

STUDIA I RAPORTY IUNG - PIB

ZESZYT 13

2008

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

MĄCZNIAK PRAWDZIWY – GROŻNA CHOROBA CHMIELU*

Wstęp

Mączniak prawdziwy chmielu znany jest od ponad 200 lat. Początkowo choroba występowała głównie w Anglii i Belgii, gdzie stanowiła poważny problem. Sytuacja uległa zmianie na początku lat 70. ubiegłego stulecia, gdy w Europie wprowadzono do uprawy chmielu angielską odmianę Northern Brewer, charakteryzującą się dużą wrażliwością na tę chorobę (8). W konsekwencji mączniak prawdziwy pojawił się również w innych krajach, takich jak Niemcy (20) i Republika Czeska (17). Obecnie mączniak prawdziwy chmielu występuje we wszystkich rejonach uprawy tej rośliny na świecie, poza Australią i Nową Zelandią. Straty z powodu obniżenia wielkości i jakości plonu oraz zwiększenia kosztów chemicznej ochrony roślin są ogromne. W USA w latach 1999–2000 przekraczały one 30 mln dolarów (13). W Niemczech koszty ochrony plantacji chmielu przed mączniakiem prawdziwym w latach 1998–2003 wahały się od 180 do 350 euro na ha (5).

W Polsce przez wiele lat mączniak prawdziwy chmielu występował sporadycznie i nie wyrządzał większych szkód na plantacjach (16). Nasilenie choroby, które zanotowano pod koniec lat 90. ubiegłego stulecia zbiegło się w czasie z wprowadzeniem do uprawy niemieckiej odmiany Magnum, która charakteryzuje się bardzo dużą wrażliwością na mączniaka prawdziwego (18). Plantacje tej odmiany stały się źródłem infekcji, z którego choroba rozprzestrzeniła się na odmiany rodzime. W Polsce nie ma dokładnych danych dotyczących strat związanych z występowaniem mączniaka prawdziwego, ale można przypuszczać, że choroba ta będzie stanowiła coraz większe zagrożenie z powodu znacznego wzrostu areалу odmiany Magnum, charakteryzującej się wysokim potencjałem plonowania i zawartością alfa kwasów, przy jednoczesnym spadku powierzchni uprawy mało podatnej, aromatycznej odmiany Lubelski.

