

Urszula Skomra

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

GLÓWNE KIERUNKI HODOWLI CHMIELU W POLSCE I NA ŚWIECIE*

Wstęp

Hodowla roślin jest podstawowym elementem postępu biologicznego w rolnictwie. Jej efektem jest wprowadzanie do uprawy nowych odmian roślin, które łączą w sobie wiele korzystnych cech wychodzących naprzeciw wymaganiom nowoczesnego rolnictwa, przetwórstwa i konsumentów. Podstawą hodowli jest dobór właściwych form rodzicielskich oraz selekcja uzyskanych genotypów odpowiednio do modelu odmiany, czyli zbioru właściwości jakimi powinna się ona wyróżniać.

W hodowli chmielu branych jest pod uwagę szereg cech morfologicznych oraz cech związanych z plennością i składem chemicznym surowca bądź też odpornością roślin na choroby i szkodniki. W ciągu ostatnich 50 lat materiał hodowlany chmielu oceniano na podstawie ponad 30 różnych kryteriów (18, 27). Ich znaczenie zmieniało się wraz ze zmianą podstawowych celów hodowli, które z kolei były modyfikowane przez takie czynniki, jak postęp technologiczny lub zagrożenie ze strony chorób i szkodników.

W pracy przedstawiono aktualne kierunki prac hodowlanych oraz postęp osiągnięty w procesie tworzenia nowych odmian chmielu w Polsce i na świecie.

Potencjał plonowania i zawartość alfa kwasów

Podstawowym kierunkiem hodowli roślin rolniczych, w tym również chmielu, jest wysoka plenność, która decyduje o opłacalności produkcji. W ciągu ostatnich kilkunastu lat potencjał plonowania odmian chmielu znacznie wzrósł. Tradycyjne odmiany aromatyczne, takie jak niemiecka Hallertauer Mittelfrüh, angielska Fuggle i czeska Żatecki osiągały plon szyszek w granicach 800-1500 kg · ha⁻¹. Nowe aromatyczne odmiany niemieckie, tj. Opal i Smaragd, wprowadzone do uprawy po 2000 r., dają plon szyszek przekraczający 1800 kg · ha⁻¹ (39). Natomiast plonem w granicach 2000-2600 kg · ha⁻¹ charakteryzuje się zarejestrowana w 2004 r. czeska odmiana Harmonie (1). Podobny postęp obserwuje się w grupie odmian goryczkowych. Wyho-

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.7 w programie wieloletnim IUNG - PIB

dowana w Anglii w 1944 r. odmiana goryczkowa Northern Brewer, ciesząca się dużą popularnością na całym świecie, dawała około 1600 kg szyszek z ha plantacji, podczas gdy najnowsze odmiany goryczkowe, takie jak niemiecka Herkules i czeska Rubin osiągają plon nawet powyżej 2500 kg · ha⁻¹ (1, 37). Jeszcze wyższym potencjałem plonowania, dochodzącym do 3000 kg · ha⁻¹, charakteryzują się nowe odmiany amerykańskie, takie jak Zeus i Columbus (16).

Dla przemysłu piwowarskiego, który jest głównym odbiorcą surowca chmielowego, najważniejszym składnikiem szyszek są alfa kwasy. To one nadają piwu specyficzną goryczkę. Duża zawartość alfa kwasów jest więc podstawową cechą braną pod uwagę w hodowli nowych odmian chmielu, zwłaszcza goryczkowych. Pierwsze odmiany tego typu, jak angielskie Brewers Gold i Northern Brewer oraz amerykańska Cluster osiągały koncentrację alfa kwasów w granicach 5,5 do 10%. W nowych odmianach, takich jak niemiecka Herkules i czeska Rubin zawartość tego składnika osiąga odpowiednio 12-17% (37) i 9-12% (1). W szyszkach nowej amerykańskiej odmiany Summit (2007 r.) zawartość alfa kwasów dochodzi nawet do 19% (14). Względy ekonomiczne spowodowały, że podwyższona zawartość alfa kwasów jest ważną cechą również w przypadku odmian aromatycznych, mimo że dla tego typu odmian największe znaczenie ma szlachetny, chmielowy aromat. Nowoczesne odmiany aromatyczne, takie jak niemiecka Opal bądź czeska Harmonie zawierają 5-8% alfa kwasów (1, 39), a więc blisko dwukrotnie więcej niż starsze odmiany, np. Zatecki (2,5-4%), Hallertauer Mittelfrüh (3-5%) i Fuggle (4-5,5%).

