

OXANA HABUŠTOVÁ, FRANCIŠEK SEHNAL

*Entomological Institute
Academy of Sciences
Branišovská 31, 370 05 České Budějovice
Czech Republic
E-mail: habustova@entu.cas.cz
sehnal@entu.cas.cz*

CZTEROLETNI BADANIA POŁOWE NAD ODDZIAŁYWANIEM KUKURYDZY BT NA ZESPOŁY STAWONOGÓW (ARTHROPODA)

WPROWADZENIE

Szereg gatunków stawonogów roślinożernych atakując rośliny uprawne w naszej strefie klimatycznej, a znacznie intensywniej w regionach podzwrotnikowych i zwrotnikowych, powoduje dotkliwe straty w plonach. Straty te próbuje się ograniczać wykorzystując różne metody ochrony roślin. Do tej pory najłatwiejsze i najbardziej popularne jest stosowanie syntetycznych insektycydów. Działają one skutecznie, ale ich pozostałości zanieczyszczają plony, glebę i wody i dlatego obecnie uważa się, że przy niewłaściwym i nieracjonalnym stosowaniu stanowią one poważne zagrożenie dla człowieka, zwierząt gospodarskich i środowiska. Stosowanie syntetycznych chemicznych środków ochrony roślin (do niedawna nazywanych pestycydami) jest ograniczone lub nawet zabronione w gospodarstwach ekologicznych, jednak często odbija się to na wysokości i jakości plonu, co skutkuje wyższymi cenami na te produkty. Rolnicy i ogrodnicy prowadzący produkcję ekologiczną chcieliby opierać walkę z agrofagami na czynnikach biotycznych (ang. bio-agents), opartych na organizmach naturalnie występujących w przyrodzie i będących w stanie zwalczać gatunki szkodliwe. Praktyka wykazuje, że można obniżyć liczebność populacji szkodników do poziomu, który nie przynosi strat ekonomicznych (poniżej tzw. progu ekonomicznej szkodliwości), jednak wymaga to wprowadzenia do uprawy znacznej ilości tych organizmów, wytwarza-

nych czy hodowanych w dużych ilościach w sztucznych warunkach. Jest to jednak kosztowne i czasami nie przynosi oczekiwanych rezultatów. Na przykład, w wielu krajach rozwiniętych masowo wprowadza się do środowiska małą, pasożytniczą błonkówkę z rodzaju kruszynek (*Trichogramma* spp.), której larwy rozwijają się w jajach szkodliwych gatunków motyli (Lepidoptera). Opracowano unikalne metody masowej hodowli tego parazytoida w sztucznych warunkach, jednak koszty tej produkcji niestety nadal są wysokie. Powoduje to, że stosuje się je tylko w uprawach cennych, których produkty są drogie, jak np. słodkiej kukurydzy.

Znacznie tańsze, i stąd powszechniej stosowane w wielu krajach (nawet do 90% wszystkich biologicznych czynników zwalczania szkodników – bio-agentów), są preparaty oparte na owadobójczej bakterii glebowej *Bacillus thuringiensis*. Preparaty te wytwarza się w kadziach fermentacyjnych i w formie zarodników stosuje się w uprawach polowych, lasach i miejscach wylęgania się komarów. Bakterie te, jak i ich produkty, zupełnie nie działają na organizm człowieka i innych kręgowców.

Każdy ze zidentyfikowanych szczepów *B. thuringiensis* działa bardzo selektywnie na wąski zakres gatunków owadów i nicieni. Dlatego jest możliwe przeprowadzenie zabiegu zwalczania wybranego gatunku szkodnika. Selektowność opiera się głównie na działaniu

krystalicznych białek (powszechnie określanych jako toksyny Cry), występujących w zarodnikach bakterii. Na przykład, toksyny grupy Cry 1 Ab działają aktywnie na gąsienice motyli (Lepidoptera), a białka Cry 3 Aa są toksyczne dla stonki ziemniaczanej, ale nigdy odwrotnie. Ta selektywność toksycznego działania decyduje o wyższości tych środków nad syntetycznymi pestycydami, które często niszczą, poza gatunkami szkodliwymi, również gatunki pożyteczne, jak owady zapylające czy pasożytniki. Inną ważną i zaletą biopreparatów jest brak szkodliwych pozostałości, ponieważ są one szybko degradowane przez mikroorganizmy. Ulegają one również zniszczeniu przez działanie promieni UV, łatwo są zmywane z powierzchni roślin do gleby, stąd niestety nierzadko stosowanie tych preparatów, opartych na *B. thuringiensis*, przynosi rozczarowania w praktyce.

Po ponad 50-ciu latach od pierwszego zastosowania opryskiwań roślin biopreparatami opartymi na *B. thuringiensis*, osiągnięcia genetyki molekularnej pozwoliły na opracowanie nowego, jeszcze bardziej skutecznego wykorzystania toksyn Cry w ochronie roślin przed szkodnikami. Metoda ta oparta jest na włączeniu genu tej bakterii, z ekspresją toksycznego Cry, do genomu rośliny, którą pragniemy chronić przed uszkodzeniami przez wybrany gatunek szkodnika. Gen ten jest jednym z wielu tysięcy, którego ekspresja ma miejsce w określonym stadium rozwojowym i pożądanym organie rośliny. Wytwarzane białko Cry w danej części rośliny, zjadanej przez wrażliwe gatunki szkodników jest dla nich toksyczne, ale nie dla innych konsumentów rośliny. Tak zmodyfikowane genetycznie rośliny (ang. genetically modified plants) stanowią obecnie najbardziej nowoczesną metodę ochrony roślin, która ogranicza czy eliminuje zanieczyszczenie środowiska pozostałościami syntetycznych pestycydów. Udowodniono, że jest ona mniej kosztowna w stosowaniu, przynosząc oszczędności finansowe dla rolników, nie niszczy wrogów naturalnych szkodników i zmniejsza zawartość innych szkodliwych produktów, jak np. aflatoksynami wytwarza-

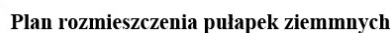
nymi przez patogeniczne grzyby i bakterie, rozwijające się na roślinach uszkodzonych przez szkodniki (ROMEIS i współaut. 2006). Dzięki tym korzystnym cechom, odmiany Bt zostały tak szybko zaakceptowane przez farmerów w USA, a następnie w innych regionach w świecie. Powierzchnia upraw z genami Bt wyniosła 32,1 mln ha w 2006 r. (JAMES 2006), co stanowi większy areal niż obejmuje terytorium Polski, włączając w to powierzchnię miast, wód i lasów.