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

Etiologia i objawy choroby

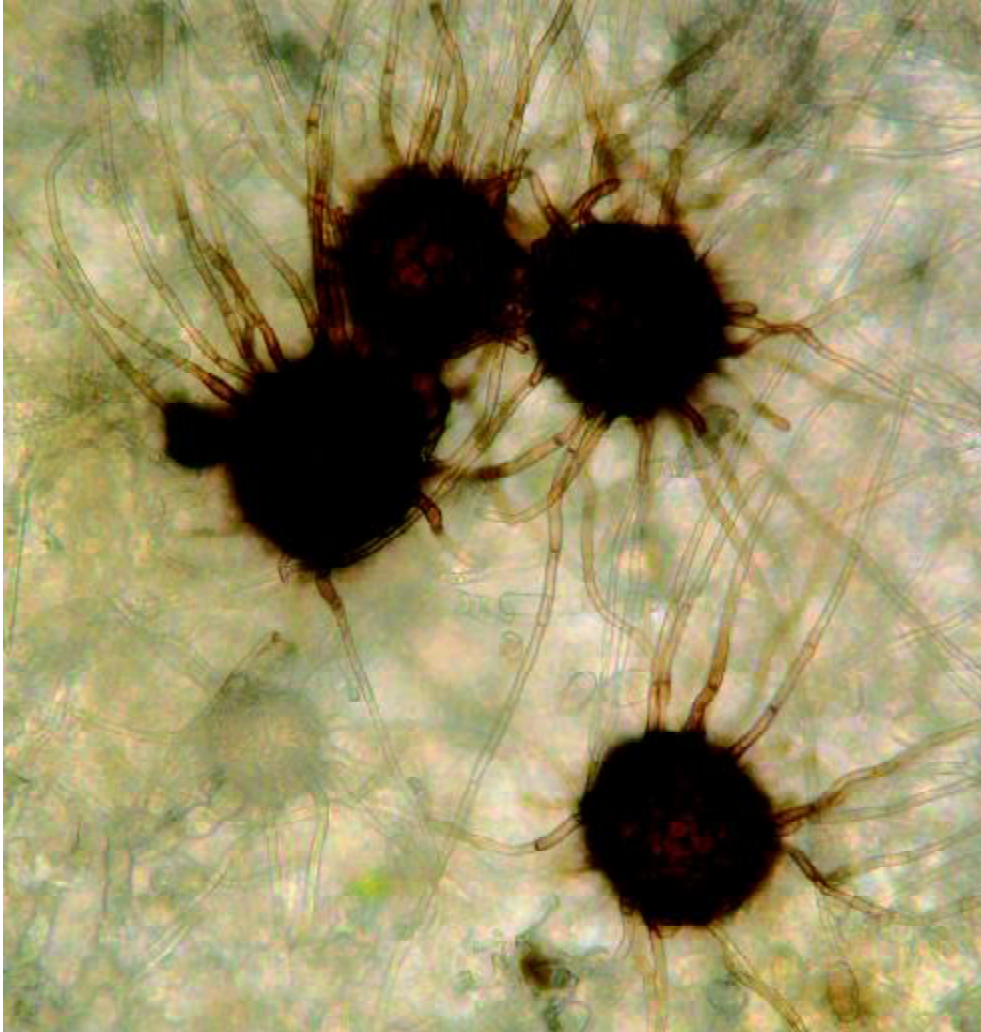
Sprawcą mączniaka prawdziwego jest grzyb *Podosphaera macularis* (Wallr.) należący do gromady workowców (*Ascomycota*). W Europie grzyb ten występuje w stadium konidialnym i workowym, natomiast w USA nie stwierdzono dotychczas występowania stadium workowego (9, 12). Przez większą część okresu wegetacyjnego grzyb występuje w stadium konidialnym, w którym tworzy jednokomórkowe zarodniki konidialne typu oidium. Tworzą się one na trzonkach konidialnych w postaci łańcuszków, w których najbardziej dojrzały zarodnik znajdujący się na wierzchołku odpada i jest przenoszony przez wiatr na inne rośliny (fot. 1). Stadium workowe grzyba tworzy się na przełomie lipca i sierpnia na silnie porażonych liściach lub szyszkach chmielu w postaci kulistych, zamkniętych owocników (otoczni) przytwierdzonych do podłoża za pomocą przyczepki (fot. 2). Przyczepki są długie, podzielone poprzecznymi ścianami, bez rozgałęzień. W otoczni formuje się jeden worek z ośmioma zarodnikami workowymi.

Grzyb zimuje w postaci grzybni wewnątrz pąków, które chronią go przed niekorzystnymi warunkami pogodowymi lub w postaci otoczni, które pozostają na plantacji



Fot. 1. Zarodniki konidialne grzyba *Podosphaera macularis* powodującego mączniaka prawdziwego chmielu

Źródło: Dokumentacja własna.



Fot. 2. Owocniki grzyba *Podosphaera macularis* powodującego mączniaka prawdziwego chmielu
Źródło: Dokumentacja własna.

na resztkach roślinnych lub na powierzchni gleby i są odporne na działanie niskich temperatur (poniżej -20°C) oraz fungicydów (2). Według badań niemieckich (6) głównym źródłem infekcji pierwotnej na plantacjach chmielu w Bawarii są zimujące otocznie grzyba. Porażone pędy wyrastające z pąków, w których patogen zimował w postaci grzybni obserwowano bardzo rzadko, przede wszystkim na plantacjach nieuprawianych. Wysiew zarodników workowych porażających młode liście chmielu następuje w kwietniu (11). Objawy choroby pojawiają się na młodych liściach w postaci białych, mączystych kolonii (fot. 3). Nalot występujący zazwyczaj na górnej powierzchni blaszki liściowej jest utworzony przez skupienia grzybni i zarodników konidialnych.



Fot. 3. Objawy mączniaka prawdziwego na liściach chmielu
Źródło: Dokumentacja własna.