Postęp w zakresie wzrostu potencjału plonowania i koncentracji alfa kwasów można prześledzić na podstawie wyników doświadczeń prowadzonych przez Krajową Komisję Oceny Odmian w latach 1959–1963 (19), a następnie Centralny Ośrodek Badań Odmian Roślin Użytkowych (COBORU) w latach: 1976–1979, 1982–1985, 1991–1994 (21) i 2000–2004 (22). Ważnym elementem oceny postępu jest ustalenie wzorca, od którego należy mierzyć wahania plonów lub koncentracji alfa kwasów. Zadanie wzorca w przypadku odmian aromatycznych najlepiej spełnia odmiana Lubelski, badana we wszystkich seriach doświadczeń porównawczych. Dla odmian goryczkowych za wzorzec przyjęto odmianę Marynka. Różnice w plonie i zawartości alfa kwasów między odmianą wzorcową a pozostałymi wynikają wyłącznie z postępu hodowlanego, gdyż wpływ pozostałych czynników jest taki sam dla wszystkich odmian.

Prace hodowlane nad chmielom po II wojnie światowej zaowocowały wprowadzeniem do rejestru w 1964 r. odmian Lubelski i Nadwiślański (41). Obie odmiany okazały się lepsze pod względem plonowania, jak i koncentracji alfa kwasów od uprawianych dotychczas populacji chmielu pochodzenia krajowego i zagranicznego – głównie czeskiego (tzw. populacja czeska). Szczególnie wyróżniała się odmiana Lubelski, której plon szyszek 1900 kg · ha⁻¹ był o 25% większy od plonu populacji czeskiej (tab. 1). Po drugiej serii doświadczeń odmianowych (lata 1976–1979) wprowadzono do rejestru dwie nowe odmiany aromatyczne: Estera i Tomyski, których plon przewyższał wzorzec odpowiednio o 17,3% i 19,1%, co przy większej koncentracji alfa kwasów dawało wyższy plon tego składnika z jednostki powierzchni. Na szczególną uwagę

zasługują odmiany Lomik i Sybilla, których plon w badaniach COBORU przekroczył 2000 kg · ha⁻¹. Odmiany te pod względem potencjału plonowania dorównują nowoczesnym odmianom aromatycznym wprowadzonym w ostatnim czasie do uprawy w Niemczech i Republice Czeskiej (1, 39). Postęp osiągnięty w okresie powojennym w hodowli odmian aromatycznych najlepiej charakteryzuje plon alfa kwasów z ha, który jest wypadkową plonu szyszek i procentowej zawartości alfa kwasów. W przypadku populacji czeskiej średni plon alfa kwasów wynosił 86,4 kg · ha⁻¹ i był o 39,4% mniejszy w porównaniu z odmianą Lubelski, podczas gdy dla odmiany Sybilla kształtował się na poziomie 154,6 kg · ha⁻¹ i był ponad dwukrotnie większy od wzorca (tab. 1).

Cechą charakterystyczną odmian goryczkowych jest wyższy w porównaniu z aromatycznymi potencjał plonowania i większa zawartość alfa kwasów. Pierwszymi polskimi odmianami tego typu były Marynka i Izabella, wprowadzone do uprawy w 1988 r. (41). Nowe odmiany goryczkowe przewyższały dotychczas uprawianą angielską odmianę Northern Brewer zarówno pod względem plonu szyszek, jak i alfa kwasów z jednostki powierzchni (tab. 2). Szczególnie dużym zainteresowaniem przemysłu piwowarskiego i plantatorów cieszyła się odmiana Marynka. Przez blisko 20 lat od momentu wprowadzenia do uprawy jej areal systematycznie wzrastał i obecnie jest to najpopularniejsza odmiana chmielu uprawiana w Polsce. Grupa odmian goryczkowych wprowadzona do uprawy pod koniec lat 90. (Oktawia, Zbyszko) charakteryzowała się nieco niższymi wskaźnikami plenności, ale najnowsze odmiany goryczkowe wprowadzone do uprawy w 2004 r. są lepsze od Marynki zarówno pod względem plonowania, jak i koncentracji alfa kwasów. Szczególnie duży postęp wniosła odmiana Iunga, z której można uzyskać nawet o 50% wyższy plon alfa kwasów w porównaniu z odmianą wzorcową (tab. 2).

Tabela 1

Plony szyszek, zawartość alfa kwasów i ich plon w aromatycznych odmianach chmielu wprowadzonych do uprawy w Polsce po II wojnie światowej

| Lata badań | Odmiana | Plon szyszek | | Zawartość alfa kwasów | | Plon alfa kwasów | |
|------------|------------------|--------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|
| | | (kg · ha ⁻¹) | liczby względne | % | liczby względne | (kg · ha ⁻¹) | liczby względne |
| 1959–1963 | Lubelski | 1900 | 100,0 | 7,5 | 100,0 | 142,5 | 100,0 |
| | Populacja czeska | 1416 | 74,5 | 6,1 | 81,0 | 86,4 | 60,6 |
| | Nadwiślański | 1645 | 86,6 | 6,3 | 84,0 | 103,6 | 72,7 |
| 1976–1979 | Lubelski | 1620 | 100,0 | 5,0 | 100,0 | 81,0 | 100,0 |
| | Estera | 1900 | 117,3 | 5,4 | 108,0 | 102,6 | 126,7 |
| | Tomyski | 1930 | 119,1 | 6,0 | 120,0 | 115,8 | 143,0 |
| 1982–1985 | Lubelski | 1840 | 100,0 | 4,3 | 100,0 | 79,1 | 100,0 |
| | Lomik | 2380 | 129,3 | 6,1 | 141,9 | 145,2 | 183,6 |
| 1991–1994 | Lubelski | 1770 | 100,0 | 4,3 | 100,0 | 76,1 | 100,0 |
| | Limbus* | 1980 | 111,9 | 5,9 | 137,2 | 116,8 | 153,5 |
| | Sybilla | 2240 | 126,6 | 6,9 | 160,5 | 154,6 | 203,2 |

