyciu tyczki chmielarskiej z poziomu gruntu. Zespół złożony z traktorzysty oraz dwóch pracowników na pomoście chmielarskim mógł zawiesić dziennie około 9000 przewodników, co odpowiada 2 ha plantacji (30).

Sprawne przeprowadzenie zbioru chmielu przy użyciu stacjonarnych maszyn zrywających wymagało szybkiego pozyskania roślin z plantacji i dostarczenia ich do stanowiska zbioru. Tradycyjna technologia polega na odcięciu chmielin (łodyg owiniętych wokół jednego przewodnika) od karpy, a następnie oderwaniu ich od siatki nośnej chmielnika. Czynności te zazwyczaj wykonuje się ręcznie. Jedna osoba przecina łodygi chmielu wraz z przewodnikiem na wysokości około 70-80 cm. Następnie dwie osoby jadące na przyczepie ciągnika chwytają odcięte końce chmielin i przytrzymują je podczas jazdy, co powoduje oderwanie przewodnika od siatki nośnej. Zerwane rośliny spadają kolejno na przyczepę. Ten sposób pozyskiwania roślin wymaga zaangażowania 4-5 osób i pozwala na pozyskanie około 15 roślin w ciągu 1 minuty (25). Poważnym usprawnieniem tej czynności było opracowanie w IUNG automatycznego zrywacza roślin chmielu obsługiwanego jedynie przez traktorzystę. Zrywacz taki automatycznie odcina łodygi chmielu, chwytają je specjalnymi zaciskami, a następnie odrywa od siatki nośnej chmielnika. Rośliny równomiernie spadają na przyczepę współpracującą ze zrywaczem, z której są automatycznie zsuwane po przywiezieniu do stanowiska zbioru. Użycie automatycznego zestawu zrywającego pozwala na pozyskanie w ciągu 1 minuty ponad 50 roślin chmielu (25).

Zwiększenie efektywności zbioru szyszek spowodowane wprowadzeniem maszyn zrywających doprowadziło również do modernizacji procesu suszenia i jego dostosowania do nowych warunków. Zerwane szyszki chmielu w celu zachowania swoich walorów muszą być niezwłocznie wysuszone. Konieczne stało się więc zintensyfikowanie procesu suszenia oraz zwiększenie wydajności suszarń. Początkowo do suszenia chmielu wykorzystywano suszarnie z naturalnym przepływem ogrzanego powietrza w szybie komory suszarniczej. Charakteryzowały

się one małą wydajnością i były przystosowane do suszenia niewielkiej masy chmielu jaką uzyskiwano podczas zbioru ręcznego. Problemy z wysuszeniem dużych ilości chmielu ze zbioru maszynowego zostały rozwiązane poprzez modernizację suszarni polegającą na zastosowaniu wymuszonego przepływu czynnika suszącego (34). W 1982 r. w IUNG opracowano nowoczesny, przeponowy podgrzewacz z wymuszonym przepływem powietrza, który stał się podstawowym wyposażeniem suszarni chmielu (31). Zastosowanie tego rozwiązania zwiększyło wydajność suszarni z około 5 kg świeżego chmielu na 1 m² sita w ciągu godziny do 14 kg chmielu (30).

Większość rozwiązań technicznych w produkcji chmielu w Polsce opracowano w IUNG. Autorami wdrożeń, które najbardziej przyczyniły się do upowszechnienia mechanizacji w tym sektorze produkcji roślinnej byli: T. Zaorski, M. Stasiak oraz Z. Samoń.

Wprowadzenie nowych rozwiązań technicznych zmniejszyło wydatnie nakłady pracy związane z produkcją chmielu (tab. 1.). Wraz z upowszechnieniem mechanizacji następowało stopniowe zwiększanie powierzchni plantacji chmielu w poszczególnych gospodarstwach. W 1971 r. średnia powierzchnia plantacji chmielu w Polsce kształtowała się na poziomie 0,74 ha, w 1980 r. wynosiła już 1,25 ha, a w 1990 r. wzrosła do 1,43 ha (31). Obecnie przeciętna plantacja chmielu w Polsce ma powierzchnię 2,4 ha (dane Inspekcji Jakości Handlowej Artykułów Rolno-Spożywczych).

Tabela 1

Nakłady pracy w poszczególnych etapach produkcji chmielu z wykorzystaniem technologii tradycyjnej i innowacji technicznych

Czynność	Technologia tradycyjna	Innowacja techniczna
Cięcie karp	Ręczne 140 rbh·ha ⁻¹	Ścinarka mocowana do ciągnika 16 rbh·ha ⁻¹
Zawieszanie przewodników	Haczyki stalowe zawieszane na siatce nośnej chmielnika z poziomu gruntu przy użyciu tyczki 50 rbh·ha ⁻¹	Mocowanie przy użyciu sznurka polipropylenowego bezpośrednio do siatki z pomostu chmielarskiego 30 rbh·ha ⁻¹
Pozyskiwanie roślin z plantacji	Ręczne odcinanie łodyg, odrywanie przewodnika z rośliną i układanie na przyczepie ciągnika. 240 rbh·ha ⁻¹	Automatyczny zrywacz roślin obsługiwany przez 1 osobę. 6 rbh·ha ⁻¹
Zbiór szyszek	Ręczny 2000 rbh·ha ⁻¹	Maszynowy 200 rbh·ha ⁻¹

Źródło: opracowanie własne

Konstrukcja nośna chmielnika

Chmiel jest najwyższą rośliną uprawną i jednocześnie gatunkiem pnącym. Z uwagi na to musi być uprawiany na specjalnych konstrukcjach stanowiących podporę dla jego wiotkich pędów. Pierwotnie chmiel prowadzono na tykach o długości około 6 m, które każdego roku wiosną były wbijane w podłoże w pobliżu karpy, a po zbiorze szyszek zabierane z plantacji i przechowywane do następnego sezonu. Na początku XIX w. opracowano sposób prowadzenia chmielu na stałej konstrukcji w formie wysokich szpalerów (31). Kolejnym etapem ewolucji konstrukcji nośnej chmielników było połączenie szpalerów drutami stalowymi na wysokości 6-7 m. Dzięki temu utworzył się rodzaj siatki wzmacniającej całą konstrukcję, a jednocześnie umożliwiającą zamocowanie przewodników roślin wykonanych z drutu lub sznurka. Rozwiązanie takie pozwoliło na zmniejszenie liczby słupów na plantacji przy zachowaniu odpowiedniej wytrzymałości konstrukcji na obciążenia wynikające z masy roślin oraz wpływu warunków atmosferycznych (wiatr, opady). Konstrukcja ta ułatwiała również prowadzenie prac uprawowych w chmielniku z wykorzystaniem narzędzi konnych, a następnie ciągników. W Polsce stałe konstrukcje nośne chmielników upowszechniły się pod koniec XIX w. Powstało wiele różnych odmian tych konstrukcji różniących się wysokością, rozstawą słupów wsporczych i brzeżnych, czy też sposobem ich mocowania, niemniej jednak podstawowa zasada konstrukcyjna, tj. wykorzystanie stalowej siatki nośnej rozpiętej na słupach, pozostała niezmienna. Obecnie najczęściej stosuje się konstrukcje, w których słupy wspierające siatkę nośną są rozmieszczone w odstępach 9×12 m lub 12×12 m i posadzone pionowo, bezpośrednio w podłożu na głębokość około 1 m. Cała konstrukcja jest przytwierdzona do podłoża za pośrednictwem kotwic zamocowanych do słupów brzeżnych plantacji ustawionych pod kątem około 70° (12).

Tradycyjnie do budowy konstrukcji chmielników wykorzystywano słupy drewniane. Prowadzone były próby zastąpienia drewna słupami z żelbetu, ale skończyły się one niepowodzeniem z uwagi na małą elastyczność tego materiału. Słupy betonowe, dużo łatwiej niż słupy drewniane, pękały i łamały się pod wpływem sił działających na konstrukcję chmielnika. Nadal więc głównym budulcem dla konstrukcji nośnych chmielników są słupy z drewna sosnowego, które dla zwiększenia trwałości jest włącznie impregnowane olejem kreozotowym. Trwałość takiego słupa wynosi nawet kilkadziesiąt lat (31). Niestety, kreozot, mimo że doskonale zabezpiecza drewno przed niekorzystnym wpływem warunków środowiskowych, jest produktem toksycznym, rakotwórczym i niebezpiecznym dla środowiska. Poszukiwane są zatem rozwiązania, które umożliwiłyby eliminację słupów drewnianych bez negatywnego wpływu na trwałość i wytrzymałość konstrukcji chmielnika. Alternatywą dla słupów drewnianych może być wykorzystanie słupów kompozytowych wykonanych z włókna szklanego i żywic poliestrowych lub epoksydowych. Słupy takie charakteryzują się odpowiednią sztywnością, ale jednocześnie są elastyczne, co pozwala na przyjęcie obciążeń występujących w chmielniku. Dzięki zastosowaniu odpowiednich żywic

odpornych na promieniowanie UV słupy kompozytowe są trwałe i odporne na czynniki zewnętrzne takie jak deszcz, mróz, środki ochrony roślin, nawozy mineralne i organiczne. Nie uwalniają do środowiska niebezpiecznych substancji, tak jak słupy impregnowane kreozotem i podlegają w 100% recyklingowi. Ich dodatkową zaletą jest mały ciężar, co umożliwia łatwy montaż bez ciężkiego sprzętu.

Badania nad przydatnością słupów kompozytowych do budowy konstrukcji chmielników prowadzone są w ramach projektu POIR.01.01.01-00-0867/16 pt. „Technologia produkcji chmielu wykorzystująca innowacyjną konstrukcję nośną oraz zintegrowany system optymalizacji nawadniania, nawożenia i ochrony roślin”, który realizowany jest przez firmę Energy Composites Sp. z o.o. oraz Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowego Instytut Badawczy w Puławach i RZD Jastków.

Rozmnażanie chmielu

Chmiel jest gatunkiem wieloletnim rozmnażanym wegetatywnie. Tradycyjnie, materiał rozmnożeniowy stanowią sztopry, czyli fragmenty zmodyfikowanych pędów podziemnych tworzących karpę (35). Sztopry pozyskuje się z roślin chmielu podczas corocznego cięcia karp. Zabieg ten wykonywany jest w okresie spoczynku roślin, najczęściej wiosną przed rozpoczęciem wegetacji lub jesienią po jej zakończeniu. Rośliny chmielu w okresie spoczynku są pozbawione nadziemnych pędów owoconośnych, co niestety utrudnia weryfikację ich zdrowotności, a także tożsamości odmianowej. Stwarza to zagrożenie rozmnożenia roślin porażonych przez patogeny lub należących do innej odmiany. Wraz ze sztoprami, na nowo zakładane plantacje mogą być przenoszone takie patogeny jak: grzyby z rodzajów *Verticillium* i *Fusarium* powodujące choroby uwiądowe chmielu, *Pseudoperonospora humuli* wywołujący mączniaka rzekomego chmielu, a także wirusy i wiroidy (18). Takie plantacje chmielu, już w momencie zakładania, charakteryzują się niską zdrowotnością roślin, co uniemożliwia pełne wykorzystanie ich potencjału produkcyjnego.

Uzyskanie zdrowego materiału sadzonkowego, pozbawionego organizmów szkodliwych nie jest łatwe, zwłaszcza w odniesieniu do wirusów i wiroidów. Te szczególnie niebezpieczne patogeny występują powszechnie w roślinach chmielu (15, 22), a ich eliminacja wymaga zastosowania zaawansowanych metod biotechnologicznych.

Prace nad uwalnianiem roślin chmielu od wirusów rozpoczęto w latach 70. ubiegłego wieku w Anglii. W tym celu stosowano regenerację merystemów połączoną z termoterapią w temperaturze 37°C (1). Metoda ta pozwalała na skuteczną eliminację wszystkich wirusów występujących w roślinach chmielu i była szeroko stosowana w programach produkcji zdrowego materiału szkółkarskiego w Wielkiej Brytanii, Niemczech, Republice Czeskiej oraz USA (2, 8, 13, 27). Niestety regeneracja merystemów połączona z termoterapią nie eliminowała z roślin chmielu innego groźnego patogena, jakim jest wiroid utajony. Co więcej, wysoki poziom porażenia

materiału roślinnego poddawanego termoterapii sugerował, że oddziaływanie wysokiej temperatury mogło stymulować namnażanie tego termofilnego patogena (3, 24). A zatem, celem uwolnienia roślin chmielu od wiroida utajonego należało zrezygnować ze stosowania wysokiej temperatury w procesie termoterapii. Skuteczna metoda eliminacji z roślin wiroida utajonego chmielu została opracowana w latach 90. ubiegłego wieku (11), umożliwiło to produkcję w pełni zdrowego materiału sadzonkowego chmielu.

W Polsce badania mające na celu eliminację wirusów z rodzimych odmian chmielu rozpoczęto w latach 90. (5, 23). Metodę uwalniania roślin chmielu zarówno od patogenów wirusowych, jak i wiroida wdrożono w IUNG-PIB w latach 2004-2006. Prace prowadzono w ramach projektu restrukturyzacji odmianowej. W wyniku realizacji projektu uzyskano ponad 330 tys. całkowicie zdrowych sadzonek czterech odmian: Lubelski, Sybilla, Iunga i Magnum (6). Dalsze prace z tego zakresu kontynuowano w latach 2012-2014 w ramach projektu Optymalhop. Uzyskano zdrowe rośliny kolejnych trzech odmian, tj. Marynka, Magnat i Puławski oraz przekazano producentom chmielu partię ponad 100 tys. sadzonek wolnych od patogenów (19).