Wprowadzając do uprawy odmiany GM wskazano nie tylko na korzyści, ale także oceniano stopień ryzyka dla środowiska, jednak nie wyeliminowało to wątpliwości dotyczących ich ubocznego działania, prezentowanych przez część naukowców i pewne grupy społeczeństwa. Wątpliwości wzbudziło także finansowe zaangażowanie biotechnologicznych firm nasiennych (większość nasion odmian GM jest rozprowadzanych przez firmy USA), a ponadto problem pogłębiło medialne rozprowadzanie kontrowersyjnych opinii wśród społeczeństwa. Spowodowało to znaczne opóźnienie akceptacji tych odmian w Europie. W tym rejonie wprowadzono już jednak do uprawy odmiany kukurydzy z ekspresją białka Cry 1 Ab (określane jako kukurydza Bt), toksycznego dla gąsienic omacnicy prosowianki (*Pyrausta nubilalis* [Hüb.]) (ORR i LANDIS 1997, CLARK i współaut. 2000). Jest to szkodnik powszechnie występujący w wielu krajach Europy, w tym Republice Czech, powodując znaczne straty w plonach, pomimo ponad 50-ciu lat intensywnych badań nad jego zwalczaniem (CANDOLFI i współaut. 2004). Kukurydza jest zbyt cenną uprawą, aby ignorować straty powodowane przez żerowanie gąsienic. Produkty kukurydzy wykorzystuje się jako paszę lub przerabia przez przemysł spożywczy na skrobię, płatki śniadaniowe, oleje, produkty alkoholowe, a ostatnio służy do produkcji biopaliw. Przygotowania do wprowadzenia odmian kukurydzy Bt do uprawy w Republice Czech i podjęcie prac nad oddziaływaniem tych odmian na środowisko w krajach Europy Środkowej, zainicjowało również nasze badania.

ZASTOSOWANA METODYKA BADAŃ

Doświadczenia polowe prowadzono na terenie południowej Czech (300 m n.p.m.), w okolicach Czeskich Budziejowic, w latach 2002–2005. Odmianę z insertem MON 810 i jej wyjściową odmianą izogeniczną – Mo-

numental, wysiano na 0,5 ha poletkach, rozmieszczonych losowo na polu o powierzchni 7,6 ha (2002) i 14 ha (2003–2005) (Ryc. 1). Pasy ugoru o szerokości 10 m oddzielały poszczególne poletka. Pasy brzeżne całego pola



podczas gdy tylko 0,06 ppm oznaczano w żdźbłach, 0,075 ppm w wieszce kwiatostanu i 0,08 ppm/g w pyłku. Zawartość Cry 1 Ab w ziarniakach wynosiła 0,025 ppm (stadium

Tabela 1. Liczba jaj i larw szkodnika – omacnicy prosowianki i wybranych grup gatunków niedocelowych na 50 losowo wybranych roślinach dwóch odmian kukurydzy (Bt i bez Bt) w latach 2002–2005.

Grupa owadów	2002		2003		2004		2005	
	Bt	Non-Bt	Bt	Non-Bt	Bt	Non-Bt	Bt	Non-Bt
Jaja omacnicy	0	0	0	0	5	9	24	92
Larwy omacnicy		59	0	79	0	14	0	35
Mszyce	776	591	727	1740	773	1345	8455	7114
Wciornastki	2499	3051	5547	4813	3322	3961	2947	3037
Drapieżce mszyc	231	190	224	240	92	148	57	69

dojrzałości mleczej) i 0,088 ppm/g w suchym ziarnie przechowywanym przez okres 6 miesięcy. Określona wartość stężenia była kilkakrotnie niższa od wartości 6,4–7,5 ppm Cry 1 Ab oznaczanej w liściach w 2002 r. przy pomocy innego zestawu analitycznego ELISA.

Nasze obserwacje polowe potwierdziły, że odmiany kukurydzy Bt zapewniają pełną ochronę przeciwko porażeniu roślin przez larwy omacnicy prosowianki. Rośliny GM nie odstraszały samic do składania jaj; były one składane losowo zarówno na roślinach Bt, jak i niezmodyfikowanych genetycznie. Jednak larwy znajdowano jedynie na roślinach kontrolnych (Tabela 1). Ponieważ z jaj złożonych na obu typach kukurydzy wylęgły się larwy, dlatego stwierdziliśmy, że zjawiska składania

jaj i wylęgania się larw były niezależne od występowania toksyny Bt w tkankach roślinnych. Młode larwy muszą ginąć wkrótce po wylęgu, w wyniku pierwszego żerowania, ponieważ nie obserwowaliśmy występowania wydrążonych korytarzy w źdźbłach roślin Bt. Zaskakujące były wyniki obserwacji, że procentowe uszkodzenia roślin kontrolnych odmiany wrażliwej systematycznie wzrastało na polu doświadczalnym z 6% w 2002 r., 8% w 2003 r., 16% w 2004 r., do ponad 47% w 2002–2005 r.