* odmiana karłowa

Źródło: Klaudel J. i in., 1965 (19), Lewandowski A., 2003 (21)

Tabela 2

Plony szyszek, zawartość alfa kwasów i ich plon w goryczkowych odmianach chmielu wprowadzonych do uprawy po II wojnie światowej

| Lata badań | Odmiana | Plon szyszek | | Zawartość alfa kwasów | | Plon alfa kwasów | |
|------------|-----------------|--------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|
| | | (kg · ha ⁻¹) | liczby względne | % | liczby względne | (kg · ha ⁻¹) | liczby względne |
| 1982–1985 | Marynka | 2310 | 100,0 | 10,2 | 100,0 | 235,6 | 100,0 |
| | Izabella | 2780 | 120,4 | 9,3 | 91,2 | 258,5 | 109,7 |
| | Northern Brewer | 2070 | 89,6 | 9,4 | 92,2 | 194,6 | 82,6 |
| 1991–1994 | Marynka | 2220 | 100,0 | 10,4 | 100,0 | 230,9 | 100,0 |
| | Oktawia | 2240 | 100,9 | 8,8 | 84,6 | 197,1 | 85,4 |
| | Zbyszko* | 1610 | 72,5 | 7,9 | 76,0 | 127,2 | 72,4 |
| 2003–2004 | Marynka | 2580 | 100,0 | 10,2 | 100,0 | 263,2 | 100,0 |
| | lunga | 2940 | 114,0 | 13,2 | 129,4 | 388,1 | 147,5 |
| | Zula | 2630 | 101,9 | 11,0 | 107,8 | 289,3 | 109,9 |

* odmiana karłowa

Źródło: Lewandowski A., 2003; Lewandowski A., 2005(21, 22)

Należy podkreślić, że w rozpatrywanym okresie wzrost plonu szyszek był znacznie mniejszy niż wzrost koncentracji alfa kwasów, w obu grupach odmian. Plon szyszek najlepszej pod tym względem lungi był około dwukrotnie większy niż odmiany Lubelski, podczas gdy koncentracja alfa kwasów była trzykrotnie większa. Wydaje się więc, że osiągnięcie postępu hodowlanego w zakresie koncentracji alfa kwasów jest łatwiejsze niż uzyskiwanie odmian o wysokim potencjale plonowania. Potwierdzają to wyniki badań *M i l c z a k a i S e g i t a* (26).

Chmiel karłowy

Wzrost potencjału plonowania i koncentracji alfa kwasów w szyszkach nie jest jedynym sposobem poprawy opłacalności uprawy chmielu. Podobny efekt ekonomiczny można uzyskać obniżając koszty produkcji. W tym zakresie największy postęp uzyskano przez wprowadzenie nowej technologii uprawy chmielu na niskich konstrukcjach szpalerowych o wysokości 2,5-3,0 m. Konstrukcja niskoszpalerowa jest tańsza i łatwiejsza do ustawienia od tradycyjnej wysokiej 6-7 m. Zbiór szyszek odbywa się bezpośrednio na plantacji, przy użyciu samobieżnego kombajnu; nie wymaga więc pracochłonnego transportowania całych roślin do stacjonarnej maszyny do zbioru, co ma miejsce w technologii tradycyjnej. Poza tym, zastosowany w technologii niskoszpalerowej opryskiwacz tunelowy zużywa mniej cieczy roboczej, co zmniejsza koszty ochrony i ogranicza zanieczyszczenie środowiska. W konsekwencji pozwala to na zmniejszenie kosztów produkcji o 45% (7). Niestety tradycyjne odmiany wysokorosnące nie nadają się do uprawy na niskich konstrukcjach, dają bowiem zdecydowanie mniejszy plon. Rozwiązaniem są odmiany karłowe o krótkich międzywęzłach, zawią-

zujące szyszki od dołu rośliny. Hodowlę tego typu odmian rozpoczęto w Anglii w 1977 r. W 1996 r. wprowadzono do uprawy odmiany First Gold, Herald i Pioneer, których plon stanowił blisko 80% przeciętnego plonu uzyskiwanego z konstrukcji wysokich (7). Prace nad chmielem karłowym w Anglii są kontynuowane. Ostatnio zarejestrowane odmiany Pilot i Boadicea dają plon porównywalny z odmianami tradycyjnymi. Obecnie chmiel niskoszpalerowy zajmuje około 24% arealu chmielu w Anglii (9) oraz na mniejszą skalę jest uprawiany w Belgii, Bułgarii, Chinach i Czechach. Prace nad odmianami chmielu przystosowanymi do uprawy na niskich konstrukcjach prowadzone są również w USA, gdzie w 2007 r. wprowadzono półkarłowatą odmianę Summit (14).