Zarodniki konidialne są łatwo przenoszone przez wiatr, a do kiełkowania nie wymagają obecności wody. W okresie wegetacji dochodzi do licznych infekcji wtórnych, które doprowadzają do szybkiego rozwoju choroby.

P. macularis podobnie jak inne mączniaki prawdziwe jest pasożytem bezwzględnym. Do wnętrza komórek skórki wrastają ssawki, przez które stopniowo pobierana jest woda i składniki pokarmowe, co ogranicza wzrost i rozwój porażonych organów. Patogen może porażać wszystkie nadziemne organy roślin chmielu. Najbardziej wrażliwe są młode liście i kwiaty oraz szyszki we wszystkich fazach rozwojowych (19). W liściach dosyć szybko pojawia się odporność związana z wiekiem, dlatego liście starsze niż 15-dniowe nie ulegają porażeniu (22). Porażenie szyszek w początkowym stadium rozwoju prowadzi do zahamowania ich wzrostu, co jest przyczyną znacznych strat plonu, gdyż szyszki takie nie przedstawiają żadnej wartości handlowej. Porażenie szyszek w okresie dojrzewania powoduje ich deformację, co pogarsza jakość plonu (fot. 4). Badania wykazały, że zawartość alfa kwasów w szyszkach silnie porażonych



Fot. 4. Objawy mączniaka prawdziwego na szyszkach chmielu

Źródło: Dokumentacja własna.

jest niższa o ponad 20% w porównaniu ze zdrowymi (tab. 1). Obserwowano również zmniejszenie zawartości olejków chmielowych o 25-50% (10). Jest to zjawisko bardzo niekorzystne, ponieważ alfa kwasy i olejki chmielowe są głównymi składnikami chmielu wykorzystywanymi przez przemysł piwowarski, nadającymi piwu charakterystyczną goryczkę i chmielowy aromat. Zawartość alfa kwasów jest ponadto jednym z elementów kształtujących cenę surowca chmielowego, co wpływa na dochody plantatorów uprawiających tę roślinę.

Tabela 1

Wpływ mączniaka prawdziwego na zawartość alfa i beta kwasów w szyszkach chmielu

Składnik szyszki	Odmiana chmielu					
	Magnum			Żatecki		
	szyszki zdrowe	szyszki z objawami mączniaka prawdziwego	różnica (%)	szyszki zdrowe	szyszki z objawami mączniaka prawdziwego	różnica (%)
Alfa kwasy (%)	15,02	11,99	-20,2	8,32	6,30	-24,3
Beta kwasy (%)	6,39	5,58	-12,7	7,34	6,41	-12,7

Źródło: Krofta K., Nesvadba V., 2003 (10).

Epidemiologia

Choroba rozprzestrzenia się bardzo szybko, a rozwój epidemii może być gwałtowny, ponieważ grzyb ma zdolność wytwarzania ogromnej liczby zarodników konidialnych. Liczba cykli infekcji wtórnych w ciągu sezonu wegetacyjnego dochodzi do 40, a zarodnikujące kolonie grzyba wytwarzają ponad 3,5 miliona zarodników konidialnych na powierzchni 1 cm² (15). Jeśli choroba rozwija się w sposób niekontrolowany straty plonu mogą dochodzić nawet do 100% (15). W USA przeciętne straty powodowane przez mączniaka prawdziwego chmielu na plantacjach produkcyjnych szacuje się na około 15% plonu, a nakłady na ochronę chmielników przed tą chorobą w 2001 r. wynosiły 988 dolarów na ha (12).