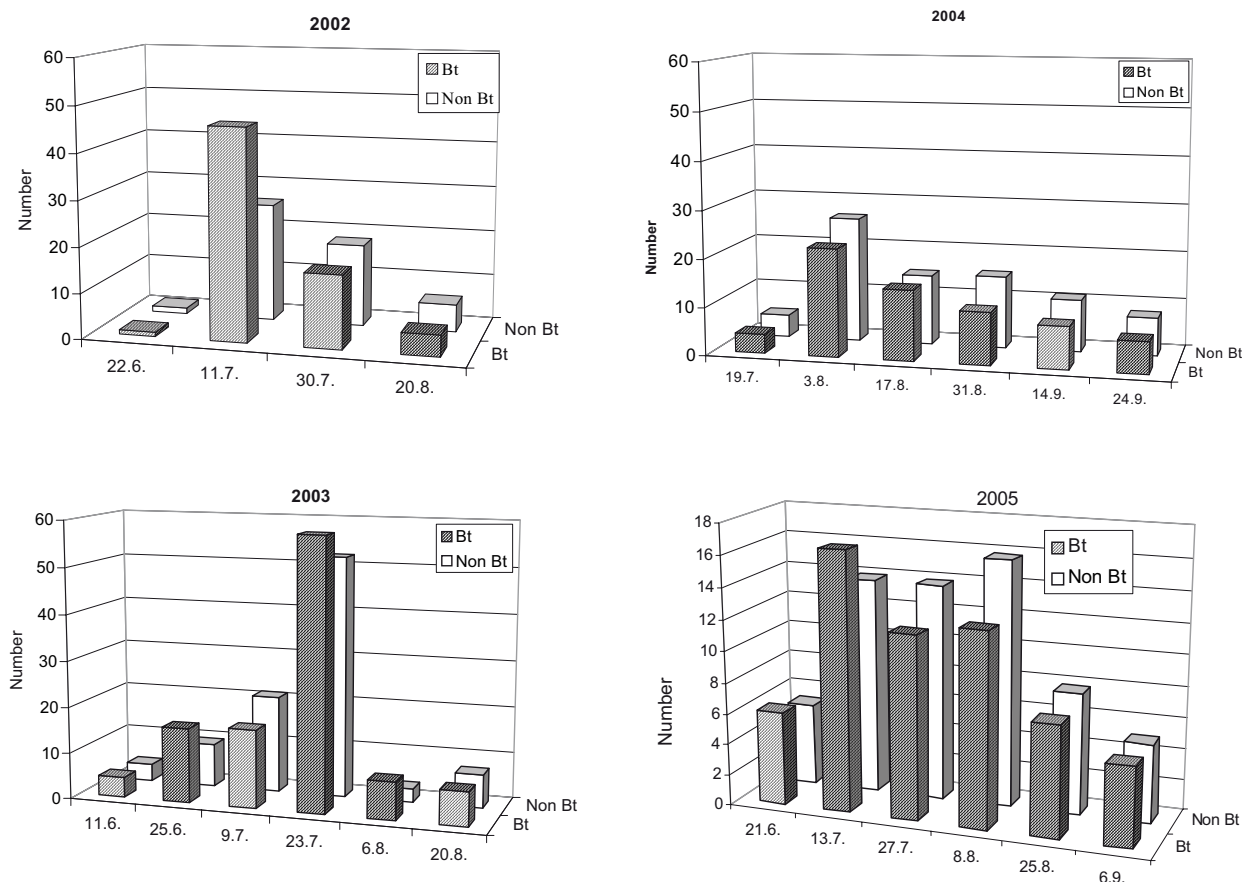
W 2004 r. rośliny obu odmian były sporadycznie atakowane przez gąsienice sówki *Helicoverpa armigera*. Były to pierwsze obserwacje nad wystąpieniem tego subtropikalnego gatunku motyla na terenie Czech.

WYSTĘPOWANIE ROŚLINOŻERNYCH GATUNKÓW NIEDOCELOWYCH

Najliczniejszymi gatunkami owadów występujących w uprawie kukurydzy były mszyce (Aphididea), wciornastki (Thysanoptera), drapieżne pluskwiaki różnoskrzydłe z rodzaju *Orius* spp. (Heteroptera), a w 2004 r. również drapieżny wciornastek – *Aelothrips fasciatus*. Mszyce występowały w znacznie większym nasileniu w sezonie wegetacyjnym w 2005 r., niż w latach 2003 i 2004. (Tabela 1). Prawdopodobnie populacja mszyc została silnie ograniczona w sezonie wegetacyjnym 2002 w wyniku intensywnych opadów deszczu. Dwa gatunki mszyc, *Rhopalosiphum padi* i *Metopolophium dirhodum*, występowały od czerwca do lipca na roślinach kukurydzy we wszystkich latach prowadzenia obserwacji. W początkowych dniach lipca 2004 r., dodatkowo stwierdzano występowanie innego gatunku mszycy, *Sitobion avenae*, zarówno na roślinach Bt (83 osobników/ro-

ślinę), jak i na roślinach kontrolnych (190 mszyc/roślinę).

Ze względu na znaczną rolę jaką odgrywają wciornastki (przyłżeńce) w układach troficznych upraw kukurydzy, systematycznie liczono ich zagęszczenie na obu odmianach kukurydzy. Roślinożerny gatunek, wciornastek zachodni (*Frankliniella occidentalis*), był najliczniejszym gatunkiem we wszystkich 4 sezonach wegetacyjnych (Ryc. 2). Pierwsze osobniki tego gatunku pojawiły się już na roślinach w stadium 4 liści i ich zagęszczenie osiągało maksimum w czasie kwitnienia kukurydzy, pod koniec czerwca i na początku lipca. Pik zagęszczenia populacji nimf miał miejsce prawie trzy tygodnie przed pojawieniem się osobników dorosłych. W lipcu znajdowano ponad 45 wciornastków/roślinę w 2002 r. i ponad 55 w 2003 r. Populacja wciornastków utrzymywała się na roślinach



Ryc. 2. Średnia liczebność osobników wciornastka zachodniego (*Frankliniella occidentalis*)/1 roślinę dwóch odmian kukurydzy w latach 2002–2005.

kukurydzy aż do ostatniego terminu pobierania prób pod koniec sierpnia. Obserwowano co prawda pewne różnice we fluktuacjach zagęszczenia populacji wciornastków na polatkach kukurydzy Bt i kontrolnych w czasie okresu wegetacyjnego, ale wydaje się to być zależne od lokalizacji danego polatka. Analiza statystyczna całorocznej dynamiki populacji wciornastków na obu odmianach kukurydzy wykazała brak istotnych różnic.