Prace nad odmianami karłowymi prowadzone były również w Polsce. Zaowocowały one zarejestrowaniem w 1996 r. dwóch odmian tego typu: Zbyszko i Limbus (41). Niestety technologia uprawy chmielu na konstrukcji szpalerowej nie znalazła w naszym kraju zwolenników, przede wszystkim ze względu na wysokie nakłady niezbędne do jej wprowadzenia, dlatego ten kierunek hodowli nie jest obecnie w Polsce kontynuowany.

Odporność na choroby i szkodniki

Dużą część kosztów produkcji stanowią nakłady na ochronę roślin chmielu przed chorobami i szkodnikami. Szacuje się, że koszt ochrony plantacji przed mączniakiem prawdziwym w Niemczech w latach 1998–2003 wahał się od 180 do 350 euro na ha (12). Stosowanie chemicznych środków ochrony roślin wywiera też negatywny wpływ na środowisko. Wprowadzenie zagrożenie dla środowiska może być zmniejszone przez wprowadzenie technologii niskoszpalerowej lub zastosowanie biologicznych metod ochrony, jednak preparaty biologiczne są zazwyczaj droższe od chemicznych, a ich skuteczność, szczególnie w warunkach polowych, bywa zawodna. Rozwiązaniem jest uprawa odmian odpornych lub mniej podatnych na choroby i szkodniki. Dlatego dążenie do uzyskania takich odmian jest od wielu lat bardzo ważnym kierunkiem w hodowli chmielu.

Pierwszą chorobą, która w poważnym stopniu zagroziła plantacjom chmielu był mączniak rzekomy. Choroba ta została wykryta w Japonii w 1905 r., ale już w latach 20. ubiegłego wieku rozprzestrzeniła się w Europie, a następnie w USA, powodując poważne straty (33). Prace nad uzyskaniem odmian odpornych zapoczątkowano w Niemczech w 1926 r. Zaowocowały one wprowadzeniem do uprawy w 1962 r. odmian Hüller Anfang i Hüller Start, które wymagały zastosowania w ciągu sezonu wegetacyjnego jedynie 1-2 zabiegów ochronnych, co w porównaniu z 15-20 zabiegami stosowanymi w przypadku odmian wrażliwych było bardzo dużym postępem (34). W latach 50. hodowlę odmian chmielu odpornych na mączniaka rzekomego rozpoczęto w Anglii i USA, a pod koniec lat 60. również w Polsce (13). Prace te zaowocowały wprowadzeniem do uprawy odmian chmielu o mniejszej podatności na tę chorobę, takich jak: angielskie – Wye Northdown i Wye Challenger, amerykańskie – Cascade, Columbia i Willamette oraz polska odmiana Oktawia. Odporność chmielu na mączniak-

ka rzekomego ma charakter poligeniczny (8). Nie jest znana odporność całkowita, a jedynie mniejsza podatność poszczególnych odmian, a nawet części rośliny chmielu (34). Wspomniana już odmiana Willamette jest średnio podatna na porażenie karpy, natomiast w znacznym stopniu odporna na porażenie szyszek. Hodowla chmielu pod kątem odporności na mączniaka rzekomego jest nadal kontynuowana. Opracowano procedury oceny odporności roślin, które pozwalają na skuteczną selekcję perspektywicznych genotypów w szklarni, a następnie w warunkach polowych (8, 13, 31). Trwają prace nad wdrożeniem nowoczesnych technik molekularnych do oceny materiału hodowlanego, co pozwoli na jego weryfikację pod kątem występowania odpowiednich genów warunkujących odporność (29).

