

METODY ZAPOBIEGANIA ODPORNOŚCI GRZYBÓW NA FUNGICYDY
STOSOWANE W UPRAWIE ZBÓŻ

Manfred Hampel

BASF, Republika Federalna Niemiec

W krajach Europy Zachodniej plony zbóż w ostatnich latach ciągle wzrastają. Wyłączając południowe regiony uprawy, w roku 1984 przeciętne plony pszenicy we wszystkich krajach wynosiły powyżej 6 t z ha, a w Holandii - kraju o największych plonach - nawet około 7,8 t z ha.

Na wzrost plonów w ostatnich 15 latach złożyły się przede wszystkim postępy w hodowli odmian, ulepszona technologia uprawy, intensywne nawożenie oraz racjonalne zabiegi ochrony roślin, a zwłaszcza opryskiwanie fungicydami, które obecnie w RFN, Francji i Anglii stosowane jest na obszarze 50 do 80% powierzchni uprawy zbóż. Łączna powierzchnia opryskiwania (obliczana jako suma powierzchni opryskiwanych poszczególnymi preparatami) wynosi często znacznie ponad 100%.

ODPORNOŚĆ NA FUNGICYDY W UPRAWIE ZBÓŻ

Choroby podsuszkowe

W Europie Zachodniej w rejonach intensywnej uprawy zbóż, ich udział w powierzchni upraw wynosi około 50-70%. Grzyby powodujące choroby płodozmianowe, jak np. *Pseudocercospora herpotrichoides* nabierają więc coraz większego znaczenia gospodarczego. Po wprowadzeniu fungicydów benzimidazolowych zwalczanie łamliwości źdźbeł stało się ważną częścią składową technologii uprawy z ograniczonym zmianowaniem. Oprócz stosowania MBC we wczesnych fazach rozwojowych, preparaty kombinowane zawierające benzimidazole, znalazły zastosowanie również do zwalczania chorób liści oraz kłosów. W roku 1981 opryskiwano np. fungicydami benzimidazolowymi 20-40% powierzchni upraw w RFN, Francji i Wielkiej Brytanii. Obecnie, po około 10-12 latach od wprowadzenia fungicydów karbendazymowych, stwierdzono w różnych re-

jonach RFN, Francji, Belgii, Holandii i Anglii odporność *Pseudocercospora herpotrichoides* na benzimidazole.

Fungicydy karbendazymowe straciły w tamtych rejonach w znacznym stopniu działanie grzybobójcze w stosunku do patogenów wywołujących choroby podstawy źdźbła, ale dają jeszcze (prawdopodobnie ze względu na szerokie spektrum działania) wzrost plonów pokrywających koszt preparatów [3] (tab. 1). Wystąpienie odporności na MBC

T a b e l a 1

Zwalczanie *Pseudocercospora h.* na pszenicy ozimej [3]

Porażenie (0-100)		Plon (kg z ha)	
nie opryskiwane	opryskiwane	nie opryskiwane	opryskiwane
Stanowiska wrażliwe na MBC (N = 13)			
50,3	32,6	4950	+810
Stanowiska odporne na MBC (N = 19)			
42,5	34,4	6580	+250

Ocenę porażenia przeprowadzono testem laboratoryjnym.

jest skorelowane przy tym z długością i intensywnością stosowania fungicydu [5]. Dotychczas brakuje jednak dokładnych danych, po ilu opryskiwaniach MBC należy się liczyć z wystąpieniem odporności na ten preparat grzyba *Pseudocercospora*. Z angielskich badań modelowych wynika, że odporność może wystąpić już po trzech opryskiwaniach. W warunkach produkcyjnych trzeba jednak wyjść z założenia, że prawdopodobieństwo uodpornienia nastąpi po 5-6 latach stosowania preparatów. W rejonach, w których wystąpiła odporność nie poleca się już stosowania benzimidazoli do zwalczania choroby łamliwości źdźbeł. Skuteczną alternatywą okazuje się w tym wypadku prochloraz. W rejonach gdzie dotychczas nie wystąpiła odporność powinno się w dalszym ciągu stosować benzimidazole, ale wymiennie lub w połączeniu z prochlorazem.

W ostatnich dwóch latach w Anglii stwierdzono przy tym szerzej rozprzestrzeniającą się odporność *Septoria tritici* na benzimidazole [9].

