

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 (sukulentny, 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 stresy 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)

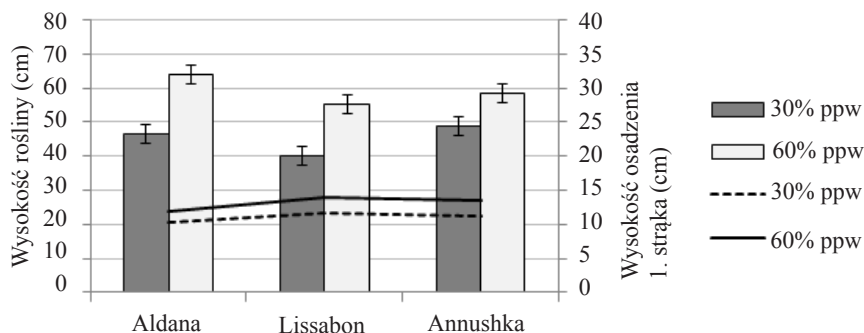
Zdaniem Jasińskiej i Koteckiego (19), w uprawie soi wyróżnia się trzy okresy krytyczne pod względem wymagań wilgotnościowych. Pierwszy okres przypada od siewu do pełni wschodów (ilość pobranej wody w okresie kiełkowania stanowi około 120% masy nasion), drugi – w fazie kwitnienia, a trzeci – w okresie 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 skielkowanych 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 abscysynowego 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., Sediyaama 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.aspx?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., Zając 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.pll