Jednym z poważniejszych problemów na plantacjach chmielu było wędnięcie infekcyjne powodowane przez grzyb *Verticillium albo-atrum*. Choroba występuje w formie łagodnej, objawiając się wędnięciem roślin odmian wrażliwych, ale nie powoduje ich obumierania oraz w formie letalnej, prowadzącej do obumierania roślin odmian wrażliwych (32). W przypadku tej choroby nie jest możliwe stosowanie skutecznej ochrony chemicznej. Poprawę zdrowotności roślin można osiągnąć metodami agrotechnicznymi, takimi jak racjonalne nawożenie, zabiegi uprawowe zwiększające przewietrzanie gleby, stosowanie wsiewek, niszczenie chwastów i usuwanie chorych roślin (42). Jednak najlepsze rezultaty przynosi uprawa odmian chmielu o mniejszej podatności na tę chorobę. Formę letalną werciciliozy stwierdzono po raz pierwszy w Anglii w 1933 r. i tam też w latach 40. rozpoczęto prace nad uzyskaniem odmian odpornych (34). Ich rezultatem było wprowadzenie do uprawy odmian charakteryzujących się małą wrażliwością na tę chorobę, takich jak Wye Target, Yeoman i Phoenix (4). Częściowo rozpoznano również złożony genetyczny mechanizm odporności, w którym występuje zarówno system poligeniczny, jak i odporność warunkowana przez pojedyncze, dominujące geny (6). W Polsce choroba pojawiła się w latach 70. w formie łagodnej, powodując poważne straty szczególnie na plantacjach wrażliwej odmiany Lubelski (42). W celu ograniczenia strat sprowadzono do naszego kraju angielską odmianę Northern Brewer, która charakteryzowała się mniejszą podatnością na werciciliozę i nadawała się do uprawy na tych plantacjach, gdzie już wcześniej stwierdzono występowanie tej choroby (41). Ponadto propagowano wśród plantatorów zabiegi agrotechniczne, zwłaszcza w zakresie racjonalnego nawożenia azotem, zmniejszające ryzyko wystąpienia choroby. Rozpoczęto również testowanie materiału hodowlanego chmielu w warunkach prowokacyjnych. Stąd też odmiany wprowadzone do uprawy w latach 80. i później (Marynka, Izabella, Sybilla, Zbyszko) charakteryzują się mniejszą wrażliwością na tę chorobę niż starsza odmiana Lubelski. Obecnie w Polsce choroba występuje na plantacjach produkcyjnych sporadycznie, podobnie jak w Niemczech, gdzie nowe odmiany chmielu charakteryzują się bardzo dobrą lub dobrą odpornością na werciciliozę (39). Obecnie intensywna hodowla w kierunku odporności na wędnięcie infekcyjne prowadzona jest w Anglii, gdzie występują patogennicne rasy *V. albo-atrum* powodujące letalną formę choroby (6, 8). W 1977 r. ta groźna forma werciciliozy pojawiła się również w Słowenii (32); do 2002 r. zaatakowa-

wała ponad 160 ha chmielników, z tego połowę zlikwidowano. Sytuacja ta doprowadziła do zintensyfikowania prac hodowlanych pod kątem odporności chmielu na wędnięcie infekcyjne (17, 31).

Jedną z najwcześniej poznanych chorób chmielu był mączniak prawdziwy. Na początku XX wieku stanowił on poważne zagrożenie w USA i Anglii, ale w kontynentalnej części Europy występował sporadycznie, nie wyrządzając większych szkód. Wprowadzenie do uprawy odmian wrażliwych, wymagających intensywnej ochrony chemicznej, która często bywała nieskuteczna, spowodowało zintensyfikowanie prac nad hodowlą odmian odpornych na mączniaka prawdziwego. Rozpoczęto je w 1962 r. w Anglii (34). Poznano genetyczny mechanizm odporności na tę chorobę, który opiera się na działaniu pojedynczych, dominujących genów odporności, specyficznych w stosunku do rasy patogena (23). Odporność tego typu, zwana też odpornością pionową, jest stosunkowo nietrwała, przelamywana jest bowiem przez nowe rasy grzyba (4, 40). Przykładem jest odmiana Wye Challenger wyhodowana w Anglii w 1972 r., jako pierwsza odmiana odporna na mączniaka prawdziwego. Jej odporność została przełamana po dwóch latach uprawy (15). Odporność na mączniaka prawdziwego, warunkowana przez większość poznanych dotychczas genów odporności, została przełamana przez nowe rasy patogena (40). Najbardziej trwała w warunkach polowych jest odporność determinowana przez gen R2, którego źródłem jest angielska odmiana Wye Target, wprowadzona do uprawy w 1973 r. (40). Gen R2 jest aktualnie wykorzystywany w programie hodowlanym w Niemczech, którego efektem jest wprowadzenie do uprawy odmian Hallertauer Merkur i Herkules odpornych na mączniaka prawdziwego (37, 39). To samo źródło odporności wykorzystywane jest również w pracach hodowlanych prowadzonych w Polsce. W Anglii prowadzone są prace nad częściową odpornością o charakterze poligenicznym, która nie jest wyspecjalizowana w stosunku do rasy patogena, dzięki temu jest bardziej trwała (8, 11). Uzyskanie odmian odpornych na mączniaka prawdziwego jest obecnie priorytetowym kierunkiem hodowli odpornościowej w wielu liczących się ośrodkach chmielarskich, ale najbardziej intensywne prace w tym zakresie są prowadzone w Niemczech i USA. Poszukiwane są nowe źródła odporności na tę chorobę wśród chmielu dzikiego (24). W hodowli odmian odpornych na mączniaka prawdziwego wykorzystywane są nowoczesne techniki molekularne do oceny materiałów hodowlanych pod kątem obecności odpowiednich genów determinujących odporność (35, 36, 38). Przeprowadzono też udaną próbę transformacji genetycznej polegającej na wprowadzeniu genu chitynazy HCH1, biorącego udział w reakcji odporności na mączniaka prawdziwego, z odmiany Zenith do dwóch odmian wrażliwych na tę chorobę – Hallertauer Mittelfrüh i Żatecki (25). Te różnorodne działania doprowadziły do uzyskania i wprowadzenia do uprawy odmian odpornych na mączniaka prawdziwego, takich jak wspomniane już niemieckie Hallertauer Merkur i Herkules, czy też amerykańskie Millennium i Summit.