Produkcja sadzonek wolnych od patogenów przebiega w dwóch etapach. Pierwszy polega na eliminacji czynników chorobotwórczych z roślin wyjściowych. W tym celu wykorzystuje się metodę regeneracji izolowanych merystemów wierzchołkowych w kulturach *in vitro*. Komórki merystematyczne są totipotencjalne, ponadto są w mniejszym stopniu zasiedlane przez patogeny niż wyspecjalizowane tkanki. Daje to szansę na wyprowadzenie w pełni zdrowych roślin z fragmentów tkanki merystematycznej obejmujących tylko komórki wolne od patogenów. Prawdopodobieństwo uzyskania zdrowych roślin jest tym większe im mniejszy fragment merystemu zostanie użyty do regeneracji. W przypadku chmielu stosuje się eksplantaty o wielkości 0,1-0,2 mm (19). Niestety, nawet przy użyciu tak małych fragmentów merystemu nie ma gwarancji, że wszystkie wyprowadzone z nich rośliny będą wolne od wirusów, a szczególnie od wiroidów, których eliminacja jest znacznie trudniejsza. Konieczne jest zatem sprawdzenie skuteczności uwalniania roślin chmielu od wirusów i wiroidów. W tym celu stosuje się metody diagnostyczne o dużej czułości. Do wykrywania obecności wirusów stosowana jest immunoenzymatyczna metoda DAS-ELISA, natomiast do detekcji wiroida utajonego chmielu metoda molekularna RT-PCR (6, 19). Regeneraty o potwierdzonej zdrowotności stanowią tzw. rośliny mateczne. Są one utrzymywane w warunkach szklarniowych w celu zabezpieczenia przed powtórny porażeniem przez patogeny, a ich zdrowotność jest systematycznie kontrolowana.

Drugi etap produkcji materiału sadzonkowego chmielu wolnego od patogenów polega na wegetatywnym rozmnażaniu zdrowych roślin matecznych przez sadzonki zielne. Sadzonkę stanowi fragment łodygi o długości około 5 cm z jedną parą liści. Ukorzenianie oraz wzrost roślin przebiega w szklarni, w kontrolowanych warunkach temperatury i wilgotności. Cały cykl produkcji do uzyskania dobrze ukorzenionych sadzonek odpowiednich do wysadzenia w polu trwa około 3-4 miesiące (19).

Eliminacja patogenów z roślin chmielu wpływa pozytywnie na zawartość najważniejszych metabolitów wtórnych. Szyszki roślin zdrowych najczęściej charakteryzują się wyższą zawartością kwasów goryczkowych i korzystniejszym składem olejków eterycznych. Zawartość tych związków determinuje jakość surowca pod kątem jego wykorzystania przez przemysł piwowarski, a często również cenę. Wzrost zawartości alfa kwasów na skutek eliminacji patogenów obserwowano w szyszkach prawie wszystkich badanych odmian z wyjątkiem Lubelskiego (największy u odmian Puławski i Magnat, odpowiednio o 21,0% i 18,3%) (tab. 2). Największe pozytywne zmiany w składzie olejków chmielowych obserwowano u odmian Marynka i Magnat (tab.3). Polegały one na wzroście zawartości najbardziej pożądanych składników, nadających piwu przyjemny chmielowo-żywiczny zapach, takich jak: humulen, kariofilen oraz farnezen. Jednocześnie obserwowano obniżenie zawartości myrcenu, którego nadmiar jest niekorzystny ponieważ wpływa na ostry zapach chmielu.

Tabela 2

Zawartość alfa kwasów (% s.m.) w surowcu pochodzącym z plantacji obsadzonych roślinami wolnymi od wirusów i wiroida utajonego chmielu oraz założonych przy użyciu tradycyjnego materiału szkółkarskiego

Odmiana chmielu	Rośliny zdrowe	Rośliny porażone
Lubelski	2,86	3,04
Magnat	14,29	12,08
Puławski	7,73	6,39
Sybillia	5,10	4,95
Marynka	9,78	8,99

Źródło: Skomra, 2016 (19)

Tabela 3

Zawartość i skład olejków chmielowych w surowcu pochodzącym z plantacji obsadzonych roślinami wolnymi od wirusów i wiroida utajonego chmielu oraz założonych przy użyciu tradycyjnego materiału szkółkarskiego

Odmiana chmielu		Olejki ogółem (ml·100g ⁻¹)	Myrcen (%)	Humulen (%)	Kariofilen (%)	Farnezen (%)
Lubelski	rośliny zdrowe	1,02	45,5	23,3	5,9	17,5
	rośliny porażone	1,03	45,7	23,2	5,5	17,9
Magnat	rośliny zdrowe	2,0	49,3	26,1	6,4	9,2
	rośliny porażone	2,1	55,2	22,3	5,4	9,8
Puławski	rośliny zdrowe	2,3	38,8	34,7	14,4	0,8
	rośliny porażone	2,2	42,1	33,3	14,5	0,2
Sybillia	rośliny zdrowe	1,7	44,9	27,2	12,9	11,1
	rośliny porażone	1,5	39,9	27,1	10,3	8,5
Marynka	rośliny zdrowe	2,0	40,0	13,1	5,2	32,1
	rośliny porażone	3,4	55,8	9,5	4,2	22,9

Źródło: Skomra, 2016 (19)

Sadzonki wolne od patogenów są najbardziej zaawansowanym rodzajem materiału szkółkarskiego chmielu. Mogą być bezpiecznie wysadzone w warunki polowe przez cały okres wegetacyjny, gdyż są produkowane w doniczkach. Dzięki dobrze

rozwinętemu systemowi korzeniowemu cechują się również dużą efektywnością przyjęć. Rośliny chmielu wyprowadzone z takich sadzonek osiągają pełny plon już w drugim roku wzrostu w warunkach polowych, tj. o rok wcześniej w porównaniu z tradycyjnym rozmnażaniem przez sztopry. Materiał sadzonkowy chmielu wolny od patogenów cechuje się najwyższym stopniem zdrowotności, a jego stosowanie wpływa na ograniczenie rozprzestrzeniania się organizmów szkodliwych w środowisku rolniczym.

Osiągnięcia hodowli

Pierwsze odmiany chmielu uzyskiwano na drodze selekcji najlepszych roślin z populacji uprawianych w tradycyjnych rejonach produkcji chmielu. Nazwy tych odmian często nawiązywały do rejonu, w którym były uprawiane, np. Żatecki, Tetnanger, Spalter, czy Hallertauer. W Polsce przykładem tego typu odmian chmielu są Lubelski i Nadwiślański, a także odmiana Tomyski wyselekcjonowana z populacji miejscowej w rejonie Nowego Tomyśla (16). Odmiany chmielu wywodzące się z populacji miejscowych należały do typu aromatycznego. Charakteryzowały się szlachetnym chmielowym aromatem i niską zawartością alfa kwasów. Prekursorem hodowli odmian goryczkowych o zwiększonej zawartości alfa kwasów był angielski hodowca Salmon. Wykorzystał on chmiel dziki pochodzący z obszaru Ameryki Pn. jako genetyczne źródło wysokiej zawartości kwasów goryczkowych. W swojej odmianie Brewers Gold uzyskanej na drodze krzyżowania połączył on europejską i amerykańską pulę genową rodzaju *Humulus*. Odmiana Brewers Gold wprowadzona do uprawy w 1919 roku była w późniejszych latach szeroko wykorzystywana w hodowli odmian chmielu typu goryczkowego. Odmiana ta jest również przodkiem pierwszych polskich odmian goryczkowych, tj. Marynki i Oktawii (17).

W hodowli chmielu branych jest pod uwagę szereg kryteriów związanych z morfologią roślin, terminami poszczególnych faz fenologicznych, plennością, składem chemicznym surowca, czy też odpornością na choroby i szkodniki. Znaczenie poszczególnych kryteriów selekcji zmieniało się wraz ze zmianą podstawowych celów hodowli, które z kolei były modyfikowane przez takie czynniki jak postęp technologiczny, czy zagrożenie ze strony szkodników i chorób. Po wprowadzeniu na szeroką skalę maszynowego zbioru szyszek celem hodowców stało się uzyskanie odmian dobrze przystosowanych do tego typu zbioru. Dużego znaczenia nabrały więc kryteria selekcji takie jak równomierność rozmieszczenia i dojrzewania szyszek na roślinie, siła związania szyszki z pędem, czy też jej odporność na rozkruszanie (10). Pojawienie się w Polsce na początku lat siedemdziesiątych wędnięcia infekcyjnego chmielu, zapoczątkowało ocenę materiałów hodowlanych pod względem podatności na porażenie przez czynnik infekcyjny wywołujący tę chorobę, co zaowocowało uzyskaniem odmian mniej podatnych.

Wśród wielu kryteriów selekcji stosowanych w hodowli chmielu, istnieją takie, które są brane pod uwagę zawsze, bez względu na inne uwarunkowania. Należą do nich potencjał plonowania i koncentracja alfa kwasów w szyszkach. Na podstawie tych dwóch wskaźników można ocenić postęp w hodowli odmian chmielu w Polsce po II wojnie światowej, kiedy to w ówczesnym Państwowym Instytucie Gospodarstwa Wiejskiego w Puławach rozpoczęto prace w tym zakresie (16).

Początkowo wykorzystywano metodę selekcji z populacji chmielu pochodzenia krajowego i populacji czeskiej. Pierwsze prace zaowocowały wprowadzeniem do uprawy w roku 1964 dwóch odmian aromatycznych: Lubelski i Nadwiślański, których autorami byli odpowiednio J. Kludel oraz K. Majewski. Plon wysuszonych szyszek tych odmian kształtował się w granicach $1,0 - 1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast zawartość alfa kwasów w szyszkach od 3,0% do 5,5% (7, 17). O wartości tych odmian, a szczególnie odmiany Lubelski, może świadczyć fakt, że jest ona uprawiana w Polsce do dnia dzisiejszego ze względu na szlachetny aromat. W 1980 r. wprowadzono do uprawy pierwszą polską odmianę chmielu uzyskaną metodą kierunkowego krzyżowania międzyodmianowego o nazwie Estera (autor K. Majewski). Charakteryzowała się ona wyższym potencjałem plonowania i wyższą zawartością alfa kwasów w porównaniu z chmielem Lubelskim. W doświadczeniach odmianowych prowadzonych przez COBORU w latach 1976-1979 Estera uzyskała plon na poziomie $1,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, tj. o 18,8% wyższy niż odmiana Lubelski, natomiast pod względem zawartości alfa kwasów przewyższyła Lubelski o 8,0% (9).

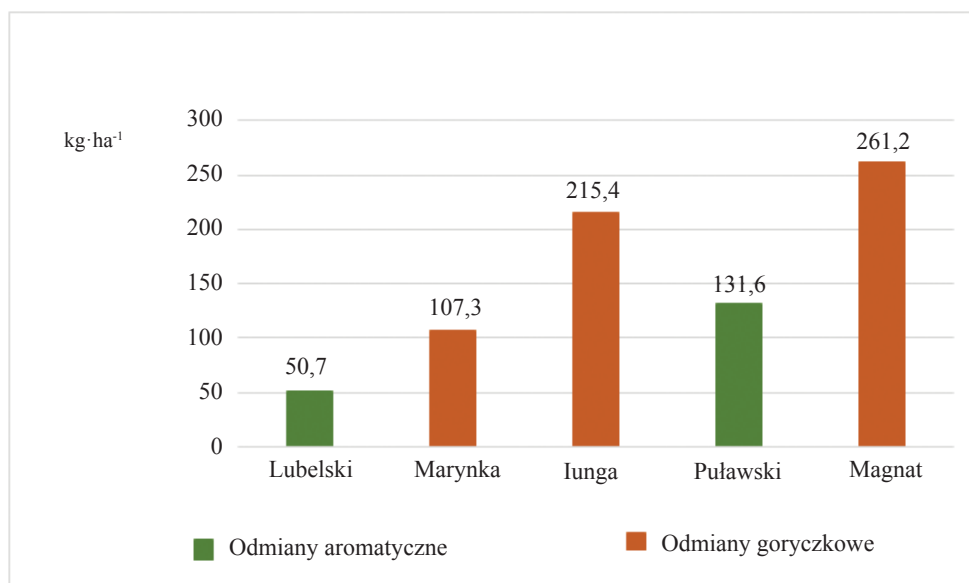
Kolejnym krokiem w hodowli odmian aromatycznych chmielu w Polsce było wykorzystanie środków mutagennych w celu poszerzenia zmienności genetycznej. W 1988 r. M. Milczak i Z. Segit uzyskali w ten sposób odmianę Lomik, która znacząco przewyższała dotychczasowe odmiany aromatyczne zarówno pod względem plonowania, jak i zawartości alfa kwasów. W doświadczeniach odmianowych COBORU w latach 1982-1985 średni plon tej odmiany wynosił $2,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ i był o ponad 30% wyższy od plonu odmiany Lubelski (9). Zawartość alfa kwasów na poziomie 6% w owym czasie stawiała Lomika w czołówce odmian aromatycznych na świecie. Dodatkową zaletą tej odmiany była zwiększona odporność na mączniaka rzekomego chmielu oraz na uwiąd infekcyjny. W 1996 r. asortyment polskich odmian aromatycznych chmielu wzbogacił się o Sybillę wyhodowaną przez Z. Frydecką i Z. Wirowskiego i charakteryzującą się zawartością alfa kwasów w granicach 6,5-8,0% i potencjałem plonowania $2,0 - 3,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (17). W kolejnych latach polska hodowla chmielu skupiła się na odmianach goryczkowych. Dopiero w 2016 r. została wprowadzona do uprawy najnowsza polska odmiana aromatyczna, tj. Puławski (autor U. Skomra). Najważniejszą cechą odmiany jest wysoka zawartość olejków eterycznych oraz ich korzystny skład. Dzięki temu odmiana charakteryzuje się intensywnym i harmonijnym aromatem. Odmianę cechuje ponadto wysoka, jak na odmiany aromatyczne, zawartość alfa kwasów w granicach 8-10% oraz potencjał plonowania powyżej $2,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dodatkowe zalety stanowią: bardzo dobra przydatność do naprowadzania na przewodniki oraz do zbioru maszynowego i suszenia (20, 21).

W konsekwencji uprawa tej odmiany może poprawić efektywność ekonomiczną produkcji odmian aromatycznych, która jest zazwyczaj niższa w porównaniu z odmianami goryczkowymi.