Choroby liści i kłosów

W zwalczaniu chorób liści i kłosów we wszystkich rejonach uprawy zbóż Europy Zachodniej dominują od wielu lat, ze względu na ich dużą skuteczność, fungicydy z grupy triazoli, przy czym preparaty te były stosowane bardzo często wielokrotnie w ciągu sezonu wegetacyjnego do zwalczania mączniaka prawdziwego. Doprowadziło to jednak wkrótce do sytuacji znanej już przed stosowaniem fungicydów systemicznych, mianowicie do obniżenia ich skuteczności, względnie do osłabienia wrażli-

liwości populacji mączniaka. Od momentu wprowadzenia fungicydów triazolowych (w drugiej połowie lat siedemdziesiątych), po raz pierwszy stwierdzono ich osłabione działanie na początku lat osiemdziesiątych w Szkocji. Sprzyjała temu uprawa wyjątkowo wrażliwej odmiany jęczmienia Golden Promise i związane z tym odpowiednio intensywne stosowanie fungicydów triazolowych (zaprawianie i opryskiwanie). Jako przyczyny niedostatecznego działania triazoli wskazywano też inne czynniki, takie jak zmiana doboru odmian (wprowadzenie wysoce wrażliwych odmian), nieodpowiednie warunki pogodowe podczas wykonywania zabiegów fungicydami (niskie temperatury). Nie można było jednak całkowicie wyjaśnić tego zjawiska. W ostatnich latach, we wszystkich rejonach Europy Zachodniej (Anglia, Irlandia, RFN, Szwecja, Dania, Holandia, Francja), w których mączniak jest chorobą dominującą i gdzie przeprowadzano regularne zabiegi ochrony, stwierdzono osłabioną skuteczność triazoli na mączniaka [2, 4, 7, 8, 12]. Również w przypadku triazoli pierwsze symptomy uodpornienia występują po około 5-6 latach ich stosowania. W przeciwieństwie do benzimidazoli nie jest to odporność absolutna, a jedynie osłabiona wrażliwość populacji mączniaka, to znaczy, że fungicydy triazolowe obniżają swoją skuteczność, ale nie tracą jej zupełnie.

Co można zrobić, aby zapobiec dalszemu uodpornianiu patogenów na preparaty? Biorąc pod uwagę doświadczenia z innymi grupami preparatów proponuje się następującą strategię utrzymania skuteczności działania azoli w stosunku do mączniaka i zapobiegania rozwojowi odporności:

- przemienne stosowanie substancji aktywnych, to znaczy rotację związków o różnych mechanizmach działania; grzyb *Mycosphaerella musicola*, sprawca najważniejszej choroby bananów, po kilku latach jednostronnego stosowania benzimidazoli uodpornił się na nie niemal całkowicie w krajach Ameryki Środkowej. Obecnie znów stosuje się z dużym powodzeniem benzimidazole w rotacji z chlorotalonilem i tri-demorfe. W Holandii, aby zapobiec uodpornianiu się mączniaków na preparaty poleca się w uprawach roślin ozdobnych alternatywne stosowanie fungicydów z grup triazoli, morfolin i benzimidazoli;

- stosowanie mieszanin substancji aktywnych związków o różnych mechanizmach działania; w USA znany jest fakt wytworzenia po 3-4 latach wyłącznego stosowania benzimidazoli dużej odporności grzyba *Cercospora arachidicola* na tę grupę związków. Jednakże w Teksasie, gdzie do równoczesnego zwalczania mączniaka orzecha ziemnego stosowano mieszaninę benomylu z manebem, odporność nie wystąpiła. Podobnym przykładem może być odporność *Botrytis cinerea* na benzimidazole. W różnych rejonach Australii stosowano do równoczesnego zwalczania *Botrytis cinerea* i *Colletotrichum acutatum* mieszaninę benomylu z kaptanem. W rejonach tych nie stwierdzono odporności *Botrytis* na benzimidazole;

- ograniczanie liczby zabiegów, np. ograniczenie stosowania preparatów do okresów o szczególnie dużej infekcji; w Anglii udało się ograniczyć okresy presji se-

lekcyjnej, prawdopodobnie poprzez limitowane stosowanie etyrymolu w uprawie jęczmienia jarego (bez stosowania tego fungicydu w uprawie jęczmienia ozimego) tak, że etyrymol wykazuje nadal zadowalające działanie. Również przykłady zwalczania mączniaków rzekomych acylalaniną i szarej pleśni na winorośli dikarboksyimidami dowodzą jak można utrzymać, poprzez ograniczenie częstotliwości zabiegów, przydatność preparatu zagrożonego utratą skuteczności wskutek powstania odporności;

- stosowanie integrowanych metod zwalczania, łącznie z zabiegami uprawowymi (zmianowanie, termin siewu, nawożenie), a także uprawa odmian odpornych, zwracanie uwagi na progi szkodliwości i prognozy porażenia.