Szczególnie trudna jest hodowla w kierunku odporności na szkodniki. Na plantacjach chmielu najczęściej występują mszyca śliwowo-chmielowa i przędziorek chmielowiec. Poszukiwania genotypów odpornych na mszycę rozpoczęto w Anglii na początku lat 80. ubiegłego wieku (5). Najbardziej obiecująca pod tym względem okazała

się męska roślina chmielu pochodząca z górskich rejonów Japonii. Badania tego genotypu wykazały dużą, a przy tym stabilną odporność uwarunkowaną działaniem dwóch dominujących genów. Stopień odporności był na tyle wysoki, że pozwalał na zabezpieczenie plantacji przed mszycą jedynie z pomocą wrogów naturalnych, bez ochrony chemicznej. Genotyp ten został użyty jako źródło odporności na mszyce, niestety uzyskane potomstwo charakteryzowało się wieloma niekorzystnymi cechami, typowymi dla chmielu dzikiego (4). Prace hodowlane mające na celu połączenie cechy odporności na mszyce z innymi korzystnymi cechami agronomicznymi trwały kilka lat i zakończyły się sukcesem w 2004 r., kiedy w Anglii wprowadzono do uprawy pierwszą odporną na mszyce odmianę o nazwie Boadicea (7, 9). Prace hodowlane w kierunku odporności na mszyce prowadzone są również w Słowenii. Zainicjowano tam badania mające na celu ustalenie markerów molekularnych związanych z tą cechą (2). Niestety nie udało się dotychczas ustalić źródła odporności na przedziorka chmielowca, ale prace pod tym kątem są prowadzone w Anglii (5).

Substancje bioaktywne

W ostatnich latach chmiel znalazł się w obszarze zainteresowań kompanii farmaceutycznych jako potencjalne źródło substancji bioaktywnych mogących znaleźć zastosowanie w medycynie. Największe zainteresowanie budzą specyficzne dla chmielu polifenole: ksantohumol i desmetyloksantohumol oraz ich pochodne. Ksantohumol wykazuje działanie hamujące powstawanie nowotworów, ponadto posiada właściwości przeciwzapalne, korzystnie wpływa na przemiany cholesterolu w organizmie, przez co zmniejsza ryzyko zapadania na chorobę wieńcową, a także ogranicza ubytek masy kostnej, który prowadzi do osteoporozy. Desmetyloksantohumol, a właściwie jego pochodna – 8-prenylaringenin – jest jednym z najskuteczniej działających fitoestrogenów. Związek ten ogranicza namnażanie komórek nowotworowych, nie wykazując przy tym działania toksycznego oraz posiada zdolność agregacji komórek raka piersi, co oznacza, że może hamować przerzuty nowotworu do innych narządów. Aktywność biologiczna polifenoli chmielowych została potwierdzona w licznych badaniach laboratoryjnych, ale zawartość tych związków w produkcyjnych odmianach chmielu jest stosunkowo niska. Zawartość ksantohumolu waha się w zależności od odmiany od 0,2 do około 1,2% (10, 20), a desmetyloksantohumulonu od 0,05 do 0,2% (20). Rozpoczęto więc prace hodowlane w kierunku uzyskania odmian o wyższej koncentracji ksantohumolu (10). Jest to perspektywiczny kierunek hodowli, który pozwoli na wykorzystanie chmielu poza przemysłem piwowarskim.