Nasilenie występowania wrogów naturalnych mszyc i wciornastków [drapieżne pluskwiaki z rodzaju *Orius* spp., kilka gatunków biedronek (Coccinellidae), złotook pospolity (*Chrysoperla carnea*)], wahało się na polach obu odmian w ciągu okresu prowadzenia badań. Jednak nie stwierdzono wyraźnego związku z odmianą kukurydzy.

WYSTĘPOWANIE NAZIEMNYCH GATUNKÓW CHRZĄSZCZY I PAJĄKÓW

Dorośle chrząszcze biegaczowatych (Carabidae), kusakowatych (Staphylinidae) i pająki (Araneae) dominowały w próbach owadów odławianych do pułapek ziemnych. Okazyjnie znajdowano znaczne ilości skoczogonków (Collembola) i dorosłych muchówek (Diptera), które prawdopodobnie wyleciały z populacji rozwijającej się w glebie w pobliżu umieszczenia pułapek. Owadów tych, jak i

innych grup stawonogów nie uwzględniono w naszych analizach ekologicznych.

Zagęszczenie populacji kusakowatych i pająków było wyższe w 2002 r., niż w latach 2003–2005 (Tabela 2), prawdopodobnie ze względu na specyficzny układ pola i zmiany pogody. Zmienność gleby na poszczególnych polatkach doświadczalnych i wpływ sąsiadującej roślinności mogły przyczynić się do

Tabela 2. Ogólna liczba odłowionych gatunków i osobników naziemnych chrząszczy i pajaków na polach z dwoma odmianami kukurydzy.

Grupa stawonogów	Liczba ogółem	2002		2003		2004		2005	
		Non-Bt	Bt	Non-Bt	Bt	Non-Bt	Bt	Non-Bt	Bt
Biegaczowate – <i>Carabidae</i>	Gatunków	30	32	25	21	40	38	36	38
	Osobników	3137	3012	1787	1694	6462	5766	5244	5881
Kusakowate – <i>Staphylinidae</i>	Gatunków	44	42	12	11	36	37	10	11
	Osobników	869	880	255	186	704	698	149	152
Pajaki – <i>Araneae</i>	Gatunków	38	36	23	14	21	15	18	22
	Osobników	2731	2664	2124	2114	6004	6285	4220	4431

powstania zmienności w ramach całego pola doświadczalnego.

Takie gatunki biegaczowatych jak: *Pterostichus melanarius*, *Pecilus cupreus* i *Bembidion quadrimaculatum*, były najliczniejszymi gatunkami z tej rodziny; *P. melanarius* i *P. cupreus*, stanowiły ponad 3/4 wszystkich osobników biegaczowatych w odławianych próbach. W przeciwieństwie do tej rodziny, nie udało się wyznaczyć gatunków dominujących wśród rodziny kusakowatych (Staphylinidae). Na przykład, w 2002 r., rzadki gatunek *Atheta* sp. występował w ilości 3-krotnie mniejszej niż najliczniejszy gatunek *Aleochara bipunstulata*.

W latach 2004–2005 gatunki podrodziny Aleocharinae występowały liczniej na poletkach odmiany kontrolnej niż na odmianie Bt. Innymi pospolitymi gatunkami na polu kukurydzy były: *Philonthus atratus*, *Lesteva longelytrata* i *Xabtholinus linearis*. Bogactwo gatunków biegaczowatych i kusakowatych było największe w 2004 r., prawdopodobnie z powodu wprowadzenia dużych ilości materiału roślinnego do gleby (Ryc. 3). Liczebność gatunków pajaków była podob-

na we wszystkich latach badań, z tendencją zniżkową na poletkach kukurydzy Bt. Jednak analiza statystyczna nie potwierdziła istnienia istotnych różnic. Zgrupowanie pajaków wykazało znaczne zróżnicowanie w zagęszczeniu gatunków dominujących i rzadko występujących (Tabela 3).

Zagęszczenie populacji gatunków naziemnych wykazało ostry wzrost w 2004 r. (Ryc. 4), prawdopodobnie również ze względu na przyoranie znacznej ilości materiału roślinnego, co zapewniło duże ilości pokarmu dla stawonogów odżywiających się rozkładającą się materią organiczną (detritophagi = saprofity), a to z kolei, zapewniało rozwój populacji drapieżnych chrząszczy.

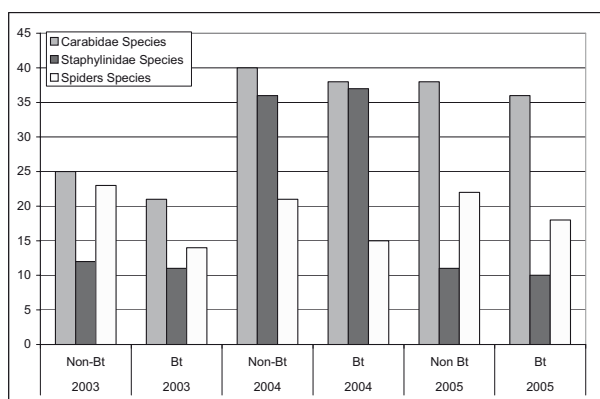
Wyniki uzyskane w 2004 r. poddano analizie Canoco, która wyznacza zależności pomiędzy zagęszczeniem chrząszczy a obecnością lub brakiem toksyny Bt i terminem obserwacji (liczbą dni od momentu wyłożenia pierwszej pułapki wiosną) (Ryc. 5). Oddzielne analizy wykonane przy pomocy programu symulacji Monte Carlo potwierdziły brak istotnego wpływu toksyny Bt ($p=0,72$; $F=0,795$), podczas gdy termin obserwacji był

Tabela 3. Liczby osobników najliczniejszych gatunków pajaków występujących na polach dwóch odmian kukurydzy.