Przy właściwej strategii i przy stosowaniu mieszanin bądź przemiennym stosowaniu substancji aktywnych w przypadku triazoli, bierze się pod uwagę tylko te związki, które nie powodują odporności krzyżowej w stosunku do azoli, piperidyn i pirymidyn, jak np. pochodne morfoliny: tridemorf i fenpropimorf oraz takie substancje aktywne jak etyrymol, pyrazofos i siarka (tab. 2).

T a b e l a 2

Grupy związków czynnych fungicydów do zwalczania mączniaków

Grupa związków czynnych	Nazwa związku	Mechanizm działania
Triazole	triadimefon	biosynteza ergosteroli
	triadimenol	
	propikonazol	
	diklobutrazol	hamowanie demetylacji C-14
	flutriafol	
	flusilazol	
Imidazole	prochloraz	
Piperidyny	triforina	
Pirymidyny	nuarimol	
Morfoliny	tridemorf	biosynteza ergosteroli
	fenpropimorf	
		hamowanie izomeracji Δ8-Δ7
		blokowanie redukcji wiązania podwójnego C-14,15
Hydroksypirymidyny	etyrymol	synteza RNA
Fosforoorganiczne	pyrazofos	synteza fosfolipidów? synteza melaminy?
Siarka		łańcuch energetyczny

Przemienne stosowanie substancji aktywnych dla uniknięcia tworzenia odporności jest trudne do zrealizowania w praktyce z różnych względów. Mieszaniny substancji aktywnych, jeśli wystąpi całkowita, względnie nieodwracalna odporność na jeden z jej składników, są tylko w niewielkim stopniu przydatne do walki z od-

T a b e l a 3

ChOROBY mączniaka w pszenicy ozimej i jęczmieniu jarym, 1984

Fungicyd	S.a. g/ha	Pszenica ozima (RFN, N = 3)*		Jęczmień jary (Wielka Brytania, N = 4)*	
		porażenie mączniakiem, %	plon, kg z ha	porażenie mączniakiem, %	plon, kg z ha
Nie opryskiwane		30	5740 A	39	6060 A
Triazol 1	125	10	+1140 CD	22	+540 AB
Triazol 1 + tridemorf	125 375	4	+1620 D	13	+920 B
Triazol 2	125	20	+ 910 B	26	+420 AB
Triazol 2 + tridemorf	125 375	14	+1180 D	9	+1050 B
Fenpropimorf	750	3	+1690 D	1	+990 B

*30 dni po opryskiwaniu;
N - liczba doświadczeń.

opornością. Obecnie w Europie Zachodniej stosuje się z powodzeniem do zwalczania mączniaka w jęczmieniu i pszenicy mieszaniny triazoli z pochodną morfoliny - tridemorfem. Dla przykładu przedstawiono w tabeli 3 wyniki doświadczeń z RFN i Anglii. Tylko w kombinacji z tridemorfem stosowane triazole wykazały działanie grzybobójcze i dały wzrost plonu taki jaki dał fenpropimorf, obecnie najskuteczniejszy fungicyd do zwalczania mączniaków. W kilku krajach Europy Zachodniej sprzedawane są już gotowe preparaty kombinowane na bazie triazoli i tridemorfu.

Stosowanie mieszanin substancji aktywnych w celu uniknięcia odporności na fungicydy jest, bez wątpienia, bardziej skuteczne jeśli się je zastosuje przed wystąpieniem pierwszych objawów odporności. Zróżnicowaną szybkość nabywania odporności przy stosowaniu jednej substancji czynnej i mieszanin fungicydów przedstawił Delp [1] na modelu działania benomylu na grzyb *Cercospora* na orzechu ziemnym. Wyłączne stosowanie benomylu doprowadziło już po 3 latach do niezadowalających wyników zwalczania na skutek silnej presji selekcyjnej. Podobny stopień odporności zostałyby osiągnięty przy opryskiwaniu mieszaniną benomylu z manebem dopiero po przeszło 50 latach.