Podsumowanie

Tradycyjne metody hodowli chmielu są długotrwałe i pracochłonne, co wynika z samej natury tego dwupiennego gatunku. Osiągnięcie sukcesu zależy w dużej mierze od doboru odpowiednich komponentów rodzicielskich do krzyżowań. W przypadku chmielu jest to wyjątkowo trudne, bowiem rośliny męskie, które nie wytwarzają szyszek nie mogą być oceniane pod względem najważniejszych cech użytkowych w sposób bezpośredni, a jedynie na podstawie badań uzyskanego potomstwa, co znacznie wydłuża pracę hodowcy. Niezbędnym elementem w hodowli roślin jest selekcja, czyli wybór perspektywicznych genotypów z licznego materiału wyjściowego. W przypadku chmielu, który jest rośliną wieloletnią selekcja pod względem wielu cech, takich jak potencjał plonowania czy koncentracja alfa kwasów, wymaga kilkuletnich obserwacji roślin w warunkach polowych, więc liczba ocenianych genotypów jest ograniczona rozmiarami plantacji. Trudności te są stopniowo przezwyciężane przez użycie w procesie hodowlanym nowoczesnych technik oceny potomstwa opartych na analizie DNA. Identyfikacja genów warunkujących określone cechy pozwoliła na opracowanie odpowiednich markerów molekularnych, które umożliwiają ocenę genotypów pod względem danej cechy niezależnie od ich płci, czy też czynników środowiska. Ponadto identyfikację perspektywicznych genotypów można przeprowadzać już w fazie siewek, co znacznie zmniejsza liczbę roślin przeznaczonych do oceny w warunkach polowych. W przypadku chmielu opracowano markery molekularne dla takich cech, jak płeć (30) oraz odporność na mączniaka prawdziwego (35, 38). Trwają prace nad uzyskaniem markerów wspomagających selekcję roślin w kierunku odporności na mszycę (2), mączniaka rzekomego (29) i werciliozę (17) oraz zawartości alfa kwasów (3, 28). Techniki molekularne wspomagają obecnie tylko niektóre kierunki hodowli chmielu, ale postęp w tym zakresie jest bardzo szybki. Ich wdrożenie na szerszą skalę pozwoli na opracowanie efektywniejszych strategii hodowlanych i przyspieszy prace nad uzyskiwaniem nowych odmian chmielu.

Literatura

1. Atlas Czech hop varieties. Hop Research Institute. Žatec. www.chizatec.cz/atlas_odrud_chmele.htm
2. Čerenak A., Javornik B.: Analysis of molecular markers correlated with resistance of hop (*Humulus lupulus* L.) to damson-hop aphid (*Phorodon humuli* Schrank). Proc. Sci. Commission. Canterbury, Kent, England, 5-7 August, 2001, 25-28.
3. Čerenak A., Šatović Z., Javornik B.: Genetic mapping of hop (*Humulus lupulus* L.) applied to the detection of QTLs for alpha acid content. Genome, 2006, 49: 485-494.
4. Darby P.: Current objectives in UK hop breeding. Proc. Commission. Strasbourg, France, 25-28 July, 1995, 57-63.
5. Darby P.: New selection criteria in hop breeding. Proc. Sci. Commission. Puławy, Poland 27-30 July, 1999, 3-6.
6. Darby P.: Single gene traits in hop breeding. Proc. Sci. Commission. Canterbury, Kent, England, 5-7 August, 2001, 76-80.