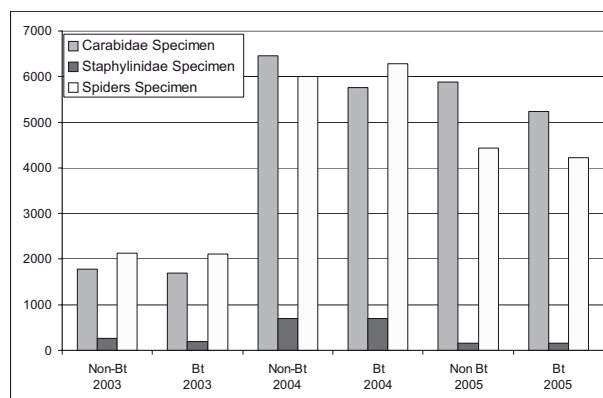
Gatunek	2002		2003		2004		2005	
	Non-Bt	Bt	Non-Bt	Bt	Non-Bt	Bt	Non-Bt	Bt
<i>Oedothorax apicatus</i>	2309	2290	1982	1987	5167	5317	3554	3734
<i>Pardosa agrestis</i>	27	61	36	14	273	262	355	285
<i>Trochosa ruricola</i>	23	16	48	52	194	298	22	67
<i>Pachygnatha degeeri</i>	45	38	2	2	75	40	48	117
<i>Porrhomma microphthalmum</i>	25	30	3	7	117	131	0	5
<i>Meioneta eurestris</i>	26	12	3	2	10	18	8	15

czynnikiem decydującym ($p=0,001$; $F=5.695$) dla zmienności liczebności biegaczowatych na różnych poletkach. Zmienność zagęszcze-

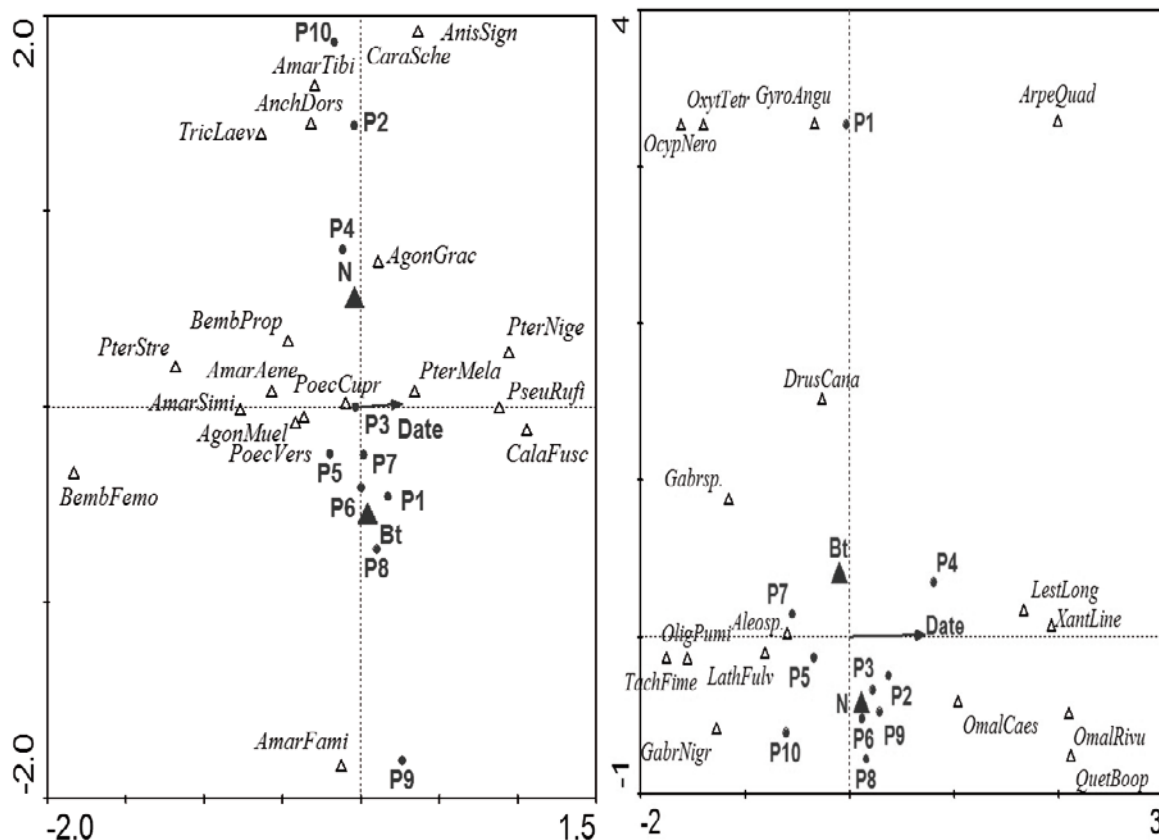
nia kluskowatych na poletkach z roślinami Bt i kontrolnymi była niezależna od występowania toksyny Bt ($p=0,884$; $F=0,749$).



Ryc. 3. Bogactwo gatunkowe zgrupowania drapieżnych chrząszczy i pajaków odłowionych w pułapkach ziemnych na polach dwóch odmian kukurydzy w latach 2003–2005.