Tridemorf i fenpropimorf, oprócz fungicydów triazolowych, są obecnie najważniejszymi substancjami aktywnymi stosowanymi do zwalczania mączniaków zbóż. Morfoliny są szczególnie przydatne do pierwszego opryskiwania wiosną przeciwko chorobom liści; posiadają wybitne działanie wyniszczające i są w stanie zahamować istniejące porażenie. Poza tym ich działanie w niskich temperaturach przewyższa działanie innych substancji czynnych. Wyniki doświadczeń przedstawione w tabeli 4 wskazują, że fenpropimorf w niskich temperaturach (do 12°C) lepiej działa na

Wpływ temperatury na skuteczność fungicydów do zwalczania mączniaka (RFN, 1983)

Kombinacja	S.a. g/ha	Temperatura 12°C, stadium rozwojowe 29-37, N = 13		Temperatura 18°C, stadium rozwojowe 37-51, N = 10	
		porażenie mączniakiem, %	plon, kg z ha	porażenie mączniakiem, %	plon, kg z ha
Nie opryskiwane		14	6240 A	10	4710 A
Fenpropimorf	750	4	+740 C	4	+600 C
Triazol 1	125	7	+540 B	4	+620 C
Triazol 2	125	8	+390 AB	5	+350 B

N - liczba doświadczeń;

Ocenę porażenia przeprowadzono po 30 dniach od opryskiwania. Temperatura w ciągu dwóch tygodni od zabiegu.

mączniaka i daje większe plony niż fungicydy triazolowe. Wyższe temperatury nie powodują wyraźnych różnic w działaniu obu grup substancji czynnych. Fenpropimorf, w doświadczeniach szklarniowych i polowych, wykazał doskonałą odporność na zmywanie. Tridemorf jest już od 15 lat stosowany jako fungicyd do ochrony zbóż i nie zaobserwowano dotychczas osłabienia jego skuteczności. Jednak stwierdzenie, że niebezpieczeństwo odporności na morfoliny jest w ogóle wykluczone, wydaje się zbyt pośpieszne, ponieważ tridemorf był stosowany na znacznie mniejszych powierzchniach niż fungicydy triazolowe. Dlatego też, aby jak najdłużej utrzymać ich skuteczność, należy je stosować alternatywnie lub w mieszaninach.

LITERATURA

1. Delp C. J.: Plant Diseases, 1980, 65, 652-657.
2. De Waard M. A., Kipp E. M., Horn N. M., Van Nestelrody J. G.: Plant Pathol., 1986, 92, 21-32.
3. Fehrmann H.: EPPO Bulletin, 1985, 15, 477-483.
4. Heaney S. P., Humpreys G. H., Hutt R., Montiel P., Jeggerings P. M.: Proc. Brit. Crop Protec. Conf., 1984, 459-464.
5. King J. E., Griffin M. J.: Plant Pathol., 1985, 34, 272-283.
6. Limpert E.: Perspective Agricoles, 1986, 105, 35-39.
7. Limpert E.: Pflanzenschutz-Praxis, 1986, 2, 18-24.
8. Lorenz G., Pommer E. H.: Proc. Brit. Crop Protec. Conf., 1984, 489-493.
9. Metcalfe N. D., Sanderson R. A., Griffing M. J.: ISSP Chem. Control Newsletter, 1985, 6, 9-11.
10. Reschke M.: Hann. Land- und Forstwirtschaft. Ztg., 1984, 11, 4-9.
11. Saur R., Löcher F.: Mitt. Biol. Bundesanstalt 1984, 223, 213.
12. Wolfe M. S., Fletcher J. T.: Neth. J. Plant Pathol., 1981, 87, 239-240.

М. Гампель

МЕТОДЫ ПРОТИВОДЕЙСТВОВАНИЯ ИММУНИЗАЦИИ ГРИБОВ ПРОТИВ ДЕЙСТВИЯ
ФУНГИЦИДОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ВОЗДЕЛЫВАНИИ ХЛЕБНЫХ ЗЛАКОВ

Р е з ю м е

Борьба с болезнями хлебных злаков вызываемыми грибами путем применения фунгицидов является с западноевропейских странах основой современной технологии продукции зерна.

На свыше 70% площади возделывания пшеницы в странах интенсивно возделывающих хлебные злаки фунгициды применяются ежегодно, а иногда несколько раз на протяжении года.