7. Darby P.: Hop growing in England in the twenty-first century. J. Roy. Agric. Soc. England, 2004, **165**: 84-90.
8. Darby P.: The assessment of resistance to diseases in the UK breeding programme. Proc. of the Sci. Commission. George, South Africa 20-25 February, 2005, 7-11.
9. Darby P.: The UK breeding programme: a new site and new objectives. Proc. Sci. Commission. Tettang, Germany 24-28 June, 2007, 10-13.
10. Darby P., Atkinson R., Buggley L. A., Meacham A. E.: The potential for selective breeding to increase the xanthohumol content of hops. Proc. Sci. Commission. Dobrna - Žalec, Slovenia, 24-27 June, 2003, 97-100.
11. Darby P., Godwin J. R., Mansfield J. W.: The assessment of partial resistance to powdery mildew disease in hops. Plant Pathology, 1989, **38**: 219-225.
12. Engelhard B.: The impact of weather conditions on the behaviour of powdery mildew in infecting hop (*Humulus*). Acta Hort., 2005, **668**: 111-116.
13. Głazewska Z.: Testowanie odporności odmian i krzyżówek chmielu na mączniak rzekomy – *Pseudoperonospora humuli* (Miy.et Takah.) Wils. Pam. Puł., 1969, **36**: 233-238.
14. Hop plant named "Summit": www.freepatentsonline.com/PP18039.html
15. Hop Powdery Mildew Electronic Symposium. Powdery mildew, *Sphaerotheca humuli*. Resistant cultivars. www.scisoc.org/hpmes/bk_excp7.htm
16. Hysert D. W.: USA alpha and dual-purpose hops. Potential substitutes for European alpha and dual-purpose hops. March 2004, pp.6. www.barthhaasgroup.com/pls/bhg/publications.
17. Jakšec J., Luthar Z., Čerenak A., Radišek S., Javornik B.: Towards the genetic map for verticillium wilt resistance. Proc. Sci. Commission. Tettang, Germany, 24-28 June, 2007, 72.
18. Klau del J.: Badania nad wartością użytkową niektórych klonów chmielu hodowli puławskiej. Pam. Puł., 1962, **6**: 71-89.
19. Klau del J., Frydecka Z., Myślicka Z., Majewski K.: Badania nad wartością użytkową 5 klonów chmielu hodowli IUNG w Puławach. Pam. Puł., 1965, **19**: 211-230.
20. Krofta K., Poustka J., Novakova K., Hajšlova J.: Contents of prenylflavonoids in Czech hops and beers. Acta Hort., 2005, **668**: 201-206.
21. Lewandowski A.: Kompleksowe badania wartości gospodarczej odmian chmielu w latach 1968–1995. Wiad. Odmianozn., 2003, **77**.
22. Lewandowski A.: Chmiel. Synteza wyników doświadczeń odmianowych 2000–2004. COBORU Słupia Wielka, 2005, **1200**.
23. Liyanage A. de S., Neve R. A., Royle D. J.: Resistance to hop powdery mildew. Rep. Dept. Hop Res. Wye Coll. for 1972, 49-50.
24. Lutz A., Kneidl J., Seigner E.: Wild hops – new sources for resistance to powdery mildew. Proc. of the Sci. Commission. Tettang, Germany, 24-28 June, 2007, 31.
25. Miehle H., Seigner E.: Production of powdery mildew resistant hops via gene transfer. Proc. of the Sci. Commission. Tettang, Germany, 24-28 June, 2007, 78-81.
26. Milczak M., Segit Z.: Hodowla nowych ideotypów chmielu dla warunków Polski. Zesz. Nauk. AR Kraków, 1985, **190(14)**: 47-53.
27. Myślicka Z., Frydecka Z.: Cechy morfologiczne i użytkowe nowych odmian chmielu wyhodowanych w Puławach. Prace Zakładu Uprawy i Hodowli Chmielu, IUNG Puławy, 1976, **R(114)**: 53-77.
28. Okada Y., Koie K., Inaba A., Kaneko T., Ito K.: Molecular markers for alpha acids; study for practical application. Proc. Commission. Tettang, Germany, 24-28 June, 2007, 56-59.
29. Patzak J.: Molecular methods in resistance hop research. Proc. Sci. Commission. Tettang, Germany, 24-28 June, 2007, 63-66.
30. Polley A., Seigner E., Ganai M. W.: Identification of sex in hop (*Humulus lupulus*) using molecular markers. Genome, 1997, **40**: 357-362.
31. Radišek S., Čerenak A., Javornik B.: Selection methods in hop disease resistance breeding in Slovenia. Proc. Sci. Commission. Tettang, Germany, 24-28 June, 2007, 26-29.

32. Radišek S., Jakše J., Simončič A., Javornik B.: Hop wilt in Slovenia: current situation and diagnostic research. Proc. Sci. Commission. Dobrna-Žalec, Slovenia, 24-27 June, 2003, 17-21.
33. Romanko R. R.: The history of hop downy mildew. Hop downy mildew – a symposium. Reprinted from Modern Brewery Age. May, 1964.
34. Royle D. J.: Breeding for resistance to hop diseases. Proc. Sci. Commission. Wye College, 12-13 August, 1976, 1-14.
35. Seefelder S., Seigner E.: Molecular markers for powdery mildew (*Sphaerotheca humuli*) resistance in hops. Proc. Sci. Commission. Dobrna - Žalec, Slovenia, 24-27 June, 2003, 8-11.
36. Seidenberger R., Mikolajewski S., Lutz A., Seigner E., Seefelder S., Weber W. E.: cDNA-AFLP markers for powdery mildew resistance in hops (*Humulus lupulus* L.). Proc. Sci. Commission. Tettang, Germany, 24-28 June, 2007, 67-70.
37. Seigner E., Lutz A., Ehrmaier H., Engelhard B.: Herkules. New powdery mildew – resistant high-alpha variety from the Hop Research Centre Hüll. HopfenRundschau International, 2006/2007, 40-45.
38. Seigner E., Lutz A., Radic-Miehle H., Seefelder S.: Breeding for powdery mildew resistance in hop (*Humulus* L.): strategies at the Hop Research Center, Huell, Germany, Acta Hort., 2005, **668**: 19-29.
39. Seigner E., Lutz A., Radic-Miehle H., Seefelder S.: Breeding and development of hop varieties at the Hop Research Center Huell. Proc. Sci. Commission. George, South Africa, 20-25 February, 2005, 18-22.
40. Seigner E., Seefelder S., Haugg B., Hesse H., Rösch H., Felsenstein F.: Investigation on the virulence spectrum of hop powdery mildew (*Sphaerotheca humuli*). Proc. Sci. Commission IHGC, Canterbury, Kent, England, 5-7 Aug., 2001, 33-37.
41. Solarska E.: Próba ustalenia przyczyny infekcyjnego więdnienia chmielu na Lubelszczyźnie. IUNG Puławy, 1976, **R(114)**: 93-105.

Adres do korespondencji:

dr Urszula Skomra
Zakład Hodowli i Biotechnologii Roślin
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (081) 886 34 21
e-mail: urszula.skomra@iung.pulawy.pl