Pierwsze polskie odmiany goryczkowe: Izabella i Marynka, zostały wyhodowane przez zespół Z. Myślicka i Z. Frydecka i wprowadzone do uprawy w 1988 r. Odmiana Izabella charakteryzowała się bardzo wysokim plonem szyszek zbliżonym do $3,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz zawartością alfa kwasów w granicach 8-9% (7, 16). Marynkę wyróżniała bardzo dobra przydatność do naprowadzania na przewodniki i zbioru maszynowego. Odmiana ta cechowała się nieco niższym potencjałem plonowania niż Izabella, ale rekompensowała to wyższą koncentracją alfa kwasów na poziomie 10% oraz bardzo dobra jakość aromatu, rzadko spotykana u odmian typu goryczkowego (16). Marynka przez wiele lat była najważniejszą odmianą goryczkową uprawianą w Polsce. W szczytowym momencie popularności, na początku XXI wieku jej areal wynosił blisko 1400 ha, co stanowiło 68% powierzchni uprawy chmielu w Polsce (dane Inspekcji Jakości Handlowej Artykułów Rolno-Spożywczych za rok 2006). W 1996 r. została wprowadzona do uprawy odmiana Oktawia – jedna z najwierniej plonujących odmian goryczkowych. Jej autorami byli Z. Wirowski i I. Araźna. W 2004 r. wprowadzono kolejne odmiany goryczkowe, tj. Iunga i Zula, których twórcami byli J. Migdał, Z. Frydecka oraz I. Araźna. Dwie ostatnie odmiany, bardzo zbliżone pod względem potencjału plonowania i zawartości alfa kwasów, stanowiły odpowiedź hodowców na zapotrzebowanie rynku, który potrzebował surowca o zwiększonej przydatności do przetwarzania na ekstrakty chmielowe. Wymagania te najlepiej spełniały odmiany o zawartości alfa kwasów powyżej 12%. W doświadczeniach odmianowych prowadzonych w latach 1998-2000 w RZD Kępa średnia zawartość alfa kwasów w szyszkach odmian Iunga i Zula wynosiła odpowiednio 14,7% oraz 13,3%, a plon kształtował się na poziomie $3,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (16). Najnowsza polska odmiana goryczkowa o nazwie Magnat została wyhodowana przez U. Skomrę i wprowadzona do uprawy w 2016 r. Odmiana ta pod względem najważniejszych cech użytkowych spełnia wymagania stawiane nowoczesnym odmianom chmielu. Charakteryzuje się bardzo dobrą przydatnością do naprowadzania na przewodniki oraz do zbioru maszynowego i suszenia. Odmianę wyróżnia wysoki potencjał plonowania oraz najwyższa zawartość alfa kwasów spośród wszystkich odmian chmielu uprawianych w Polsce. Średni plon szyszek uzyskany w ścisłym doświadczeniu polowym w latach 2010-2012 przewyższał plon odmiany Iunga o blisko 5% (20), natomiast zawartość alfa kwasów była wyższa o 15,5% (21).

Postęp uzyskany w hodowli odmian chmielu w Polsce dobrze ilustrują wyniki ścisłego doświadczenia odmianowego prowadzonego w latach 2010-2012 w RZD Kępa, w którym porównywane były najważniejsze odmiany chmielu wprowadzone do uprawy w różnych okresach na przestrzeni ponad 50 lat. W badaniach uwzględniono dwie odmiany aromatyczne, tj. Lubelski i Puławski, wyhodowane odpowiednio w latach 1964 i 2016 oraz trzy odmiany goryczkowe: Marynka, Iunga i Magnat wprowadzone do uprawy w latach 1988, 2004 i 2016 (rys.1). W doświadczeniu

porównywano plon alfa kwasów uzyskiwany z 1 ha powierzchni uprawy. Wskaźnik ten łączy dwa najważniejsze elementy oceny plenności odmian chmielu, tj. plon szyszek oraz zawartość alfa kwasów. W grupie odmian aromatycznych plon alfa kwasów najnowszej odmiany Puławski wynosił ponad $130 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i był o blisko 160% wyższy w porównaniu z najstarszą polską odmianą aromatyczną jaką jest Lubelski. W grupie odmian goryczkowych najwyższym plonem alfa kwasów charakteryzowała się odmiana Magnat. Był on o ponad 20% wyższy od plonu odmiany Iunga i o 140% wyższy od plonu Marynki - pierwszej polskiej odmiany goryczkowej.



Rys.1 Średni plon alfa kwasów wybranych polskich odmian chmielu w ścisłym doświadczeniu polowym w latach 2010-2012

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Technologia produkcji chmielu na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat uległa rewolucyjnej zmianie od opartej głównie na pracy ludzkiej do wysoce zmechanizowanej. Wdrożenie innowacyjnych rozwiązań technicznych niemal na wszystkich etapach produkcji chmielu przyczyniło się do radykalnego zmniejszenia nakładów pracy, umożliwiło zwiększenie powierzchni uprawy chmielu w poszczególnych gospodarstwach oraz ugruntowało ich specjalizację. Postęp techniczny był najważniejszym czynnikiem intensyfikacji produkcji chmielu w drugiej połowie XX wieku, kiedy to miał miejsce największy transfer innowacji technicznych do praktyki. Równocześnie z postępowaniem technicznym następował proces wdrażania nowych odmian chmielu będących nośnikiem postępu biologicznego, który wyrażał

się zarówno przez przyrost plonów, jak i wzrost ich jakości. Upowszechnianie postępu technicznego i biologicznego w produkcji chmielu jest niewątpliwie jednym z najistotniejszych czynników rozwoju tej branży. Proces ten jest nadal kontynuowany. Aktualnie największym wyzwaniem jest opracowanie innowacyjnych rozwiązań łączących nie tylko wzrost wydajności i jakości, ale również ukierunkowanych na ograniczenie negatywnego oddziaływania produkcji chmielu na środowisko i zdrowie ludzi.

Literatura

1. Adams A.N.: Elimination of viruses from the hop (*Humulus lupulus*) by heat therapy and meristem culture. *J. Hort. Sci.*, 1975, **50**: 151-160.
2. Adams A.N., Darby P., Ebbels D.L.: Production and distribution of virus-tested hops in the U.K. *Proceedings of the International Workshop on Hop Virus Diseases*, Rauischholzhausen (A. Eppler Edt.) *Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft*, 1989: 127-130.
3. Barbara D.J., Morton A., Adams A.N.: Assessment of UK hops for the occurrence of hop latent and hop stunt viroids. *Ann. appl. Biol.*, 1990, **116**: 265-272.
4. Brown J.F.: Hop picking by machine in England and America. *J. Ins. Brew.*, 1952, **58**: 331-336
5. Cajza M., Zielińska L., Lubik M.: Elimination of viruses from the hop and propagation of virus-free plant material in the west Poland. *J. Plant Prot. Res.*, 1996, **37**: 59-66.
6. Doroszevska T., Skomra U., Przybyś M., Czubacka A., Grudzińska-Sterno M.: Uzyskiwanie zdrowych sadzonek chmielu jako element restrukturyzacji odmianowej. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **13**: 97-110.
7. Frydecka Z., Migdal J., Surowiecka A. *Atlas polskich odmian chmielu*. Wyd. IUNG, Puławy, 1999, ss. 30.
8. Krehmeller H. Th., Ehrmaier H., Gmelch F., Hesse H.: Production and propagation of virus-free hops in Bavaria, Federal Republic of Germany. *Proceedings of the International Workshop on Hop Virus Diseases*, Rauischholzhausen (A. Eppler Edt.) *Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft*: 1989(a): 131-134.
9. Lewandowski A.: Kompleksowe badania wartości gospodarczej odmian chmielu w latach 1968-1995. *Wiadomości Odmianoznawcze*, 2003: 77.
10. Mileczak M., Segit Z.: Hodowla nowych ideotypów chmielu dla warunków Polski. *Zesz. Nauk. AR im. H. Kołłątaja w Krakowie*, 1985, **190(14)**: 47-53.
11. Morton A., Barbara D.J., Adams A.N.: The distribution of hop latent viroid within plants of *Humulus lupulus* and attempts to obtain viroid-free plants. *Ann. appl. Biol.*, 1993, **123**: 47-53.
12. *Poradnik plantatora chmielu*. Praca zbiorowa, red. Migdal J., Zaorski T., wyd. IUNG, Puławy, 1996.
13. Probasco G., Winslow S.: The use of shoot-tip culture to eliminate viruses from hop varieties grown in the United States. *MBAA Technical Quarterly*, 1986, **23**: 26-31.
14. Rybaček V. (red.). *Hop production*. Elsevier, 1991.
15. Skomra U.: Występowanie wirusów w roślinach chmielu na Lubelszczyźnie. *Pam. Puł.*, 2001, **126**: 107-124.
16. Skomra U.: Osiągnięcia polskiej hodowli chmielu w latach 1949-2000. *Pam. Puł.*, 2003, **133**: 185-195.
17. Skomra U.: *Polskie odmiany chmielu (Polish Hop Cultivars)*. Wyd. IUNG-PIB, 2010
18. Skomra U.: *Metodyka integrowanej ochrony chmielu*. Wyd. IUNG-PIB, 2015, ss. 91
19. Skomra U.: *Zdrowy materiał sadzonkowy chmielu – sadzenie, pielęgnacja oraz korzyści z jego stosowania*. Wyd. IUNG-PIB, 2016, ss. 26
20. Skomra U., Stasiak M.: Odmiany chmielu Puławski i Magnat. *Cz.I. Charakterystyka botaniczna i cechy użytkowe. Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 2013, **7-8**: 12-13 i 18
21. Skomra U., Stasiak M.: Odmiany chmielu Puławski i Magnat. *Cz.II. Skład chemiczny surowca. Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 2013, **9**: 8-9

22. Solarska E., Grudzińska M.: The field distribution of Hop latent viroid within Polish hop cultivars. *Acta Hort.*, 2001, **550**: 331-335.
23. Solarska E., Skomra U.: Uszlachetnianie materiału nasiennego chmielu. Uszlachetnianie materiałów nasennych – materiały konferencyjne, Olsztyn – Kortowo, 1994: 301-304.
24. Solarska E., Skomra U., Kitlińska J., Wojciorowski J.: The occurrence of hop latent viroid (HLVd) in hop plants in Poland. *Phytopathol. Pol.*, 1995, **10**: 55-59.
25. Stasiak M., Samoń Z.: Maszynowy zbiór roślin na plantacji chmielu. *Instr. Upow.* 52/95, IUNG, Puławy, 1995: ss.15
26. Stasiak M., Samoń Z.: Stosowanie bocznego odorywacza karp chmielu. *Instr. Wdroż.* 191/97 IUNG, Puławy, 1997: ss. 39.
27. Svoboda P.: Kultivace izolovaných vrcholů chmiele (*Humulus lupulus L.*) *in vitro*. *RostlinnaVyroba*, 1992, **38**: 523-528.
28. Zaorski T.: Organizacja maszynowego zbioru chmielu. *Instr. Wdroż.* 48/77, IUNG, Puławy, 1977: ss. 12.
29. Zaorski T.: Bezchaczykowe zawieszanie przewodników roślin chmielu. *Instr. Wdroż.* 61/78, IUNG, Puławy, 1978: ss. 11.
30. Zaorski T.: Technika w produkcji chmielu w Polsce. *Instr. Upow.* 22/89, IUNG, Puławy, 1989: ss. 23.
31. Zaorski T.: Zarys dziejów chmielarstwa polskiego. Wyd. IUNG, Puławy, 2002: ss. 137.
32. Zaorski T., Opacki R.: Mechanizacja zbioru chmielu. Wyd. IUNG, Puławy, 1972, R(30).
33. Zaorski T., Opacki R., Sajnaga Z.: Mechaniczny zbiór chmielu maszyną klepiskową. *Instr. Wdroż.* 13/74, IUNG, Puławy, 1974: ss. 9.
34. Zaorski T., Opacki R., Sajnaga Z.: Mechanizacja uprawy chmielu, suszenie chmielu w suszarniach komorowych przy wymuszonym przepływie ogrzanego powietrza. *Instr. Wdroż.* **22/75**, IUNG, Puławy, 1974: ss. 8.
35. Zub L.: Produkcja ukorzenionych sadzonek chmielu. *Instr. Wdroż.* 66/78, IUNG, Puławy, 1978: ss. 42.

Adres do korespondencji:

dr Urszula Skomra
Zakład Hodowli i Biotechnologii Roślin
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 931
e-mail: urszula.skomra@iung.pulawy.pl

Anna Trojak-Goluch, Andrzej Madej

*Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZMNIEJSZENIA KOSZTÓW PRODUKCJI
SUROWCA TYTONIOWEGO ORAZ ZWIĘKSZENIA MECHANIZACJI
W UPRAWIE TYTONIU*

Słowa kluczowe: tytoń, mechanizacja produkcji, redukcja kosztów

Wstęp

Polska jest krajem o długoletniej tradycji uprawy tytoniu. Na skalę przemysłową tytoń uprawiany jest od początku ubiegłego wieku. Jego uprawa odznacza się dużą pracochłonnością, a jednocześnie wymaga dużej wiedzy fachowej w zakresie agrotechniki i ochrony roślin. Stanowi ważną gałąź produkcji roślinnej, zapewniającą dochodowość gospodarstwom ze słabymi glebami. Plantacje tytoniowe są zlokalizowane głównie w rejonach słabo rozwiniętych gospodarczo, o dużym stopniu bezrobocia (1). W 2016 roku uprawę tytoniu w Polsce prowadzono w 8,5 tys. gospodarstw rolnych na powierzchni 12,3 tys. hektarów (16). Niemal połowa całej powierzchni uprawy tytoniu znajduje się w województwie lubelskim (48,3%). Powierzchnia uprawy tytoniu w województwie świętokrzyskim, małopolskim oraz kujawsko-pomorskim stanowi odpowiednio 10,9; 10,7 oraz 10,5% całego areалу tytoniu. Pozostały obszar uprawy (5,7%) zlokalizowany jest w województwie podkarpackim. W uprawie przeważają tytoń papierosowe jasne w tym odmiany typu *Virginia* zajmujące 70% całego areалу oraz odmiany typu *Burley* stanowiące 26% powierzchni uprawy tytoniu (16). Udział tytoni papierosowych ciemnych typu Puławski oraz Skroniowski Mocny wynosi łącznie 2% areалу, podobnie odmian typu Kentucky (tab. 1).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.5 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Tabela 1

Udział grup użytkowych w powierzchni uprawy tytoniu w Polsce w 2014 roku

Udział grup użytkowych w powierzchni uprawy	Grupa użytkowa				Ogółem
	<i>Virginia</i>	<i>Burley</i>	Tytoń ciemny Puławski i Skroniowski	Tytoń ciemny Kentucky	
(%)	70,4	25,8	1,7	2,1	100

Źródło: opracowanie IERiGŻ-PIB na podstawie danych GUS

W ostatnim dziesięcioleciu odnotowano znaczące zmniejszenie się powierzchni uprawy tytoniu z 17,57 do 12,34 tys. ha jak również produkcji surowca z 39,48 do 31,20 tys. t (tab. 2). Jest to między innymi efektem redukcji dopłat związanych z uprawą tytoniu, działań prowadzonych przez Światową Organizację Zdrowia (WHO) zmierzających do maksymalnego ograniczenia spożycia wyrobów tytoniowych jak również wynikiem zmniejszenia opłacalności uprawy. W 2010 roku na mocy Rozporządzenia Rady UE wstrzymano płatności związane z produkcją tytoniu. Zaniechano również prowadzonego w latach 2012-2014 wsparcia finansowego rolników z tytułu poprawy jakości produktów rolnych w sektorze tytoniu finansowanym z budżetu unijnego. W roku 2020 planowane jest również zgodnie z przepisami unijnymi zaprzestanie płatności krajowych stanowiących przejściowe wsparcie krajowe w sektorze tytoniu.