Ryc. 4. Ogólna liczba osobników drapieżnych chrząszczy i pajaków odłowionych do pułapek ziemnych na polach dwóch odmian kukurydzy w latach 2003–2005.



Ryc. 5. Analiza metodą Canoco udziału poszczególnych gatunków biegaczowatych (wykres lewy) i kusakowatych (wykres prawy) (oznaczenia trójkątami) i ich sumy w przeliczeniu na poletko (P1, 3, 5, 7, 9 dotyczą odmiany Bt, a P2, 4, 6, 8, 10 odmiany konwencjonalnej) w 2004 r. Linia pozioma wskazuje terminy odłowów a pionowa wskazuje na częściowe, ale nie statystycznie istotne, różnice pomiędzy dwoma odmianami.

UWAGI KOŃCOWE

Dotychczas omacnica prosowianka nie była notowana na terenie południowej Boheimi, jako ważny szkodnik o znaczeniu ekonomicznym. Kilka lat wstecz, gatunek ten był znajdowany tylko przypadkowo i uważany za intruza przemieszczającego się z prądami powietrza z regionów południowych. Wzrost populacji tego gatunku na kukurydzy uprawnej w naszych badaniach wskazuje na ogólną tendencję wzrostu jego liczebności na terenie Czech. Pomimo znacznych różnic w przebiegu pogody pomiędzy sezonami wegetacyjnymi w latach 2002 i 2003, to zagęszczenie populacji omacnicy było podobne. W 2003 r. wszystkie znajdowane osobniki omacnicy były już w stadium poczwarki pod koniec sierpnia. Było to prawdopodobnie spowodowane wyjątkowo upalnym latem. Przypuszcza się, że larwy, które wylęgły się z jaj złożonych przez motyle, których lot miał miejsce na początku września, nie zdążyły dokończyć rozwoju przed zimą. Ponieważ osobniki dorosłe omacnicy nie są w stanie przetrzymać, dlatego poziom porażenia kukurydzy przez gąsienice wiosną 2004 r. był stosunkowo niewielki.

Nasze badania wykazały, że ekspresja toksycznego białka Cry 1 Ab w roślinach GM ma miejsce na długo przed składaniem jaj przez omacnicę. Potwierdziliśmy, że samice szkodnika nie wyróżniają roślin GM od kontrolnych i składają podobną liczbę jaj na obu typach roślin (ORR i LANDIS 1997), a także, że kukurydza Bt jest całkowicie odporna na porażenie przez larwy tego szkodnika (CLARK i współaut. 2000). Toksyna zabija młode larwy przed ich wgryzieniem się do wnętrza źdźbeł. Wyniki uzyskane przy pomocy testów ELISA wykazały, że stężenie toksyny w 2002 r. w liściach było ok. 5-krotnie wyższe, niż w 2003 r. Niestety, nie jesteśmy w stanie wyjaśnić przyczyny tych różnic, poza tym, że różne zestawy ELISA mogły dawać odmienne wskazania. Larwy omacnicy były skutecznie eliminowane w obu sezonach wegetacyjnych.

Wykazano wyraźnie, że zawartość toksyny Bt w kukurydzy GM nie wpłynęła negatywnie na liczebność populacji żadnego gatunku uwzględnionego w badaniach, poza omacnicą prosowianką. Brak oddziaływania na populacje mszyc nie jest zaskoczeniem ze względu na nieobecność toksyny w soku fłemu roślin Bt (RAPS i współaut. 2001). Inne doświadczenia jednoznacznie udowodniły, że mszyce *Rhopalosiphum padi* i *R. maidis* nie

pobierają toksyny w czasie żerowania na roślinach Bt, a rozwój populacji obu typach roślin jest identyczny (HEAD i współaut. 2001, DUTTON i współaut. 2002). Nie wiemy na razie czy wciornastki żerujące na kukurydzy Bt również unikają pobierania toksyny Bt. Stwierdzony brak reakcji może być podobny do obserwowanego u przędziorka chmielowca (*Tetranychus urticae*), który pobiera toksyczne białko Cry 1 Ab z roślin kukurydzy GM, ale nie działa ono szkodliwie na jego zachowanie i biologię (DUTTON i współaut. 2002).

W naszych ocenach nie eliminujemy możliwości, że w pewnych sytuacjach toksyna gromadząca się w ciele stawonogów roślinożernych może wpływać na gatunki drapieżne, których larwy żerują wyłącznie na roślinach kukurydzy Bt (HILBECK i współaut. 1998). Zmniejszenie liczebności złotooków, ale nie biedronek (Coccinellidae), zarejestrowano na polach doświadczalnych z kukurydzą Bt (WOLD i współaut. 2001). Uzyskane przez nas wyniki nie pozwoliły na statystyczną analizę różnic w zagęszczeniu tych drapieżców na roślinach obu odmian kukurydzy, a liczebność składanych jaj złotooków na roślinach Bt była zbliżona do liczby jaj złożonych na odmianie kontrolnej (różnice statystycznie nieistotne). Te same wnioski dotyczą liczebności larw i osobników dorosłych pluskwików *Orius* spp. Dane te potwierdziły obserwacje wykonane w warunkach kontrolowanych nad żerowaniem drapieżcy *Orius insidiosus* na gąsienicach, który pobierał toksynę Cry 1 Ab z pokarmem, ale nie wpływało to na jego rozwój (AL-DEEB i współaut. 2001).