Rozwój mączniaka prawdziwego jest uzależniony od przebiegu warunków pogodowych w sezonie wegetacyjnym, dlatego nasilenie epidemii w poszczególnych latach jest zróżnicowane. Badania prowadzone w Niemczech wykazały, że na plantacji kontrolnej, bez ochrony chemicznej, straty plonu wahały się w zależności od roku badań od 0 do 96% (5). Bardzo duży wpływ na rozwój mączniaka prawdziwego chmielu ma temperatura (6, 13, 22). Badania wykazały, że *P. macularis* może rozwijać się w szerokim zakresie temperatury od 12 do 27°C, ale temperatura optymalna waha się w przedziale 18-21°C. W temperaturze 27°C porażenie chmielu było istotnie niższe, natomiast przetrzymywanie inokulowanych roślin w 30°C hamowało zupełnie rozwój choroby (22). Nawet dwugodzinna ekspozycja roślin w temperaturze 30°C obniżała ryzyko porażenia chmielu przez *P. macularis* o 50%, ponieważ w tak wysokiej temperaturze zarodniki konidialne grzyba nie kiełkują (13). Okresy upalne, gdy temperatura powietrza oscyluje w pobliżu 30°C mogą więc przyczynić się do zahamowania rozwoju choroby, co potwierdzają obserwacje polowe prowadzone w USA (12). Czas inkubacji choroby, tj. okres od zakażenia do wystąpienia objawów, wahał się od 10 dni w temperaturze 12-15°C do 5 dni w 18-27°C. Temperatura wpływała również na liczbę kolonii i ich wielkość. W temperaturze 27°C liczba kolonii była istotnie mniejsza, a ich wielkość zmniejszała się już powyżej 21°C (22).

Bezpośrednie promieniowanie słoneczne niszczy zarodniki konidialne i może być czynnikiem ograniczającym rozwój choroby (5). Wpływ promieniowania słonecznego występuje głównie na plantacjach młodych. W drugiej części sezonu wegetacyjnego rośliny chmielu są zazwyczaj mocno rozbudowane i do środka chmielnika dociera światło rozproszone, które z kolei stymuluje rozwój choroby.

Zarodniki konidialne do kiełkowania nie wymagają obecności kropli wody, ale wysoka wilgotność jest warunkiem sprzyjającym. Jednak intensywne opady mogą zmywać zarodniki konidialne z powierzchni liści i w ten sposób ograniczać infekcję (5, 12).

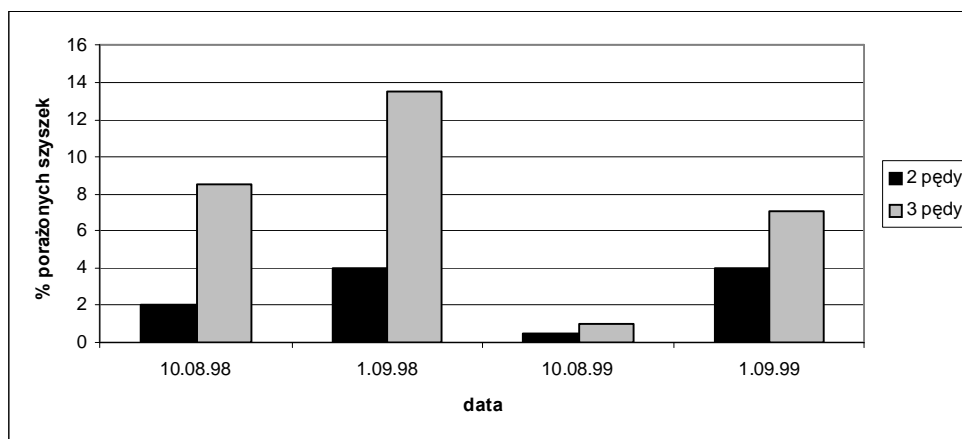
Zwalczanie

W ochronie chmielu przed mączniakiem prawdziwym stosuje się metody agrotechniczne, chemiczne i hodowlane.