Zmniejszeniu powierzchni uprawy tytoniu w Polsce towarzyszyły zmiany strukturalne i organizacyjne gospodarstw zajmujących się uprawą. Odnotowano spadek liczby tych gospodarstw z 14,3 tys. w 2007 do 8,5 tys. w roku 2016, głównie w grupie gospodarstw małoobszarowych (16). Jednocześnie nastąpił wzrost średniej powierzchni plantacji tytoniu z 1,2 do 1,6 ha. Notowano wzrost liczby plantacji o powierzchni 2-5 ha, a nawet ponad 5 ha (14). Można zauważyć również tendencję wzrostową wydajności produkcji (tab. 2). Znajduje to potwierdzenie w analizie rynku wyrobów tytoniowych (16).

Tabela 2

Powierzchnia uprawy (tys. ha), wysokość (tys. t) i wydajność produkcji oraz liczba gospodarstw uprawiających tytoń w latach 2007-2016.

Rok	Powierzchnia uprawy	Produkcja tytoniu	Plony dt/ha	Liczba gospodarstw tytoniowych
2007	17,6	39,5	22,5	14,3
2008	17,4	41,2	23,7	12,4
2009	16,9	41,9	24,8	11,9
2010	15,7	34,8	22,1	11,3
2011	15,9	34,4	21,7	-
2012	15,0	35,3	23,6	9,5
2013	14,7	30,8	21,0	8,7
2014	14,6	34,9	23,9	-
2015	13,4	27,3	20,3	-
2016	12,3	31,2	25,3	8,5

Źródło: opracowanie IERiGŻ-PIB na podstawie danych GUS

Wzrost wydajności produkcji z hektara był między innymi wynikiem doboru odpowiednich odmian, w tym wyhodowanych w IUNG-PIB odmian typu *Virginia*, doskonale dostosowanych do warunków glebowo-klimatycznych w kraju, a ponadto wyróżniających się odpornością na grzybowy patogen glebowy *Chalara elegans* wywołujący groźną chorobę - czarną zgniliznę korzeni i wirusa Y ziemniaka powodującego brunatną nekrozę nerwów tytoniu. Był również wynikiem postępującej modernizacji infrastruktury rolniczej w gospodarstwach i związanym z tym podnoszeniem efektywności produkcji oraz jakości surowca tytoniowego.

Obecnie skala produkcji surowca tytoniowego plasuje Polskę w czołówce europejskich producentów tytoniu (tab. 3). W 2016 roku nasz kraj z produkcją na poziomie 31,2 tys. t zajmował drugie po Włoszech miejsce w Europie. Wśród światowych producentów tytoniu Polska znalazła się na 27 miejscu, a udział naszego kraju w światowej produkcji stanowił 0,47% (tab. 4).

Tabela 3

Powierzchnia uprawy i produkcja tytoniu w wybranych krajach europejskich w 2016 roku.

Kraj	Powierzchnia uprawy (ha)	Produkcja tytoniu (t)
Grecja	19 850	29 216
Włochy	15 717	48 470
Polska	12 335	31 201
Bułgaria	9 963	15 211
Hiszpania	9 066	29 434*

Źródło: FAOSTAT, * - dane w oparciu o metodę imputacji

Tabela 4

Produkcja tytoniu w Polsce, EU i na świecie w latach 2007-2016.

Rok	Produkcja (t)			Udział Polski w produkcji światowej (%)
	Polska	EU	Świat	
2007	39 482	295 390	6 165 658	0,64
2008	41 153	285 472	6 646 852	0,62
2009	39 293	299 503	7 138 407	0,55
2010	34 782	274 596	6 942 801	0,50
2011	34 428	256 242	7 480 249	0,46
2012	35 338	223 977	7 591 235	0,47
2013	30 781	225 811	7 615 414	0,40
2014	34893	225922	7285720	0,48
2015	27251	201825	6985341	0,39
2016	31201	187 84	6664238	0,47

Źródło: FAOSTAT

Metodyka wykorzystana w opracowaniu

Analizę kosztów uprawy tytoniu w przeliczeniu na 1 ha powierzchni uprawy oraz na 1 tonę surowca przeprowadzono z uwzględnieniem kosztów suszenia poszczególnych typów użytkowych tytoniu. Posłużono się przy tym instrukcją upowszechnieniową uprawy tytoniu opracowaną w IUNG-PIB (4). W kalkulacji uwzględniono ceny

środków produkcji obowiązujące w drugiej połowie 2017 r. publikowane przez IERiGŻ (Rynek Rolny). Dla pełniejszego zobrazowania nakładów ponoszonych na uprawę tytoniu, w kalkulacji uwzględniono również nakłady pracy (roboczogodziny). Dla obliczenia ewentualnych kosztów pracy najmniejszej należałoby przyjąć wartość robocizny wynoszącą 17,22 zł/rbh, przyjmując koszt 1 roboczogodziny w oparciu o parytetową opłatę pracy w gospodarce narodowej w 2017 r. (GUS).

W analizie uwzględniono różne stopnie intensyfikacji produkcji (od przeciętnego gospodarstwa bazującego na wykorzystaniu pracy ręcznej, do wielkotowarowego stosującego kompleksowe technologie zwiększające uzyskiwane plony i obniżające koszty produkcji), obliczenia wykonano w sposób modułowy.

Ze względu na sposób suszenia i związane z nim koszty, odmiany tytoniu podzielono na trzy grupy: typu *Virginia* wymagające suszenia w suszarniach ogniowych, typu *Burley* suszone w suszarniach powietrznych oraz tytonie ciemne wymagające dosuszania w suszarniach. W module tym, w celu poszukiwania oszczędności związanych z jego dosuszaniem, rozpatrzono różne źródła energii, uwzględniając równoważność ich wartości opałowej (tab. 5). W modelu podstawowym do suszenia tytoni *Virginia* użyto oleju opałowego, natomiast jako źródło ekwiwalentne zastosowano gaz LPG.

Z kolei dla tytoni ciemnych podstawowym źródłem energii do dosuszania był węgiel kamienny, a źródłami ekwiwalentnymi: ekogroszek, słoma, ziarno zbóż (żyto), zrębki, pelety drzewne, drewno.

Tabela 5

Źródła energii i ich wartość opałowa (MJ⁻¹kg)

Wyszczególnienie	Wartość opałowa (MJ ⁻¹ kg)
Olej opałowy ¹	42,6
Gaz LPG ²	46,0
Węgiel kamienny ³	25,0
Ekogroszek ⁴	24,0
Słoma sprasowana ⁵	17,2
Ziarno zbóż (żyto) ⁵	17,0
Zrębki drzewne ⁶	15,5
Pelety drzewne ⁶	19,0
Drewno opałowe ⁵	18,6
Drewno odpadowe ⁵	18,3

Źródło: ¹ - <https://www.orlen.pl>; ² - <https://www.e-petrol.pl>; ³ - Harasim 2011; ⁴ - <http://www.instalacjebudowlane.pl>; ⁵ - Wandrasz J.W., Wandrasz A.J. 2006; ⁶ - <https://www.pelet.com.pl>

Dla trzech grup odmian tytoniu (*Virginia*, *Burley*, tytoń ciemny) uwzględniono trzy sposoby produkcji rozsady:

- pierwszy, tradycyjny polegający na przygotowaniu jej w ogrzewanym tunelu foliowym lub szklarni na specjalnie przygotowanym podłożu złożonym z piasku i substratu torfowego oraz wysianiu nasion w sposób rzutowy (stosowany w przeciętnych gospodarstwach);
- drugi, polegający na wysiewie nasion do wypełnionych substratem torfowym

wielokomórkowych tac ustawionych na warstwie piasku rozsypanej na folii odizolowanej od podłoża styropianem (stosowany w gospodarstwach intensywnych);

- trzeci w tacach pływających - hydroponiczny, polegający na wysiewie nasion do wypełnionych substratem torfowym wielokomórkowych tac unoszących się na wodzie w basenach wodnych o głębokości 0,1 m, odizolowanych od podłoża styropianem (stosowany głównie w gospodarstwach intensywnych).

W produkcji rozsady nie uwzględniono kosztów eksploatacji konstrukcji namiotu foliowego oraz systemu ogrzewania, uwzględniono natomiast koszty: folii do przykrycia namiotu, styropianu do odizolowania podłoża, tac do produkcji rozsady, materiałów do budowy basenów i rozliczono je na 4 lata użytkowania (w danym roku uwzględniono $\frac{1}{4}$ ich kosztów). Zakładanie i prowadzenie plantacji dla obydwu wymienionych wcześniej typów użytkowych tytoni nie różniło się, z wyjątkiem poziomu stosowanego nawożenia mineralnego, którego koszt w przypadku tytoni typu *Burley* był wyższy o około 130 zł niż tytoni typu *Virginia*. W module tym uwzględniono wykorzystanie ciągnika o mocy 60-80 KM (44-59 kW) najczęściej wykorzystywanego w średniej wielkości gospodarstwach rolniczych. Odpowiednio do mocy ciągnika dobrano zestaw maszyn, zapewniając optymalne ich wykorzystanie. Jednostkowe koszty eksploatacji maszyn wykorzystywanych w produkcji tytoniu obliczono zgodnie z metodyką IBMER (15), przyjmując do obliczeń średnią cenę oleju napędowego obowiązującą w drugiej połowie 2017 r. oraz ceny maszyn z 2017 r. Kolejnym elementem różnicującym w technologii uprawy tytoniu typu *Burley* był sposób przygotowania zebranych liści do suszenia. W procesie tym uwzględniono dwie metody: tradycyjną, polegającą na ręcznym nawlekaniu na druty i drugą, w której liście nawlekano na sznurek przy użyciu nawlekarek (metoda stosowana w gospodarstwach wielkotowarowych).

W rachunku nie uwzględniono narzutu kosztów ogólnych (pośrednich).

W strukturze kosztów większości typów tytoniu znaczący udział (od 52,9 do 49,4%) stanowiły koszty związane z założeniem i prowadzeniem plantacji (tab. 6). Wyjątek stanowił typ użytkowy *Virginia*, w przypadku którego dominującą część kosztów generowały zbiory i obróbka liści (44,7% ogólnych kosztów). Najmniejsze wydatki były poniesione na przygotowanie rozsady tytoniu (od 15,8 do 20,7% ogólnych kosztów).

Tabela 6

Koszty produkcji różnych typów użytkowych tytoniu bez uwzględnienia opłaty pracy własnej w zł/ha

Typ tytoniu	Koszty przygotowania rozsady (zł) ⁴	Koszty założenia i prowadzenia plantacji (zł)	Koszty zbioru i obróbki plonu (zł)	W tym			Koszty ogółem (zł)
				Koszty suszenia (zł) ⁵	Koszty materiałów (zł)	Koszty maszyn (zł)	
<i>Virginia</i>	2133	5320	6034	3439 3622	3439	2596	13488
<i>Burley</i> ¹	2133	5453	2712	0 299	116	2596	10298
Ciemny ²	2133	5453	3455	437 1042,47	860	2596	11041
Ciemny ³	2133	54523	3149	437 736	56	2596	10735

¹ - tytoń papierosowy jasny *Burley* nawlekany na drut i suszony powietrznie, ² - tytoń papierosowy ciemny nawlekany na drut, ³ - tytoń papierosowy ciemny zszywany sznurkiem, ⁴ - w kalkulacji uwzględniono przygotowanie rozsady w systemie tac wielokomórkowych na piasku, ⁵ - w górnej części wiersza podano koszt suszenia bez przygotowania liści, a w dolnej części z przygotowaniem liści

Źródło: opracowanie własne

Charakterystyka poszczególnych etapów produkcji surowca tytoniowego

Uprawa tytoniu jest niezwykle złożonym i długotrwałym procesem. Wymaga dużej wiedzy fachowej w zakresie agrotechniki i ochrony roślin, dobrej organizacji pracy i wyposażenia w odpowiednią infrastrukturę techniczną. Składają się na nią produkcja rozsady pod osłoną, uprawa w warunkach polowych, zbiór, suszenie i sortowanie liści. Obecnie w produkcji rozsady stosuje się metodę siewu bezpośredniego do gruntu w ogrzewanych tunelach foliowych. Wymaga ona starannego przygotowania podłoża stanowiącego mieszankę wolnego od patogenów substratu torfowego z piaskiem z dodatkiem nawozów mineralnych. Następnym krokiem jest zwilżenie go wodą oraz siew nasion metodą rzutową. Po wysiewie nasion niezbędne jest utrzymywanie odpowiednich warunków termicznych i wilgotnościowych (nawet 3-4 razy dziennie podlewanie) zapobiegające przesuszeniu substratu torfowego. W dalszej fazie konieczne jest także odchwaszczanie i przerywanie rozsady, jak również systematyczne wietrzenie rozsadnika w celu zabezpieczenia przed występowaniem chorób grzybowych oraz bakteryjnych. Etap ten wiąże się ze znacznymi nakładami finansowymi i dużą liczbą roboczogodzin. Przygotowana w ten sposób rozsada wymaga długiego okresu czasu do wzrostu. Rośliny są najczęściej niewyrównane z powodu nierównomiernego rozmieszczenia siewek w tunelu. Dużą wadą takiej produkcji rozsady są uszkodzenia systemu korzeniowego w trakcie wrywania roślin z rozsadnika, co utrudnia i wydłuża aklimatyzację roślin w polu. Przyczynia się także do zamierania części roślin, które trzeba dosadzać ręcznie co wymaga zwiększonych nakładów pracy i znacznych zapasów rozsady. Mimo tych wad wciąż nie brakuje zwolenników tego sposobu produkcji rozsady, szczególnie wśród właścicieli niewielkich gospodarstw rolnych.