Kilka gatunków stawonogów, licznie występujących w danym środowisku, określa się jako aerobionty. Są one klasycznymi gatunkami dominującymi w agrocenozach (ŁUCZAK 1975). Było to wyraźnie widoczne w naszych badaniach zespołów drapieżców naziemnych. Populacje biegaczowatych i kusakowatych, jak i pajaków, są ważnym elementem ekosystemów rolnych, ponieważ utrzymują one szereg gatunków potencjalnych szkodników na tolerowanym poziomie szkodliwości. Ich pokarm stanowią zarówno owady prowadzące nadziemny tryb życia, jak i żerujące na częściach podziemnych roślin, tym samym, może się odbywać przekazywanie toksycznych białek Bt na wyższe poziomy troficzne. Jednak pomimo znacznej ekspozycji tych drapieżców na toksynę Bt, zarówno zespoły

biegaczowatych, jak i kusakowatych, nie różniły się na poletkach kukurydzy Bt i kontrolnej. Kontrastuje to wyraźnie z wpływem syntetycznych insektycydów, które bez wyjątku zabijają i zmniejszają liczebność populacji owadów pożytecznych, jak np. chrząszcze biegaczowate (LEE i współaut. 2001).

Odławiane przez nas gatunki biegaczowatych są reprezentatywne dla fauny Europy Środkowej. *Pterostichus melanarius* i *Poecilus cupreus* dominowały w próbach zebranych w południowo-wschodnich regionach Republiki Czech (TIMRALEEV i współaut. 2002), a włączając *Pseudophonus rufipes*, również na obszarze Polski południowej (OLBRYCHT i CZERNIAKOWSKI 2002), jak również w rejonie na południe od Moskwy (WOLFENBARGER i PHIFER 2000). LUKA z współaut. (2000) badał sezonowe zmiany w populacjach tych gatunków w Szwajcarii i stwierdził, co jest zgodne z naszymi obserwacjami, że *Poecilus cupreus* występuje najliczniej w okresie wiosny, a następnie jest zastępowany przez *Pterostichus melanarius* na początku lata. W północnych Niemczech, dominujące gatunki, *Pterostichus melanarius* i *Bembidion lampros*, były związane z liczным występowaniem *Anchomenus dorsalis* i *Poecilus versicolor* (IRMLER 2003), gatunkami, które rzadko występowały na naszych polach doświadczalnych.

Gatunki kusakowatych (Staphylinidae), występujące w naszych próbach, są również reprezentatywne dla pól Europy Środkowej (BOHÁČ 1999). *Aleochara bipustulata*, gatunek który odżywia się larwami muchówek atakujących korzenie roślin Brassicae, dominował w naszych próbach zebranych w 2002 r., prawdopodobnie z powodu uprawy rzepaku na polu doświadczalnym w poprzednim roku. Inne gatunki kusakowatych powszechnie występujące w naszych odłowach, to saprofityczne gatunki *Omalium caesum* i *Oxytelus rugosus* oraz drapieżne gatunki z rodzaju *Xantholinus*, będące ważnym składnikiem epigenicznej fauny pól. Bardzo liczne występowanie *Quedius boops* (preferującego środowiska wilgotne) w 2002 r. wynikało z

wyjątkowo silnych opadów deszczu w tym roku.

Nasze wyniki badań pokrywają się z analizami wykonanymi przez innych autorów (HÄNGGI i współaut. 1995, SCHULER i współaut. 1998). Jest wiadomym, że *Oedothorax apicatus* preferuje zasiedlanie terenów rolniczych, *Trochosa ruricila* i *Pardosa agrestis* są również klasyfikowane jako agrobionty, natomiast *Erigone dentipalpis*, *Erigone atra*, *PORRHOMMA microphthalmum* i *Meioneta rurestris* są klasycznymi gatunkami zasiedlającymi tereny otwarte, włączając pola uprawne (ŁUCZAK 1975, BUCAR i RŮŽIČKA 2002). Kilka osobników *Arctosa leopardus* i *Pardosa prativaga*, odławianych w naszych pułapkach, przechodziło prawdopodobnie z mokrych terenów przylegających do pola doświadczalnego. Analiza całości zebranych danych wskazuje, że uprawa kukurydzy Bt nie wywierała negatywnego wpływu na populacje biegaczowatych i pająków, które dominowały w zespołach naziemnych stawonogów na badanych polach. Gatunki pająków: *Meioneta rurestris*, *Pachygnatha degeeri*, *Oedothorax apicatus*, and *Erigone dentipalpis*, które określono jako dominujące agrobionty (HÄNGGI i współaut. 1995), zajmowały odpowiednio miejsca: 8-me, 12-te, 1-e i 2-gie w zebranych przez nas próbach. Czwarty najliczniejszy gatunek na naszych polach doświadczalnych, *Pardosa agrestis*, określono jako najliczniejszy gatunek występujący na polach na Węgrzech (SAMU i SZINETÁR 2002). Stosunkowo licznie występujące takie gatunki jak: *Trochosa ruricola*, *Erigone atra*, *Bathyphanes gracilis*, i *PORRHOMMA microphthalmum*, mogą świadczyć o istnieniu specyficznych warunków w naszym regionie i na polu doświadczalnym.

PODZIĘKOWANIA

Przedstawione badania były częścią projektu badawczego AV0Z5007907 i finansowane w ramach grantu Z5007907-I011 przez Grant Agency of the Academy of Sciences, Czech Republic.

RESULTS OF A FOUR-YEAR STUDY OF THE BT MAIZE IMPACT ON ARTHROPOD COMMUNITIES

Summary

The cultivation of Bt maize, i.e. maize containing insecticidal toxin Cry1Ab that is normally produced by *Bacillus thuringiensis*, spreads rapidly all around the world. Field trials were performed in Czech Republic for four consecutive years to verify whether

its cultivation would not endanger beneficial arthropods. Bt and non-Bt maize were each grown on 5 plots of 0.5 ha that were distributed checker-wise in a 7.6 ha field in 2002 and a 14 ha field in 2003–2005. To increase the field load of Cry toxin, Bt

maize was grown in 2003–2005 on the same plots and in 2003 the plants at the waxy ripening stage were shredded to small pieces and ploughed into the soil. The content of Cry1Ab in plants was measured and samples of arthropods dwelling on the plants and of epigeic species caught in the traps were analyzed in 2-week intervals. The results revealed that maize leaves contained 1 ppm Cry1Ab provided full protection against the European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. Toxin content in pollen and grain was negligible. Numbers of aphids, thrips, and other insects

on the Bt and non-Bt plants were similar and independent of Cry1Ab. The same is true for the species richness and population abundance of epigeic carabid and staphylinid beetles and spiders. Differences among the plots in the species richness and population abundance depended on the year, date of collection during the season, and to some extent also on plot position within the field. We conclude that cultivation of Bt maize does not threaten arthropods other than the target species.