Z metod agrotechnicznych największą rolę odgrywają zabiegi ograniczające ilość inokulum grzyba powodującego infekcję pierwotną w okresie wiosennym. Zapobieganie rozwojowi choroby w początkowym okresie wegetacji wpływa na dalszy rozwój epidemii, stwierdzono bowiem istotny związek pomiędzy występowaniem choroby na liściach a porażeniem szyszek (12). Pierwotnym źródłem infekcji na plantacjach chmielu są zarodniki workowe powstające w otoczeniach zimujących na resztkach roślinnych lub na powierzchni gleby. W ograniczaniu tego źródła infekcji duże znaczenie ma dokładne usuwanie resztek roślin z plantacji lub ich przyorywanie podczas wykonywania wsiewek lub wiosennych zabiegów uprawowych. Drugim źródłem inokulum grzyba na początku sezonu wegetacyjnego są porażone pędy wyrastające z pąków, w których patogen zimował w postaci grzybni. Praktyką powszechnie stosowaną na plantacjach chmielu w krajach europejskich jest wiosenne cięcie karp polegające na usunięciu wszystkich pędów wyrastających z karpy wczesną wiosną, aż do granicy tzw. starego drzewa, czyli wieloletniej części karpy, tak aby pozostał na niej jeden okółek pąków. Podczas wiosennego cięcia karp chmielowych pędy porażone przez *P. macularis* są usuwane, co znacznie ogranicza rozwój choroby (6). W USA, gdzie porażone pędy odgrywają główną rolę jako źródło infekcji pierwotnej, stwierdzono wyraźną zależność pomiędzy starannością wykonania zabiegu cięcia a nasileniem objawów mączniaka prawdziwego na liściach (22).

Duże znaczenie dla rozwoju epidemii mączniaka prawdziwego w sezonie wegetacyjnym ma utrzymywanie odpowiedniego mikroklimatu wewnątrz chmielnika. Nadmierne zagęszczenie roślin utrudnia cyrkulację powietrza, co powoduje wzrost wilgotności i utrudnia dostęp bezpośredniego promieniowania słonecznego. Takie warunki sprzyjają rozwojowi mączniaka prawdziwego. Aby ograniczyć rozwój choroby należy unikać nadmiernego zagęszczenia roślin chmielu na plantacji oraz zwiększania liczby pędów naprowadzanych na jeden przewodnik. Badania prowadzone w Niemczech na odmianie Magnum wykazały, że w przypadku naprowadzania trzech pędów na jeden przewodnik odsetek szyszek z objawami mączniaka prawdziwego był wyższy w porównaniu z występującym w warunkach naprowadzania dwóch pędów na przewodnik (rys. 1); (6). Poprawę cyrkulacji powietrza w chmielniku uzyskuje się również przez pasynkowanie roślin, tj. usunięcie bocznych pędów i liści do wysokości około 0,6 m.

Przeciwko zakażeniom wtórnym w ciągu sezonu wegetacyjnego stosuje się ochronę chemiczną. Do zwalczania mączniaka prawdziwego przeznaczone są przede wszystkim preparaty zawierające siarkę (Ipotar 600 SC, Siarkol Extra 80 WP, Tiotar 80 WP, Tiotar 800 SC). Są to środki o działaniu kontaktowym zalecane przede wszystkim do stosowania zapobiegawczego. Ze środków o działaniu systemicznym do ochrony chmielu przed mączniakiem prawdziwym przeznaczony jest preparat Zato 50 WG. Ochronę plantacji należy rozpocząć w momencie pojawienia się pierwszych objawów choroby na liściach. Szczególną uwagę na mączniaka prawdziwego należy zwrócić w okresie kwitnienia i zawiązywania szyszek chmielu. Kwiaty oraz młode szyszki chmielu są szczególnie podatne na porażenie, a jego skutki w tym okresie mogą być bardzo groźne. W Polsce skuteczną ochronę plantacji zapewnia zazwyczaj przeprowadzenie trzech oprysków: pierwszy na przełomie maja i czerwca, drugi i trzeci w odstępach



Rys. 1. Występowanie objawów mączniaka prawdziwego na szyszkach chmielu odmiany Magnum w zależności od liczby pędów naprowadzonych na jeden przewodnik

Źródło: Engelhardt B. i in., 2001 (6).