Alternatywną techniką, często wykorzystywaną przez plantatorów tytoniu jest produkcja rozsady w tacach wielokomórkowych (wielodoniczkach) wypełnionych substratem torfowym, umieszczonych w ogrzewanych tunelach foliowych na wilgotnym piasku z dodatkiem nawozów mineralnych (4). Ten system produkcji rozsady znajduje zastosowanie zarówno w gospodarstwach małych jak i wielkotowarowych. Użycie tac wielokomórkowych zapewnia optymalne zagęszczenie rozsady wynoszące w przypadku najczęściej stosowanych wielodoniczek 60 x 40 cm, 640 roślin/m², a w konsekwencji jednakowe warunki wzrostu i oświetlenia co zapewnia jednorodność uzyskanych roślin. Rozsada uzyskana tą metodą ma odpowiednie proporcje pomiędzy częścią nadziemną i podziemną oraz nieuszkodzony system korzeniowy. Sadzonki wysadza się wraz z bryłą korzeniową bezpośrednio do gruntu co chroni rośliny przed stresem związanym z przesadzaniem, umożliwia szybsze rozpoczęcie wzrostu w warunkach polowych i czyni rośliny bardziej tolerancyjne na wiosenne niedobory wody (4).

Zaletą techniki produkcji sadzonek w tacach wielokomórkowych jest też możliwość mechanizacji siewu nasion otoczkowanych, wykorzystanie automatycznych linii napełniających tace w połączeniu z siewnikami punktowymi. Automatyzacja procesu napełniania wielodoniczek substratem torfowym i siewu mechanicznego nasion otoczkowanych eliminuje prace związane z pikowaniem siewek. Produkcja sadzonek w wielodoniczkach stwarza możliwość mechanicznego sadzenia roślin z wykorzystaniem sadzarek karuzelowych, chwytakowych, czy tarczowych. Mechanizacja sadzenia wydatnie ogranicza nakłady pracy, pozwala na zasadzanie dużego arealu w stosunkowo krótkim czasie, co ma ogromne znaczenie dla równomiernego wzrostu, łatwiejszej pielęgnacji roślin i uzyskania dużej ilości jednolicie dojrzałego surowca (4). Wprowadzenie tej technologii znajduje jednak ekonomiczne uzasadnienie w gospodarstwach charakteryzujących się wysoką skalą produkcji tytoniu.

Kolejną metodą zdobywającą coraz większą popularność wśród producentów tytoniu jest uprawa rozsady w systemie pływającym. Polietylenowe bądź polistyrenowe tace wypełnione substratem torfowym umieszcza się w basenach wypełnionych wodą z dodatkiem nawozów mineralnych i środków ochrony roślin (19, 20). Produkcja rozsady tą metodą wydatnie zmniejsza nakłady pracy, gdyż pielęgnacja roślin sprowadza się do monitorowania poziomu wody w basenie oraz strzyżenia zbyt wyrosniętej rozsady. Stosowanie tej techniki pozwala na ograniczenie zużycia nawozów i środków ochrony roślin. Dodatkową zaletą stosowania systemu hydroponicznego jest ograniczenie zużycia wody w stosunku do poboru notowanego w przypadku produkcji rozsady w rozsadniku czy w tacach umieszczanych na podłożu z piasku. System tac pływających umożliwia zastosowanie środków owadobójczych i grzybobójczych do basenów wodnych przed przeniesieniem rozsady do gruntu co eliminuje potrzebę ochrony chemicznej roślin na początku wegetacji polowej. Zmniejsza koszty ochrony roślin w polu przed wciornastkiem tytoniowcem czy zgnilizną podstawy łodygi poprzez ograniczenie ilości zużytych środków chemicznych, zużycia wody oraz eliminację pracy ciągnika. Zastosowanie hydroponicznego systemu produkcji

rozsady przynosi wiele korzyści plantatorom, wymaga jednak dużej wiedzy fachowej z zakresu ochrony chemicznej roślin i nawożenia. Należy zwracać szczególną uwagę na możliwość występowania i szybkiego rozprzestrzeniania się patogenów grzybowych, tworzenia niepożądanych korzeni spiralnych u roślin, a także na nie popełnianie błędów podczas przygotowania roztworów wodnych i prowadzenia kultury wodnej. Często problemem jest jakość wody, która dostępna w wielu gospodarstwach jest nieodpowiednia gdyż zawiera nadmierną, toksyczną dla tytoniu zawartość chlorków, sodu i żelaza (20).

Analiza finansowa produkcji rozsady tytoniu

Koszty przygotowania rozsady tytoniu na 1 ha poniesione na produkcję sadzonek w systemie tac wielokomórkowych umieszczonych na piasku według szacunków przeprowadzonych w IUNG-PIB stanowiły 15,8 do 20,7% ogólnych kosztów (tab. 7).

Tabela 7

Koszty produkcji rozsady tytoniu na 1 ha plantacji tytoniu

Typ tytoniu	Koszty przygotowania rozsady ¹	Koszty ogółem/ha	Udział kosztów przygotowania rozsady w kosztach ogólnych (%)
Jasny - <i>Virginia</i>	2133	13488	15,8
Jasny - <i>Burley</i>	2133	10298	20,7
Ciemny	2133	11041	19,3

¹ - zastosowana technologia tac wielokomórkowych na piasku,

Źródło: opracowanie własne

Prezentowane w tabeli 8 dane wskazują na wpływ technologii produkcji sadzonek na wielkość nakładów finansowych. Najtańszym sposobem przygotowania sadzonek był system tac pływających. Koszty wyniosły 0,078 zł/sadzonkę podczas gdy w systemie tac wielokomórkowych na piasku i w tradycyjnym rozsadniku odpowiednio 0,085 i 0,094 zł. Należy zaznaczyć, że różnica ta była przede wszystkim wynikiem ograniczenia roboczogodzin i kosztów pracy maszyn.

Tabela 8

Koszty przygotowania rozsady tytoniu na 1 ha w trzech systemach produkcji

System produkcji rozsady	Rbh	Cnh	Koszty materiałów (zł)	Koszty ogrzewania (zł)	Koszty pracy maszyn (zł)	Koszty produkcji rozsady ogółem (zł)	Koszt sadzonki (zł)
Uprawa w rozsadniku	90,5	1,7	1131	1118	104	2352	0,094
Tace wielokomórkowe na piasku	75,5	1,7	911	1118	104	2133	0,085
Tace wielokomórkowe pływające	51,5	0,7	792	1118	43	1953	0,078

Źródło: opracowanie własne

Modyfikacje technologii produkcji rozsady wpływające na ograniczenie nakładów finansowych

Zakup materiału siewnego najwyższej jakości

Materiał siewny tytoniu jest dość tanim środkiem produkcji. Koszty zakupu 6g nasion niezbędnych do zasadzenia hektara pola wynoszą około 175 zł i stanowią niewielką część kosztów bezpośrednich. Warto jednak zadbać o wysoką jakość materiału siewnego, który zapewnia otrzymanie zdrowej i wyrównanej rozsady, niezbędnej do uzyskania wysokich plonów charakteryzujących się doskonałą jakością. Zaleca się zatem nabywanie nasion w renomowanych jednostkach oferujących odkażony materiał siewny o sprawdzonej zdolności kiełkowania. Odkażone nasiona zapobiegają występowaniu chorób grzybowych w rozsadniku, eliminują potrzebę ochrony chemicznej roślin w początkowym okresie wegetacji przez co obniżają koszty produkcji.

Szczególną uwagę należy również zwrócić na wybór odmiany. Na rynku polskim dostępnych jest wiele odmian tytoniu. Poza krajowymi odmianami włączonymi do księgi ochrony wyłącznego prawa (COBORU) dostępne są również nasiona odmian zarejestrowanych (wyhodowanych) w innych krajach UE. Zaletą odmian krajowych jest dostosowanie do polskich warunków klimatyczno-glebowych oraz oczekiwań przetwórców surowca tytoniowego. Łatwy kontakt z hodowcą odmiany umożliwi pozyskanie informacji przydatnych do precyzyjnego zaplanowania poszczególnych etapów produkcji surowca i maksymalnego wykorzystania potencjału produkcyjnego odmiany. Warto zaopatrywać się w nasiona odmian odpornych na najważniejsze choroby grzybowe i wirusowe tytoniu co pozwala istotnie ograniczyć wydatki ponoszone na ochronę chemiczną roślin.

Podkiełkowanie nasion

Okres produkcji rozsady tytoniu w Polsce trwa od 6 do 7 tygodni. Rozpoczyna się w końcu marca i trwa do połowy maja. Optymalna temperatura w czasie wschodów tj. w okresie pierwszych 2 tygodni powinna wynosić od 20–27°C i nie spadać poniżej 15°C. Utrzymanie takiej wysokiej temperatury w tunelu szczególnie w nocy, wymaga znacznych nakładów finansowych na ogrzewanie. Pozwalającym zmniejszyć nakłady na ogrzewanie rozwiązaniem technicznym jest podkiełkowanie nasion w mniejszym pomieszczeniu o wyższej temperaturze. Zabieg ten polega na hydrokondycjonowaniu czyli 2-3 dniowym moczeniu nasion w wodzie przed wysiewem w celu zwiększenia zawartości wody i aktywności życiowej zarodka. Napęczniałe nasiona z wykształconym korzeniem zarodkowym można wysiewać w tradycyjnym rozsadniku. Zaletą hydrokondycjonowania nasion jest wydajność tj. od 8 do 10 dni skrócenie czasu kiełkowania nasion, wyrównanie wschodów, a przede wszystkim eliminacja około 40% kosztów na energię cieplną do ogrzania tunelu foliowego w czasie wschodów.

Siew nasion w mnożarkach i pikowanie siewek

Kolejną modyfikacją technologii produkcji rozsady tytoniu zmniejszającą nakłady finansowe jest siew nasion w mnożarkach. Zabieg ten przeprowadza się w warunkach domowych w pojemnikach o małej powierzchni, gdzie po zapewnieniu odpowiedniej temperatury i dostępu światła odbywają się wschody nasion. Po około 10-14 dniach siewki pikuje się do tac wielokomórkowych i umieszcza w tunelu foliowym. Zaletą stosowania domowych inkubatorów nasion jest skrócenie czasu kiełkowania nasion w porównaniu z wschodami w tunelu foliowym oraz wyeliminowanie nakładów na ogrzanie tunelu foliowego w czasie wschodów. Biorąc pod uwagę, że maksymalne zapotrzebowanie na energię cieplną przypada na okres kiełkowania nasion można oszacować, że technika siewu w mnożarkach połączona z pikowaniem siewek pozwala zredukować nakłady ponoszone na ogrzanie tunelu o około 45-50%.

Racjonalizacja systemu grzewczego w tunelu foliowym

Obecnie najczęściej wykorzystywanym przez plantatorów tytoniu źródłem ciepła są piece grzewcze opalane odpadami drzewnymi (trocinami) lub drewnem. Uzyskane ciepło jest rozprowadzane systemem grawitacyjnym w wyniku czego gromadzi się w szczytowej części tunelu podczas gdy przy gruncie temperatura jest stosunkowo niska. W efekcie notuje się znaczne nakłady na ogrzanie tunelu, a na roślinach niekiedy obserwuje się objawy przechłodzenia. Jest to mało wydajne rozwiązanie, którego modernizacja może przynieść znaczne oszczędności w gospodarstwie. Znacznie lepszym sposobem ogrzewania są piece wyposażone w sterownik i kocioł ogrzewający wodę krążącą w systemie rur rozprowadzonych pod skrzyniami zawierającymi tace wielokomórkowe na piasku bądź pod basenami z tacami pływającymi (20). Urządzenia te umożliwiają dość precyzyjne regulowanie temperatury w tunelu i dostosowanie jej do rzeczywistych potrzeb roślin. Dostarczają ciepło w strefie korzeniowej co warunkuje intensywny wzrost tytoniu. Podczas eksploatacji wymagają mniejszego zaangażowania plantatora co znacznie redukuje liczbę roboczogodzin. Ujemną stroną tego systemu jest nadmierne wysuszenie piasku i substratu torfowego znajdującego się w bliskiej odległości od rur grzewczych co może skutkować wędnięciem i zasychaniem roślin oraz utratą części rozsady. Wymaga to zatem częstego kontrolowania wilgotności podłoża i systematycznego podlewania roślin. Ponadto wiąże się z dodatkowymi nakładami na zakup i montaż instalacji rozprowadzającej ciepło oraz materiałów izolacyjnych.

Duże ograniczenie wydatków ponoszonych na ogrzewanie tunelu foliowego przynosi zastąpienie energii konwencjonalnej, z paliw kopalnianych alternatywną pochodzącą ze źródeł odnawialnych. W tabeli 9 zestawiono wydatki ponoszone na ogrzewanie tunelu najczęściej używanymi paliwami oraz koszty uzyskania jednej sadzonki umieszczonej w tacach wielokomórkowych na piasku. Z zestawienia wynika, że najmniejsze wydatki ponosi się na rozsadę otrzymaną w tunelu ogrzewanym drewnem własnym, a najwyższe koszty generuje wykorzystanie paliw stałych takich jak węgiel czy ekogroszek.