LITERATURA

- AL-DEEB M. A., WILDE G. E., HIGGINS R. A., 2001. *No effect of Bacillus thuringiensis corn and Bacillus thuringiensis on the predator Orius insidiosus (Hemiptera: Anthocoridae)*. Environ. Entomol. 30, 625–629.
- BOHÁČ J., 1999. *Staphylinid beetles as bioindicators*. Agric. Ecosyst. Environ. 74, 357–372.
- BUCHAR J., RŮŽIČKA V., 2002. *Catalogue of Spiders of the Czech Republic*. Peres, Praha.
- CANDOLFI M. P., BROWN K., GRIMM C., REBER B., SCHMIDLI H., 2004. *A faunistic approach to assess potential side effects of genetically modified Bt-corn on non-target arthropods under field conditions*. Biocontrol Sci. Technol. 14, 129–170.
- CLARK T. L., FOSTER J. E., KAMBLE S. T., HEINRICHS E. A., 2000. *Comparison of Bt (Bacillus thuringiensis Berliner) maize and conventional measures for control of the European corn borer (Lepidoptera: Crambidae)*. J. Entomol. Sci. 35, 118–128.
- DUTTON A., KLEIN H., ROMEIS J., BIGLER F., 2002. *Uptake of Bt-toxin by herbivores feeding on transgenic maize and consequences for the predator Chrysoperla carnea*. Ecol. Entomol. 27, 441–447.
- HÁNGGI A., STÖCKLI E., NETWIG W., 1995. *Habitats of Central European spiders. Characterisation of the habitats of the most abundant spider species of Central Europe and associated species*. Misc. Faun. Helv. 4, 1–460.
- HEAD G., BROWN C. R., GROTH M. E., DUAN J. J., 2001. *Cry1Ab protein levels in phytophagous insects feeding on transgenic corn: implications for secondary exposure risk assessment*. Entomol. Exp. Appl. 99, 37–45.
- HILBECK A., BAUMGARTNER M., FRIED P. M., BIGLER F., 1998. *Effects of transgenic Bacillus thuringiensis corn-fed prey on mortality and development time of immature Chrysoperla carnea (Neuroptera: Chrysopidae)*. Environ. Entomol. 27, 480–487.
- IRMLER U., 2003. *The spatial and temporal pattern of carabid beetles on arable fields in northern Germany (Schleswig-Holstein) and their value as ecological indicators*. Agric. Ecosyst. Environ. 98, 141–151.
- JAMES C., 2006. *Global status of commercialized biotech/GM crops*. ISAAA 35, 1–11.
- LEE J. C., MENALLED F. B., LANDIS D. A., 2001. *Refuge habitats modify impact of insecticide disturbance on carabid beetle communities*. J. Appl. Ecol. 38, 472–483.
- LUKA H., PFIFFNER L., NIGGLI U., 2000. *Impact of various crops on ground beetles (Coleoptera, Carabidae)*. Mittl. Entomol. Gesellsch. Basel 50, 18–38.
- ŁUCZAK J., 1975. *Spider communities in the crop fields*. Polish Ecol. Studies 1, 93–110.
- OLBRYCHT T., CZERNIAKOWSKI Z. W., 2002. *Różnorodność gatunkowa biegaczowatych (Col. Carabidae) w uprawie buraka pastewnego i na stanowiskach czasowo wyłączonej z produkcji rolniczej*. Prog. Plant Protection/ Post. Ochr. Roślin 42, 415–441.
- ORR D. B., LANDIS D. A., 1997. *Oviposition of European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) and impact of natural enemy populations in transgenic versus isogenic corn*. J. Econ. Entomol. 90, 905–909.
- RAPS A., KEHR J., GUGELI P., MOAR W. J., BIGLER F., HILBECK A., 2001. *Immunological analysis of phloem sap of Bacillus thuringiensis corn and of the nontarget herbivore Rhopalosiphum padi (Homoptera: Aphididae) for the presence of Cry1Ab*. Mol. Ecol. 10, 525–533.
- ROMEIS J., MEISSLE M., BIGLER F., 2006. *Transgenic crops expressing Bacillus thuringiensis toxins and biological control*. Nature Biotechnol. 24, 63–71.
- SAMU F., SZINETÁR C., 2002. *On the nature of agrobiont spiders*. J. Arachnol. 30, 389–402.
- SCHULER T. H., POPPY G. M., KERRY B. R., DENHOLM I., 1998. *Insect-resistant transgenic plants*. Trends Biotechnol. 16, 168–175.
- TIMRALEEV Z. A., ARYKOV V. A., BARDIN O. D., 2002. *Comparative analysis of ground beetle (Coleoptera, Carabidae) fauna and population in agroecosystems and meadows of Mordovia*. Zool. J. 81, 1517–1522.
- WOLD S. J., BURKNESS E. C., HUTCHISON W. D., VENETTE R. C., 2001. *In-field monitoring of beneficial insect populations in transgenic corn expressing a Bacillus thuringiensis toxin*. J. Entomol. Sci. 36, 177–187.
- WOLFENBAREGER L. L., PHIFER P. R., 2000. *The ecological risks and benefits of genetically engineered plants*. Science 290, 2088–2093.