В борьбе с болезнями листьев от половины семидесятых годов преобладают триазоловые фунгициды, механизм действия которых заключается в задерживании деметилации в синтезе эргостерола с использованием углерода ^{14}C .

Поскольку мучнистая роса зерновых является во многих странах важнейшим заболеванием листьев, указанные препараты применяются очень часто, иногда много раз в вегетационный период. В начале восьмидесятых годов впервые установлено в Шотландии снижение эффективности триазолов против мучнистой росы.

В настоящее время во всех странах, в которых преобладает мучнистая роса и проводятся систематические мероприятия по борьбе с этой болезнью наблюдается сниженная восприимчивость популяций мучнистой росы к триазоловым фунгицидам.

Общеизвестно, что единственной возможностью задержания расширения иммунизации грибов является чередование препаратов с разным механизмом действия. В качестве альтернативных веществ не содействующих крестовой иммунизации рекомендуются морфолины: тридеморф и фенпропиморф, а также другие активные вещества, такие как этиримол, пирозофос и сера.

Наряду с чередованием соответствующих препаратов, используются комбинированные препараты содержащие активные вещества разного механизма действия, характеризующиеся высокой эффективностью борьбы с мучнистой росой.

Эффективность обоих методов подтверждают результаты опытов проведенных с морфолинами: тридеморфом и фенпропиморфом, в разных западноевропейских странах.

Комбинированные препараты содержащие триазоли и тридеморф уже доступны на рынке. В более низких температурах морфолины более эффективны, чем триазоли, а сверх того они более устойчивы смыву.

Тридеморф используется уже на протяжении 15 лет в качестве фунгицида для защиты хлебов, без снижения его эффективности.

Несколько преждевременным являлось бы заключение, что применение морфолинов полностью исключает иммунизацию грибов, поскольку тридеморф применялся на гораздо меньших площадях, чем триазоли. Чередование активных веществ или применение комбинированных препаратов является таким образом и для морфолинов самой верной процедурой позволяющей удержать наиболее долго их высокую эффективность.

M. Hampel

COUNTERACTION METHODS TO THE FUNGI RESISTANCE AGAINST FUNGICIDES APPLIED
IN THE CONTROL OF CEREALS

S u m m a r y

The strategy of counteraction to the fungi resistance against fungicides applied in agriculture of West-European countries and the control of fungal diseases of cereals by means of applied fungicides became a basis of the modern cereal production technology.

For over 70% of the wheat cultivation area in the countries of intensive agriculture fungicides are applied every year, a part of them being applied even several times in the course of year.

In the control of leaf diseases fungicides of the class of triazoles predominate since the mid of 1970ies. The mechanism of their action consists in inhibition of demethylation in the ergosterol synthesis using ^{14}C .

As the powder mildew of cereals constitutes in many regions a most ominous disease of leaves, the above preparations are used very often, sometimes repeatedly in the growing season. Early in 1980ies a decrease of the efficiency of triazolic fungicides against powdery mildew was observed for the first time in Scotland.

Today in all countries with prevalent occurrence of powdery mildew, where systematic control measures are applied, a decreased susceptibility of powdery mildew populations to triazolic fungicides is observed.

As known, the only possibility of checking of the spreading resistance of fungi against fungicides is an alternate application of preparations with different mechanism of their action. As alternative substances not causing cross resistance morpholins are recommended, such as: tridemorph and fenpropimorph as well as other active substances, such as ethirimol, pyrosophos and sulphur.

Beside the alternate application of preparations, also application of combined preparations containing active substances with different mechanism of the action, distinguishing themselves with a high efficiency in the powdery mildew control would be purposeful.

The efficiency of the both methods has been proved by results of tests with the morpholines: tridemorph and fenpropimorph, carried out in various West-European countries.

Combined preparations containing triazoles and tridemorph are already available in the market. At lower temperatures morpholines are superior with regard to efficiency to triazoles and distinguish themselves with better resistance to out-wash.

Tridemorph was applied already for 15 years as the fungicide for protection of cereals without reduction of its efficiency. Somewhat prematurely would be to conclude that at application of morpholines the threat of immunization would be fully excluded, as tridemorph was applied on much smaller areas than triazoles. Therefore, the alternate application of active substances or of combined preparations should be regarded also in relation to morpholines as the safest measure allowing to preserve for the longest time their high efficiency.