Tabela 9

Koszty ogrzewania tunelu foliowego ponoszone na przygotowanie rozsady na 1 ha
w zależności od rodzaju paliwa

Paliwo	Koszty ogrzewania (zł)	Koszty produkcji rozsady ogółem (zł) ¹	Koszt sadzonki (zł)
Węgiel	1 118	2 352	0,085
Ekogroszek	1 138	2 373	0,086
Słoma	378	1 612	0,056
Zrębki	566	1 801	0,063
Pelety	1 368	2 602	0,095
Drewno zakupione	332	1 566	0,047
Drewno własne	0	1 234	0,041

¹ - podano koszty produkcji sadzonek w systemie tac wielokomórkowych na piasku

Źródło: opracowanie własne

Równie ważnym elementem racjonalizacji systemu grzewczego w tunelu jest wybór odpowiedniego materiału stanowiącego pokrycie tunelu. Większość producentów tytoniu stosuje jednowarstwowe folie ogrodowe. Zaleca się stosowanie dwu- bądź trzywarstwowej folii termoizolacyjnej. Przy użyciu dwuwarstwowej folii można oczekiwać o 2-3°C/dobę mniejszego spadku temperatury powietrza niż w tunelu jednowarstwowym. Ograniczenie strat ciepła powoduje zmniejszenie wydatków związanych z ogrzaniem tunelu. Oszczędność energetyczna po wykorzystaniu dwuwarstwowej folii ogrodniczej stanowi 30-40% w stosunku do tunelu pokrytego folią pojedynczą (8). Inną metodą pozwalającą na ograniczenie kosztów związanych z przygotowaniem rozsady w tunelu może być okrywanie roślin włókniną, co sprawia, że różnica pomiędzy temperaturą powietrza pod włókniną, a pozostałą częścią tunelu foliowego wynosi od 3 do 5°C. Jednak w tym przypadku plantator musi się liczyć z większym nakładem pracy związanym z montowaniem osłony.

Sadzenie tytoniu

Sadzenie tytoniu w Polsce odbywa się najczęściej w pierwszej połowie maja. Zabieg ten wykonuje się ręcznie (około 10% gospodarstw) bądź mechanicznie z wykorzystaniem półautomatycznych sadzarek karuzelowych bądź chwytakowych. Sadzarka chwytakowa jest przeznaczona do sadzenia rozsady rwanej jak również z wielodoniczek. Pozwala operatorowi na włożenie ukorzonej sadzonki do chwytaka, skąd rośliny umieszczane są w glebie i odpowiednio dociskane. Gwarantuje równomierną głębokość sadzenia, pionowe ustawienie sadzonki oraz obsypywanie roślin (4). Jest stosunkowo lekka i ma małe zapotrzebowania na moc ciągnika. Jej wydajność jest uzależniona od ilości zamontowanych sekcji roboczych. Najczęściej używana 2-sekcyjna pozwala na zasadzenie (według szacunków IUNG-PIB) około 2500 roślin w ciągu godziny. Sadzarka karuzelowa jest przystosowana do sadzonek uzyskanych w wielodoniczkach umożliwia również zasadzenie dużego areału w stosunkowo krótkim czasie co ma ogromne znaczenie dla równomiernego wzrostu, właściwej pielęgnacji roślin i uzyskania jednolicie dojrzałego surowca (4).

Uprawy polowe i zabiegi pielęgnacyjne

Tytoń wymaga bardzo starannie uprawionej i odchwaszczonej gleby. Po zbiorze przedplonu zalecana jest podorywka lub talerzowanie, następnie bronowanie broną ciężką. Niezbędne jest również wykonanie orki przedzimowej. Uprawy wiosenne obejmują bronowanie (na glebach cięższych dodatkowo kultywatorowanie) nawożenie mineralne, które powinno uwzględniać zasobność w składniki pokarmowe. Ważnym zabiegiem uprawowym po wysadzeniu roślin w pole jest wielokrotne spulchnianie międzyrzędzi za pomocą pielników ręcznych lub ciągnikowych bądź broną sprężynową, które ogranicza rozwój chwastów i zapewnia odpowiednie napowietrzenie gleby niezbędne dla prawidłowego rozwoju systemu korzeniowego. Dodatkowo wykonuje się 2- 3-krotne redlenie, które zapobiega utracie wilgoci, reguluje zachwaszczenie i chroni rośliny przed wyleganiem (4). Ważnymi zabiegami pielęgnacyjnymi są opryski roślin środkami chemicznymi wykonywane po wystąpieniu objawów chorób lub szkodników tytoniu.

Analiza finansowa zakładania i prowadzenia plantacji tytoniu

Według szacunków IUNG-PIB całkowite koszty założenia i pielęgnacji 1 ha plantacji tytoniu wyniosły w zależności od uprawianego typu użytkowego od 5320,1 do 5452,6 zł. Koszty te stanowiły od 39,5 do 52,9% ogólnych kosztów (tab. 10).

Tabela 10

Koszty prowadzenia uprawy polowej 1 ha tytoniu.

Typ tytoniu	Koszty założenia i prowadzenia plantacji	Koszty ogółem/ha	Udział kosztów założenia i prowadzenia plantacji w kosztach ogólnych (%)
Jasny - <i>Virginia</i>	5 320	13488	39,5
Jasny - <i>Burley</i>	5 453	10298	52,9
Ciemny	5 453	11041	49,4

Źródło: opracowanie własne

Składały się na nie koszty materiałów i nakłady na pracę maszyn wykonujących zabiegi agrotechniczne (tab. 11). Prace agrotechniczne obejmowały wydatki na uprawę przedzimową (talerzowanie, bronowanie i orka), uprawki wiosenne (w tym bronowanie, zakup i wysiew nawozów mineralnych, kultywatorowanie, doprawianie gleby), sadzenie mechaniczne rozsady, ochronę chemiczną roślin, zabiegi spulchniania międzyrzędzi i obsypywania roślin, a także usuwania głównego kwiatostanu i pędów bocznych. W strukturze kosztów etapu zakładania i prowadzenia plantacji znaczący udział miały koszty materiałów, które w zależności od uprawianego typu użytkowego tytoniu stanowiły od 64,9-65,8%. Dominowały w nich przede wszystkim nakłady na nawozy mineralne (44,8-43,8%), głównie za sprawą relatywnie wysokich cen nawozów (siarczanu potasu). Znaczącą pozycję w strukturze kosztów stanowiły również nakłady poniesione na pracę maszyn (36,8-35,8%) wykorzystywanych do sadzenia rozsady, ochrony chemicznej plantacji i pielęgnacji międzyrzędzi.

Tabela 11

Nakłady ponoszone na zasadzenie rozsady i uprawę polową 1 ha tytoniu

Typ tytoniu	rbh	cnh	Koszty materiałów (zł)	Koszty maszyn (zł)	Koszty założenia i prowadzenia plantacji (zł)
Jasny - <i>Virginia</i>	117,9	30,4	3 457	1 863	5 320
Jasny - <i>Burley</i>	117,9	30,4	3 589	1 863	5 453
Ciemny	117,9	30,4	3 589	1 863	5 453

Źródło: opracowanie własne

Możliwości redukcji kosztów na etapie sadzenia i prowadzenia plantacji

Jednym ze sposobów redukcji kosztów na tym etapie jest zastąpienie sadzenia ręcznego mechanicznym. W tabeli 12 przedstawiono przygotowane w IUNG-PIB zestawienie zapotrzebowania na liczbę roboczo- i ciągnikogodzin w zależności od sposobu sadzenia. Zastosowanie czterosekcyjnej sadzarki karuzelowej pozwala na zasadzenie 1 hektara plantacji tj. 25000 roślin w ciągu 30 roboczogodzin i 6 ciągnikogodzin podczas gdy wykonanie tej pracy ręcznie wymaga około 60 roboczogodzin. Zastąpienie kosztochłonnego sadzenia ręcznego sadzarkami chwytakowymi bądź karuzelowymi pozwala znacznie obniżyć koszty produkcji. Z uwagi jednak na już szeroko stosowaną mechanizację sadzenia na polskich plantacjach tytoniu (90% gospodarstw) ten sposób redukcji kosztów produkcji surowca tytoniowego dotyczy bardzo wąskiej grupy producentów.

Tabela 12

Zapotrzebowanie na liczbę roboczo- i ciągnikogodzin na 1 ha w zależności od sposobu sadzenia

Sposób sadzenia	Ilość sadzonek/godzinę	Liczba rbh	Liczba cnh
Ręczny	420	60	0
Czterosekcyjna sadzarka karuzelowa	5000-5100	30	6

Źródło: opracowanie własne

Szansą ograniczenia nakładów finansowych związanych z uprawkami polowymi i prowadzeniem plantacji mogłoby być wprowadzenie różnego typu uproszczeń w uprawie roli (3). Niestety dotychczas w kraju nie prowadzono doświadczeń dotyczących wpływu stosowania uprawy bezorkowej w tytoniu. Źródłem informacji na ten temat mogą być opracowania pochodzące z USA. Jak z nich wynika uprawa bezorkowa tytoniu zapewnia:

- ochronę gleby na terenach zagrożonych erozją (np.: na zboczach)
- chroni dolne liście przed zanieczyszczeniami glebą i piaskiem
- redukuje nakłady energii związane z orką i uprawą międzyrzędzi
- zapobiega utracie wilgoci z gleby

Wprowadzenie tego alternatywnego rozwiązania przysparza także wielu problemów takich jak:

- konieczność usunięcia rośliny okrywowej i związane z tym dodatkowe nakłady pracy, koszty pracy ciągnika oraz zakupu preparatów chemicznych

- potrzeba stosowania specjalnie skonstruowanych sadzarek
- intensywny rozwój chwastów w międzyrzędziach (użycie herbicydu nie wystarcza do zabezpieczenia międzyrzędzi przed wzrostem chwastów do czasu zamknięcia się łanu)
- zwiększona wrażliwość roślin na okresowe niedobory wody spowodowana słabym rozwojem systemu korzeniowego
- spadek plonu w stosunku do uzyskiwanego w systemie konwencjonalnym (nawet do 20%)
- podatność na wyleganie w czasie silnych wiatrów

Wydaje się zatem, że wprowadzenie do uprawy tytoniu nowych rozwiązań technologicznych powodujących zwiększone zapotrzebowanie na herbicydy, konieczność zakupu nowego sprzętu rolniczego i obniżenie plonów nie znajduje uzasadnienia ekonomicznego.

Sposobem obniżenia kosztów produkcji na tym etapie może być modernizacja maszyn i urządzeń rolniczych w gospodarstwie i wykorzystanie agregatów uprawowych do usprawnienia uprawy przedzimowej jak również wiosennych uprawek polowych. Proponowane jest wykorzystanie agregatu wykonującego w jednym przejeździe kultywatorowania, bronowania i wysiewu nawozów. Warto również rozważyć stosowanie na polach przeznaczonych do uprawy tytoniu zmiennych dawek nawozów w zależności od zasobności gleby. Precyzyjne dozowanie nawozów mineralnych w różnych częściach pola przyczyniłoby się do znaczącego obniżenia kosztów uprawy i ograniczenia zanieczyszczenia środowiska. Nowoczesne rozsiewacze nawozów to jednak bardzo drogie urządzenia znajdujące zastosowanie wyłącznie w gospodarstwach wielkotowarowych.

Zbiór liści

Zbiór liści tytoniu rozpoczyna się na początku lipca. Wyznacznikiem dojrzałości jest zmiana zabarwienia liści z zielonego na seledynowy, matowienie i lepkość powierzchni blaszki liściowej, odłamywanie z charakterystycznym trzaskiem. Zbyt wczesne podrywanie liści powoduje otrzymanie surowca niskiej jakości. Dojrzałe technologicznie liście zbiera się etapowo począwszy od dołu rośliny do wierzchołka. Zbiory odmian typu *Virginia* wykonuje się w 6-7 etapach, liście tytoniu typu *Burley* zbiera się 4-5 krotnie, a tytonie papierosowe ciemne 3-4 razy w sezonie (4). Jest to bardzo pracochłonne zajęcie gdyż na większości plantacji prace począwszy od zrywania liści, wynoszenia z pola i układania na przyczepie ciągnika wykonuje się ręcznie. Na dużych plantacjach wykorzystuje się doczepiane do ciągników platformy transportujące. Są to dwupoziomowe, osłonięte plandeką urządzenia wyposażone zazwyczaj w sześć stanowisk do zbioru (poziom dolny) i sześć stanowisk do załadunku (poziom górny). Pracownicy siedzący na dole zrywają liście i umieszczają je w mechanicznym podajniku. Osoby na piętrze odbierają liście i wkładają do specjalnych, osłoniętych kontenerów. W tym przypadku możliwy jest także

mechaniczny załadunek kontenera na platformę i rozładunek, czyli zsuniecie kontenera w pobliżu suszarni. Zastosowanie platform pozwala na sprawny zbiór, szybki transport z pola i ochronę liści przed oparzeniami słonecznymi. Dodatkową zaletą jest eliminacja wielogodzinnej pracy ludzi w pozycji pochylonej i uniknięcie noszenia liści przez zbierających. Niekiedy jednak wykorzystanie platform do zbioru jest utrudnione bądź niemożliwe. Ma to miejsce w sytuacji gdy na plantacji dojdzie do pochylenia lub wylegania roślin. Wymagane jest by rośliny przeznaczone do zbioru posiadały pionowy pokrój. Decydując się na wykorzystanie platformy do zbioru liści należy także uwzględnić znacznie większe niż przy zbiorze ręcznym zapotrzebowanie na drogi przejazdowe wzdłuż pola i miejsca na nawroty maszyn rolniczych. Wskazane są także odpowiednie wymiary plantacji i układ pola.