2–3-tygodniowych (16). Program ochrony chemicznej chmielu przed mączniakiem prawdziwym w takich krajach, jak Niemcy i USA jest bardziej intensywny i obejmuje wykonanie w ciągu sezonu wegetacyjnego od kilku do kilkunastu zabiegów w odstępach 10–14-dniowych (14). Takie postępowanie zabezpiecza wprawdzie plantacje chmielu przed tą groźną chorobą, ale bardzo podwyższa koszty produkcji. Dlatego prowadzone są prace nad wprowadzeniem systemu prognozowania mączniaka prawdziwego (7, 12). W USA w 2002 r. wprowadzono system prognozowania będący modyfikacją modelu opracowanego dla mączniaka prawdziwego winorośli (12). Potrzebę wykonania oprysku określa się na podstawie indeksu skalkulowanego, biorąc pod uwagę przebieg temperatury i opadów. Wprowadzenie prognozowania w USA przyczyniło się nie tylko do ograniczenia choroby na plantacjach chmielu, ale przyniosło też wymierne korzyści ekonomiczne, bowiem koszty ochrony zmniejszono z 1400 do 740 dolarów na ha (12).

W rozwoju epidemii choroby, obok warunków środowiskowych sprzyjających rozwojowi patogena, kluczowe znaczenie ma obecność rośliny wrażliwej na porażenie gospodarza. Odmiany chmielu różnią się znacznie wrażliwością na mączniaka prawdziwego.

W latach 2001–2007 prowadzono ocenę wrażliwości na mączniaka prawdziwego trzech najpopularniejszych odmian chmielu uprawianych w Polsce. Objawy mączniaka prawdziwego obserwowano na szyszkach w stadium dojrzałości technologicznej. Oceniano odsetek szyszek z objawami choroby oraz stopień ich porażenia według metody opisanej przez Skomrę (21). Najmniej wrażliwa na mączniaka prawdziwego była odmiana Lubelski. Średni współczynnik porażenia tej odmiany był niski i w żadnym roku badań nie przekroczył 5% (tab. 2). Odmiana Marynka charakteryzowała się bardzo dużą zmiennością pod względem występowania objawów mączniaka prawdziwego na szyszkach. W zależności od roku badań odsetek szyszek z objawami

Tabela 2

Występowanie objawów mączniaka prawdziwego na szyszkach odmian chmielu uprawianych w Polsce

Odmiana	Porażenie szyszek (%)		Współczynnik porażenia	
	średnia z lat 2001–2007	zakres zmienności	średnia z lat 2001–2007	zakres zmienności
Marynka	16,6 b*	2,0-23,6	5,0 b	0,5-8,3
Lubelski	9,8 a	4,0-14,8	3,0 a	1,1-5,0
Magnum	22,9 c	18,0-28,4	7,6 c	4,8-12,8
NIR _{0,05}	3,9		1,4	

* dane oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$

Źródło: Opracowanie własne.

choroby wahał się od 2 do 23,6%, a współczynnik porażenia od 0,5 do 8,3%. Najwyższy odsetek szyszek porażonych oraz współczynnik porażenia stwierdzono u niemieckiej odmiany Magnum. Dużą wrażliwość tej odmiany chmielu na mączniaka prawdziwego potwierdzają wcześniejsze badania prowadzone w Polsce (21) oraz doniesienia niemieckie (18).

W przypadku niektórych odmian chmielu zostały rozpoznane mechanizmy odporności, a związane z nimi geny są wykorzystywane w hodowli odpornościowej. Odporność na mączniaka prawdziwego jest determinowana przez dominujące, swoiste w stosunku do rasy patogena, geny odporności, z których dotychczas poznano siedem (3, 20). Odporność tego typu często bywa nietrwała, dlatego nieustannie poszukuje się nowych jej źródeł. W przypadku chmielu odporność determinowana przez większość ze znanych genów została przełamana przez nowe rasy patogena (20). Wyjątek stanowi gen R2 występujący w angielskiej odmianie chmielu Wye Target, który zachowuje efektywność w warunkach polowych od ponad 30 lat (1, 20). O roli mączniaka prawdziwego w uprawie chmielu świadczy fakt, że odporność na tę chorobę została włączona do programów hodowli nowych odmian w czołowych ośrodkach chmielarskich (4, 18). Prace nad hodowlą odpornych odmian chmielu prowadzone są również w IUNG-PIB w Puławach.