Suszenie tytoniu

Kolejnym etapem produkcji tytoniu jest suszenie liści. Jest to dość długi i skomplikowany proces obejmujący odprowadzenie wody i zmianę koloru liści. Podczas suszenia zachodzi szereg procesów biochemicznych, w wyniku których notuje się spadek zawartości węglowodanów i związków aromatycznych w liściach, znaczny rozkład związków białkowych oraz wzrost ilości związków azotowych rozpuszczalnych w wodzie (4). W zależności od typu użytkowego tytoniu stosuje się odpowiedni sposób suszenia. Do suszenia tytoniu typu *Virginia* wykorzystuje się tradycyjne suszarnie ogniowo-rurowe. Są to nierzadko stare konstrukcje o słabej izolacji termicznej co sprzyja znacznym stratom cieplnym i zwiększonemu zużyciu opału. Mankamentem tego typu suszarni jest mała wydajność, potrzeba pracochłonnego nawleknięcia liści na druty przed umieszczeniem w suszarni oraz konieczność częstego załadunku pieca. Dodatkową wadą są problemy z utrzymaniem pożądanej temperatury oraz wilgotności powietrza i wynikający z tego spadek jakości surowca.

Znaczna część plantatorów uprawiających tytoń *Virginia* wyposażyła swoje gospodarstwa w suszarnie kontenerowe na olej opałowy. Są to zautomatyzowane, wyposażone w sterownik wilgotności i temperatury, urządzenia pozwalające na skrócenie czasu pracy rolnika, a ponadto umożliwiające wysuszenie dużych partii liści w ściśle kontrolowanych warunkach co sprzyja uzyskaniu surowca doskonałej jakości. Ich dużą zaletą jest także zastosowanie wieszaków igłowych umożliwiających sprawny załadunek liści i rozładunek surowca, a przez to wydatne zmniejszenie związanych z tym nakładów pracy. Tego typu modernizacja bazy suszarniczej w polskim gospodarstwie to jednak pokazywany wydatek.

Zajmujący drugą pozycję pod względem powierzchni uprawy (26%) tytoń *Burley* suszy się w suszarni powietrznej, bądź tunelowej bez dodatkowego ogrzewania. Proces suszenia trwa długo (2-2,5 miesiąca) i odbywa się w wiatach posiadających drewnianą konstrukcję szkieletową i pokrycie wykonane z folii bądź juty (18). Opuszczane i podnoszone ściany boczne wiaty umożliwiają względną kontrolę wilgotności i temperatury w suszarni. Jakość surowca suszonego powietrznie w dużym stopniu

zależy od warunków klimatycznych. Niekiedy zachodzi konieczność wykorzystania suszarni ogniowo-rurowej w celu dosuszenia nerwu liściowego. Ten sposób suszenia tytoniu wymaga uprzedniego ręcznego, bardzo pracochłonnego nawlekania liści na druty, a następnie ich zawieszenia pod wiatrą. Dobrym sposobem usprawnienia pracy i redukcji roboczogodzin jest wykorzystanie zszywarek do liści. Umożliwiają one sprawne wiązanie liści (za pomocą sznurka) i przygotowanie do suszenia. Suszenie tytoniu ciemnego odbywa się początkowo tj. 7-10 dni na powietrzu, a następnie przez około 1 tydzień w suszarni, w której dym ze spalonego drewna przepływa swobodnie przez suszone liście nadając im specyficzny zapach wędzenia.

Analiza finansowa i możliwości redukcji kosztów zbioru i obróbki liści tytoniu

Według wyliczeń IUNG-PIB aktualne koszty zbioru i obróbki liści tytoniu wyniosły od 2712,3 do 6034,4 zł i stanowiły w zależności od typu użytkowego tytoniu od 26,3 do 44,7 % ogólnych kosztów uprawy. Najbardziej kosztochłonne były zbiór i obróbka tytoniu jasnego *Virginia*. Najmniejsze nakłady finansowe poniesiono na zerwanie i przygotowanie do suszenia liści tytoniu typu *Burley* (tab. 13).

Tabela 13

Koszty zbioru liści z 1 ha tytoniu.

Typ tytoniu/	Koszty zbioru i obróbki liści tytoniu	Koszty ogółem/ha	Udział kosztów zbioru i obróbki liści w kosztach ogólnych (%)
Jasny - <i>Virginia</i>	6034	13488	44,7
Jasny - <i>Burley</i>	2712	10298	26,3
Ciemny ¹	3455	11041	31,3
Ciemny ²	3149	10735	29,3

¹ - tytoń papierosowy ciemny nawlekany na drut przed wysuszeniem , ² - tytoń papierosowy ciemny zszywany sznurkiem przed suszeniem

Źródło: opracowanie własne

Głównym składnikiem kosztów tego etapu produkcji były nakłady pracy związane ze zbiorem ręcznym liści i ich przygotowaniem do suszenia. Najwięcej zaangażowania (1135,5 roboczogodzin/ha) wymagały zbiory i nawlekanie na drut liści tytoniu ciemnego (tab. 14). Najmniej (937,5) zbiory i obróbka tytoniu typu *Virginia*. W przypadku tego ostatniego typu znaczący udział w kosztach 57,0% miały wydatki na materiały tj. olej opałowy stanowiący źródło energii do wysuszenia liści. Koszty pracy maszyn były niezależne od typu użytkowego tytoniu (tab. 14).

Tabela 14

Nakłady ponoszone na zbiór i obróbkę liści z 1 ha tytoniu.

Typ tytoniu	rbh	cnh	Koszty materiałów (zł)	Koszty maszyn (zł)	Koszty ogółem zbioru i obróbki (zł)
Jasny - <i>Virginia</i>	937,5	42,5	3 4389	2 596	6034
Jasny - <i>Burley</i>	1012,5	42,5	116	2 596	2712
Ciemny ¹	1135,5	42,5	860	2 596	3455
Ciemny ²	1025,5	42,5	553	2 596	3149

¹ - tytoń papierosowy ciemny nawlekany na drut przed wysuszeniem , ² - tytoń papierosowy ciemny zszywany sznurkiem przed suszeniem

Źródło: opracowanie własne

Na etapie zbioru znaczne możliwości ograniczenia kosztów, a przede wszystkim robocizny stwarza wykorzystanie platform transportujących. Z doniesień plantatorów wynika, że użycie platformy pozwala na doskonałą organizację pracy przez co wydajność jest niemal dwukrotnie większa niż w przypadku tradycyjnego zbioru ręcznego. Na zbiór liści z zastosowaniem platformy i załadunek suszarni o pojemności 150 wieszaków potrzeba 6 ciągniko- i 42 roboczogodziny, podczas gdy zastosowanie tradycyjnej formy zbioru, transportu i załadunku liści wymaga 6 ciągniko- i 72 roboczogodzin. Warto polecać korzystanie z platform transportujących, gdyż oprócz redukcji kosztów, urządzenia te przyczyniają się do poprawy jakości surowca tytoniowego, ale przede wszystkim wydatnie poprawiają komfort pracy rolników.

Na etapie suszenia liści tytoniu również istnieje kilka możliwości redukcji kosztów. Proponowanym rozwiązaniem w przypadku korzystania z suszarni tradycyjnych jest ocieplenie ścian budynku oraz dostosowanie pomieszczenia do suszenia w zwartej masie poprzez zastosowanie wieszaków igłowych oraz wentylatorów wymuszających obieg powietrza w komorze suszarniczej. Rozwiązania te przyczynią się do zwiększenia wydajności suszarni, ograniczenia nakładu pracy i zużytego opału. Jak podaje Stasiak (17) wprowadzenie wymuszonego obiegu powietrza w suszarni tradycyjnej umożliwiło podniesienie sprawności ze 150 do 600 kg s.m./załadunek. Natomiast zastosowanie wieszaków igłowych do przygotowania i suszenia liści zmniejszyło wydatnie liczbę roboczogodzin (z 1300 do 230 rbh/ha). Do ograniczenia wydatków związanych z właściwym przygotowaniem surowca jak również redukcji liczby roboczogodzin przyczynia się także wyposażenie tradycyjnej suszarni w nowoczesny, automatyczny piec.

Godnym polecenia sposobem redukcji kosztów suszenia w gospodarstwach wyposażonych w suszarnie kontenerowe może być modyfikacja pieca grzewczego olejowego i wyposażenie go w dodatkowe palenisko na paliwa stałe np.: drewno. Jak wykazały badania Stasiaka (17) nowoczesna suszarnia kontenerowa tytoniu zużywa ok. 500 l oleju opałowego na wysuszenie 1 tony surowca co generuje wydatki rzędu 1500 zł. Zastosowanie podgrzewaczy dwupaliwowych tj. na olej opałowy i drewno sosnowe pozwoliło na obniżenie kosztów suszenia do 430 zł/tonę surowca. Instalowanie dodatkowych palenisk na paliwa stałe jest szczególnie istotne w obecnej sytuacji rosnących cen paliw płynnych. Umożliwia bowiem wykorzystanie stosunkowo tanich i łatwo dostępnych dla rolnika paliw stałych w postaci zrębków, trocin czy wyschniętych łodyg tytoniu. W celu zobrazowania możliwości ograniczenia nakładów ponoszonych na suszenie w tabeli 15 przedstawiono koszty dosuszania tytoniu papierosowego ciemnego typu Skroniowski Mocny w zależności od rodzaju zastosowanego paliwa.

Tabela 15

Koszty dosuszania liści tytoniu ciemnego z 1 ha w zależności od rodzaju zastosowanego paliwa.

Rodzaj paliwa	Koszty suszenia liści (zł)	Koszty zbioru i obróbki liści ogółem (zł)
Węgiel	430	3149
Ekogroszek	437	3156
Słoma	146	2865
Zrębki	219	2938
Pelety	528	3247
Drewno zakupione	127	2846
Drewno własne	0	2719

Źródło: opracowanie własne

W przypadku suszonych powietrznie tytoni typu *Burley* możliwości mechanizacji procesu suszenia i redukcji kosztów na tym etapie są mocno ograniczone. Jedynym z proponowanych rozwiązań jest wyposażenie suszarni w wilgotnościomierze umożliwiające prawidłowe sterowanie procesem otwierania i zamykania wiaty.

Duże szanse ograniczenia kosztów produkcji roślinnej w tym także tytoniu stwarza uprawa w gospodarstwach wielkotowarowych. Nakłady pieniężne w gospodarstwach wielkotowarowych w przeliczeniu na jednostkę powierzchni są dużo mniejsze niż w gospodarstwach małych czy przeciętnych. W przypadku tytoniu zagadnienie to jednak nie było dotychczas badane, zatem brak możliwości potwierdzenia tej tezy z wykorzystaniem danych źródłowych. Można przypuszczać, że zwiększenie powierzchni plantacji tytoniowych pozwoli w pewnym stopniu na redukcję kosztów ponoszonych na zbiór i suszenie liści oraz nakładów na pracę ludzką. Należy jednak mieć na uwadze, że stosowanie technologii wielkotowarowej w uprawie tytoniu wymaga dużych nakładów finansowych związanych z zakupem lub dzierżawą gruntu oraz modernizacją sprzętu i maszyn rolniczych. Duże znaczenie w rozwoju uprawy na szeroką skalę ma dostępność ziemi i możliwość scalania gruntów, a także dostępność i koszt kredytów zarówno tych krótkoterminowych na coroczny zakup środków produkcji jak również długoterminowych na nabycie gruntów oraz modernizację parku maszynowego w gospodarstwie.

Podsumowanie

Produkcja surowca tytoniowego w Polsce wykazuje wyraźną tendencję spadkową w ostatnim dziesięcioleciu. Dalsze losy branży tytoniowej w Polsce będą zależały przede wszystkim od regulacji prawnych przyjętych w EU, regulacji wewnątrz krajowych oraz od zachowania firm skupujących i przetwarzających tytoń. Mała powierzchnia gospodarstw zajmujących się uprawą tytoniu, niska opłacalność produkcji, dodatkowo nieustabilizowana sytuacja w sektorze tytoniowym zniechęca plantatorów do inwestowania w nowoczesny sprzęt rolniczy. Analizując strukturę nakładów finansowych ponoszonych na produkcję surowca tytoniowego stwierdzono, że dla tytoni *Burley* i tytoni ciemnych największy udział stanowią koszty założenia i prowadzenia plantacji (od 52,9 do 49,4% ogólnych kosztów). Natomiast w przypadku

typu użytkowego *Virginia* dominującą część kosztów generują zbiory i obróbka liści (44,7% ogólnych kosztów). Najmniejsze wydatki ponoszone są na przygotowanie rozsady tytoniu (od 15,8 do 20,7%). Podstawowymi składnikami kosztów założenia i prowadzenia plantacji były nawozy i środki ochrony roślin. Wydaje się, że największe możliwości redukcji kosztów na tym etapie stwarza zdobywająca coraz większą popularność metoda precyzyjnego dawkowania nawozu oparta na zwartym systemie wykorzystującym dane cyfrowe prób glebowych oraz dane z modułów GPS. Technika ta pozwala na istotne zredukowanie zużycia nawozów na hektar. Nowoczesne rozsiewacze nawozów to jednak bardzo drogie urządzenia znajdujące zastosowanie wyłącznie w gospodarstwach wielkotowarowych. W uprawkach wiosennych pewną oszczędność może dać kompleksowe wykonywanie prac z wykorzystaniem agregatów uprawowych. Dla ograniczenia nakładów finansowych istotne znaczenie będzie miało upowszechnianie technologii produkcji rozsady obejmującej podkiełkowanie nasion i wysiew w mnożarkach, a następnie pikowanie roślin do tac wielokomórkowych. Za jej wykorzystaniem przemawia łatwość zastosowania w gospodarstwie bez konieczności inwestycji w infrastrukturę przy jednoczesnej znaczącej obniżce zapotrzebowania na energię cieplną w początkowym okresie produkcji rozsady. Należy jednak uwzględnić nakład pracy na pikowanie dużej liczby siewek. Ważną rolę w obniżaniu nakładów finansowych na produkcję tytoniu, na etapie zbiorów liści, odgrywać będzie powszechne stosowanie platform transportujących umożliwiających sprawny zbiór liści, wygodny transport z pola i szybki załadunek. Istnieją również szanse ograniczenia nakładów finansowych poprzez wprowadzenie innowacyjnych rozwiązań zmniejszających nakłady energii na suszenie liści. W przypadku tytoniu typu *Virginia* i tytoniu ciemnego szczególnego znaczenia nabiera zastosowanie energooszczędnych suszarni wyposażonych w zmodernizowane piece dwupaliwowe. Wdrażaniu nowych rozwiązań technologicznych w uprawie tytoniu powinno towarzyszyć wyhodowanie i wprowadzanie do uprawy odmian odpornych na brązową plamistość pomidora na tytoniu i mozaikę tytoniu. Rozpowszechnienie w uprawie odmian odpornych na wymienione choroby pozwoliłoby na eliminację lub istotne ograniczenie pokaźnych nakładów ponoszonych corocznie na ochronę chemiczną plantacji.

Literatura

1. B e r b e ć A.: Agrotechnika mieszańcowych odmian tytoniu *Virginia*. Wydawnictwo IUNG-PIB, Puławy, 2011.
2. B e r b e ć A., M a d e j A.: Obecna sytuacja i perspektywy uprawy tytoniu w Polsce na tle świata i Unii Europejskiej, w Rola badań naukowych w kształtowaniu postępu w produkcji chmielu i tytoniu. Studia i Raporty IUNG-PIB., 2012, **31(5)**: 51-67.
3. B e r b e ć A.: Możliwości wprowadzenia uprawy bezorkowej i stosowania roślin okrywowych w uprawie tytoniu w Polsce. Przegląd Tytoniowy, 2015, **I**: 4-6.
4. D o r o s z e w s k a T., B e r b e ć A.: Metodyka integrowanej ochrony tytoniu. Wydawnictwo IUNG-PIB, ISBN 978-83-7562-196-9, Puławy, 2015.
5. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/40/UE z dnia 3 kwietnia 2014 r. w sprawie zbliżenia przepisów ustawowych, wykonawczych i administracyjnych państw członkowskich w sprawie produkcji, prezentowania i sprzedaży wyrobów tytoniowych i powiązanych wyrobów oraz uchylająca dyrektywę 2001/37/WE (Dz.U. UE L z dnia 29 kwietnia 2014 r.).

6. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Crops. Tobacco unmanufactured. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
 7. H a r a s i m A.: Gospodarowanie słomą. IUNG-PIB, Puławy, 2011: ss. 77.
 8. http://tunele-foliowe.pl/produkty/folie_ogrodnicze
 9. <https://www.e-petrol.pl/wiedza-i-porady/lpg/wlasciwosci-i-przeliczanie>
 10. <https://www.orlen.pl/PL/DlaBiznesu/Paliwa/OlejeOpalowe/Strony/OlejGrzewczyEkotermPlus.aspx>
 11. <https://www.pelet.com.pl/pl/kotlownia-na-biomase-cz-3-zrebka-do-zrebki.html>
 12. <http://www.instalacjebudowlane.pl/5173-33-68-biomasa--cena-wartosc-opalowa-rodzaje.html#nowhere>
 13. K l o c T. K u r p a s k a S.: Energochłonność i efektywność bezpośredniego ogrzewania gleby w szklarni. Zeszyty naukowe AR Kraków, 1988, 6: 53-62.
 14. L a s k o w s k a D., D o r o s z e w s k a T.: Uprawa tytoniu w Polsce – aktualne uwarunkowania agronomiczne i organizacyjno-ekonomiczne, w Wybrane problemy produkcji rolniczej z uwzględnieniem aspektu dóbr publicznych. Studia i Raporty IUNG-PIB., 2015, 43(17): 43-63.
 15. M u z a l e w s k i A.: Koszty eksploatacji maszyn. IBMER, Warszawa, 2004: 43.
 16. Rynek wyrobów tytoniowych stan i perspektywy. Praca zbiorowa pod red. M. B o d y ł. Krajowa produkcja tytoniu i wyrobów tytoniowych. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej-Państwowy Instytut Badawczy, Agencja Rynku Rolnego, MRiRW, Czerwiec 2017.
 17. S t a s i a k M. Efektywność zmian w systemie grzewczym suszarni tytoniu. Przegląd Tytoniowy, 2007, 2: 14-16.
 18. Universal Leaf Tobacco Poland. Powietrzne suszenie tytoniu typu Burley. Przegląd Tytoniowy, 2003, 2: 5-7.
 19. Universal Leaf Tobacco Poland. Produkcja rozsady, dbałość o szczegóły – kluczem do sukcesu. Przegląd Tytoniowy, 2005, 4: 2-5.
 20. Universal Leaf Tobacco Poland. Produkcja rozsady tytoniu metodą hydroponiczną. Przegląd Tytoniowy, 2017, 4: 2-4.
 21. W a n d r a s z J. W., W a n d r a s z A. J.: Paliwa formowane. Biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach termicznych. „Seidel-Przywecki” Sp. z o.o., Warszawa, 2006: ss. 466.
 22. Z a l e w s k i A.: Rynek środków produkcji dla rolnictwa. W: Rynek Rolny. Analizy Tendencje Oceny. red. C h r y s z k o K.: IERiGŻ-PIB, Warszawa, 2017, 9-12; 2018, 1-2.
-

Adres do korespondencji:

dr Anna Trojak-Goluch
Zakład Hodowli i Biotechnologii Roślin
IUNG-PIB
ul. Krańcowa 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 933
e-mail: anngol@iung.pulawy.pl

W serii wydawniczej „RAPORTY PIB”, a od 2007 r. „STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB” ukazały się następujące pozycje:

1. *Wybrane aspekty agrochemicznych badań gleby*. Puławy, 2006.
2. *Zasady wprowadzania nawozów do obrotu*. Puławy, 2006.
3. *Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2006.
4. *Monitoring skutków środowiskowych planu rozwoju obszarów wiejskich*. Puławy, 2007.
5. *Sprawdzenie przydatności wskaźników do oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach i województwach*. Puławy, 2007.
6. *Możliwości rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2007.
7. *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych*. Puławy, 2007.
8. *Efektywne i bezpieczne metody regulacji zachwaszczenia, nawożenia i uprawy roli*. Puławy, 2007.
9. *Wybrane elementy technologii produkcji roślinnej*. Puławy, 2007.
10. *Problem erozji gleb w procesie przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2008.
11. *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*. Puławy, 2008.
12. *Wybrane zagadnienia systemów informacji przestrzennej i obszarów problemowych rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2008.
13. *Tworzenie postępu biologicznego w hodowli tytoniu i chmielu*. Puławy, 2008.
14. *Kierunki zmian w produkcji roślinnej w Polsce do roku 2020*. Puławy, 2009.
15. *Wybrane elementy regionalnego zróżnicowania rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2009.
16. *Systemy wspomagania decyzji w zrównoważonej produkcji roślinnej*. Puławy, 2009.
17. *Stan i kierunki zmian w produkcji rolniczej (wybrane zagadnienia)*. Puławy, 2009.
18. *Produkcyjne i środowiskowe aspekty współczesnych metod nawożenia i regulacji zachwaszczenia*. Puławy, 2009.
19. *Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu*. Puławy, 2010.
20. *Ocena zrównoważenia gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach, powiatach i województwach*. Puławy, 2010.
21. *Możliwości rozwoju obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w świetle PROW 2007–2013*. Puławy, 2010.
22. *Możliwości rozwoju gospodarstw o różnych kierunkach produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2010.
23. *Związki fitogeniczne jako naturalna alternatywa antybiotykowych promotorów wzrostu*. Puławy, 2010.
24. *Wybrane aspekty przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2010.
25. *Stan obecny i perspektywy nawożenia roślin w Polsce w aspekcie regulacji prawnych*. Puławy, 2010.
26. *Stan obecny i perspektywy rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2010.
- 27(1). *Środowiskowe skutki działalności rolniczej i wdrażania PROW na obszarach problemowych rolnictwa*. Puławy, 2011.

- 28(2). *Techniki i technologie stosowane w produkcji roślinnej a środowisko przyrodnicze*. Puławy, 2012.
- 29(3). *Problemy zrównoważonego gospodarowania w produkcji rolniczej*. Puławy, 2012.
- 30(4). *Doskonalenie integrowanych technologii produkcji zbóż jarych i roślin pastewnych ze szczególnym uwzględnieniem początkowych elementów agrotechniki*. Puławy, 2012.
- 31(5). *Rola badań naukowych w kształtowaniu postępu w produkcji chmielu i tytoniu*. Puławy, 2012.
- 32(6). *Wybrane aspekty zrównoważonego rozwoju i specjalizacji gospodarstw rolniczych*. Puławy, 2013
- 33(7). *Działalność Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-PIB w Puławach w zakresie wspierania doradztwa i praktyki rolniczej*. Puławy, 2013.
- 34(8). *Problemy gospodarki nawozowej w Polsce*. Puławy, 2013.
- 35(9). *Zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania gleb użytkowanych rolniczo – wybrane zagadnienia*. Puławy, 2013.
- 36(10). *Zmiany w technologiach produkcji roślinnej – oceny i wpływ na środowisko rolnicze*. Puławy, 2014.
- 37(11). *Dobre praktyki w nawożeniu*. Puławy, 2014.
- 38(12). *Jakość informacji w systemach wspomagania decyzji*. Puławy, 2014.
- 39(13). *Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii pochodzenia rolniczego i ich wpływ na środowisko*. Puławy, 2014.
- 40(14). *Wybrane problemy rolnictwa polskiego z uwzględnieniem stanu jego zrównoważenia*. Puławy, 2014.
- 41(15). *Technologie produkcji zbóż i roślin pastewnych warunkujące wysoki plon i dobrą jakość*. Puławy, 2014.
- 42(16). *Podstawy nowoczesnego doradztwa nawozowego w Polsce*. Puławy, 2015.
- 43(17). *Wybrane problemy produkcji rolniczej z uwzględnieniem aspektu dóbr publicznych*. Puławy, 2015.
- 44(18). *Wybrane zagadnienia produkcji roślinnej w Polsce*. Puławy, 2015.
- 45(19). *Kształtowanie żyzności gleby*. Puławy, 2015.
- 46(20). *Wybrane zagadnienia związane z ochroną gleb przed degradacją*. Puławy, 2015.
- 47(1). *Problemy produkcji rolniczej w Polsce w kontekście ich oddziaływania na środowisko*. Puławy, 2016.
- 48(2). *Innowacje w nawożeniu*. Puławy, 2016.
- 49(3). *Siedliskowe i agrotechniczne uwarunkowania produkcji roślinnej w Polsce*. Puławy, 2016.
- 50(4). *Technologie produkcji roślinnej w warunkach zmieniającego się klimatu*. Puławy, 2016.
- 51(5). *Krajowe bazy danych o glebach*. Puławy, 2017.
- 52(6). *Redukcja emisji gazów cieplarnianych i amoniaku oraz metody adaptacji do zmian klimatu (wybrane zagadnienia)*. Puławy, 2017.
- 53(7). *Nawożenie a środowisko*. Puławy, 2017.
- 54(8). *Jakość gleb użytkowanych rolniczo i wskaźniki jej oceny*. Puławy, 2017.
- 55(9). *Uwarunkowania i kierunki zmian produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2018.
- 56(10). *Aktualne problemy nawożenia*. Puławy, 2018.

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W serii wydawniczej „**STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB**” publikowane są recenzowane prace z zakresu agronomii oraz ochrony i kształtowania środowiska rolniczego, wykonane w ramach zadań programów wieloletnich pn. „Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej” (2005-2010) oraz „Wspieranie działań w zakresie kształtowania środowiska rolniczego i zrównoważonego rozwoju produkcji rolniczej w Polsce” (2011-2015). W zeszytach problemowych o charakterze monografii, wydawanych w ramach tej serii, mogą być zamieszczane również prace autorów spoza IUNG-PIB, które merytorycznie mieszczą się w tematyce zadań programu wieloletniego. **Publikowane są prace problemowe, głównie mające charakter przeglądowy, z podkreśleniem znaczenia omawianych zagadnień dla rolnictwa polskiego.**

Wydruk tekstu do recenzji:

czcionka 12 p., z odstępem 1,5-wierszowym.

Przygotowanie do druku:

- tekst i tabele w programie Word, wersja 6.0 lub wyższa
- czcionka – Times New Roman
- układ pracy: słowa kluczowe, wstęp, wyniki i dyskusja bądź omówienie wyników, podsumowanie lub wnioski, literatura

tekst

- czcionka – 11 p. (spis pozycji literatury – 9 p.)
- wcięcie akapitowe – 0,5 cm

tabele

- podział na wiersze i kolumny (z funkcji tworzenia tabel)
- szerokość dokładnie 13 cm (tabele w pionie) lub 19 cm (tabele w poziomie)
- czcionka 9 p., pojedyncze odstępy międzywierszowe
- pod tabelą przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

rysunki

- czarno-białe
- wykresy w programie Word lub Excel
- wymiary w zakresie 13 cm × 19 cm
- w podpisach czcionka 9 p.
- na płycie lub innym nośniku w oddzielnych plikach
- pod rysunkiem przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

jednostki miary

- system SI
- jednostki zapisywać potęgowo (np. t·ha⁻¹)

literatura

- spis literatury na końcu pracy w układzie alfabetycznym wg nazwisk autorów, w kolejności: nazwisko (pismo rozstrzelone), pierwsza litera imienia, tytuł pracy, miejsce publikacji: tytuł wydawnictwa (wg ogólnie przyjętych skrótów tytułów czasopism), rok, numer (pismo pogrubione), strony,
- cytowanie w tekście – jako numer pozycji ze spisu literatury (w nawiasach okrągłych) lub dodatkowo z nazwiskiem autora (pismo rozstrzelone).

Pracę do recenzji należy złożyć w 1 egzemplarzu. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany złożyć/przesłać do Redakcji, a ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, przesłać e-mailem.

Dane kontaktowe:

mgr Ewa Decka-Cywińska

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB

ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

e-mail: edecka@iung.pulawy.pl