Literatura

1. D a r b P.: The assessment of partial resistance to powdery mildew disease in hops. *Plant Pathology*, 1989, **38**: 219-225.
2. D a r b y P.: The symptoms and biology of hop powdery mildew. Presentations from the U.S. Hop Industry Join Meeting, Yakima, Washington, 19-23 Jan. 1998. www.scisoc.org/hpmes/darby.htm
3. D a r b y P.: Single gene traits in hop breeding. *Proc. Sci. Commission IHGC, Canterbury, Kent*, 5-7 Aug., 2001, 76-80.
4. D a r b y P.: The assessment of resistance to diseases in the UK breeding programme. *Proc. Sci. Commission IHGC, George, South Africa*, 20-25 Feb., 2005, 7-11.
5. E n g e l h a r d B.: The impact of weather conditions on the behaviour of powdery mildew in infecting hop (*Humulus*). *Acta Hort.*, 2005, **668**: 111-116.

6. Engelhard B., Goldbrunner C., Seigner E.: Investigation on biology of hop powdery mildew (*Sphaerotheca humuli*) as a basis for specific strategies of control. Proc. of Technical Commission IHGC, Canterbury, England, 6-10 Aug., 2001, 30-46.
7. Engelhard B., Kammhuber K., Huber R., Lutz A., Hesse H.: Development and testing of a forecasting model for powdery mildew (*Podosphaera macularis*) in Bavarian hops. Proc. Tech. Commission IHGC, Lanzhou City, P.R. China, 25-31 July, 2005, 18-21.
8. Hop Powdery Mildew Electronic Symposium. Powdery mildew, *Sphaerotheca humuli*. Introduction. www.scisoc.org/hpmes/bk_excp1.htm
9. Klein R. E.: Hop powdery mildew in the Yakima Valley. Proc. Tech. Commission IHGC, Yakima, Washington USA, 1998, 5-7.
10. Krofta K., Nesvadba V.: How hop powdery mildew influences the quality of hops and beer? Proc. Sci. Commission IHGC, Dobrna-Žalec, Slovenia, 24-27 June, 2003, 58-62.
11. Liyanage A. de S., Royle D. J.: Overwintering of *Sphaerotheca humuli*, the cause of hop powdery mildew. Ann. Appl. Biol., 1976, **83**: 381-394.
12. Mahaffee W. F., Thomas C. S., Turechek W. W., O'camb C. M., Nelson M. E., Fox A., Gubler W. D.: Responding to an introduced pathogen: *Podosphaera macularis* (hop powdery mildew) in the Pacific Northwest. Online. Plant Health Progress, 2003, doi:10.1094/PHP-2003-1113-07-RV.
13. Mahaffee W. F., Turechek W. W., O'camb C. M.: Effect of variable temperature on infection severity of *Podosphaera macularis* on hops. Phytopathology, 2003, **93(12)**: 1587-1592.
14. Mahaffee W., Turechek W., Thomas C., O'camb C.: Learning to live with hop powdery mildew. Proc. Tech. Commission IHGC, Canterbury, England, 6-10 Aug., 2001, 47-51.
15. Peetz A. B.: Understanding sporulation and dissemination of *Podosphaera macularis*, hop powdery mildew. Thesis for degree of Master of Science. Oregon State University, 23 July 2007, 78.
16. Praca zbiorowa. Poradnik plantatora chmielu. IUNG Puławy, 1996, ss. 315.
17. Rybaček V.: Hop production. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo 1991, 286.
18. 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.
19. Seigner E., Seefelder S., Engelhard B., Hasyn S., Felsenstein F. G.: Infektionspotenzial des echten mehltaus (*Sphaerotheca humuli*) in abhängigigkeit vom entwicklungsstadium des hofpens (*Humulus lupulus*). Gesunde Pflanzen, 2003, **55(2)**: 29-33.
20. 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.
21. Skomra U.: Ocena wybranych odmian chmielu pod względem podatności na mączniaka rzekomego i prawdziwego chmielu. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2004, **497**: 581-589.
22. Turechek W. W., Mahaffee W. F., O'camb C. M.: Development of management strategies for hop powdery mildew in the Pacific Northwest. Online. Plant Health Progress, 2001. doi:10.1094/PHP-2001-0313-01-RS

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