

STANISŁAW IGNATOWICZ

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego — Akademia Rolnicza w Warszawie

MOŻLIWOŚCI ZWALCZANIA SZKODNIKÓW MAGAZYNOWYCH ZA POMOCĄ PROMIENI JONIZUJĄCYCH

CZEŚĆ II. ZAGADNIENIA ZWIĄZANE ZE STOSOWANIEM PROMIENIOWANIA W CELU DEZYNSEKCJI PRODUKTÓW MAGAZYNOWANYCH

Ze względów ekonomicznych sterylizujące lub letalne dawki promieniowania jonizującego powinny być wyznaczone bardzo dokładnie dla każdego zespołu szkodników występujących w różnych produktach i powinny być najniższe ze wszystkich dawek efektywnych. Szkodniki należące do różnych gatunków czy nawet ras jednego gatunku różnią się wrażliwością na promieniowanie jonizujące. Oddziaływanie promieni gamma, promieni X czy szybkich elektronów na owady i roztocze zależy także od ich wieku, płci, pokarmu, temperatury i innych czynników [20]. Świeżo złożone jaja mączlika młynarka (*Tenebrio molitor* L.) są 250 razy bardziej wrażliwe na promieniowanie niż jaja 7,5-dniowe [4].

Z chrząszczy najbardziej wrażliwe na promieniowanie jonizujące są strąkowce (*Bruchidae*) i wołki (*Sitophilus*), a do odpornych należą świrdrzyk cygarowiec (*Lasioderma serricorue* L.) i inne kołatkowate (*Anobiidae*), skórek zbożowy (*Trogoderma granarium* Ev.) i inne skórnikowate (*Dermestidae*) oraz pustoszwate (*Ptinidae*). Najbardziej odpornym chrząszczem jest *Palorus subdepressus* Woll. (*Tenebrionidae*), którego samice i samce po napromieniowaniu dawką 0,3 kGy* były płodne. Motyle są bardziej odporne na promieniowanie jonizujące niż chrząszcze, gdy np. porównujemy dawki wywołujące sterylność płciową. Wielokrotnie stwierdzono, że dawka 1 kGy promieniowania gamma nie sterylizuje wszystkich samic czy samców niektórych gatunków motyli, ale obniża bardzo ich płodność [26].

Jeśli przechowywane produkty są porażone przez wiele gatunków szkodników, dawka 0,5 kGy promieniowania jonizującego niszczy najbardziej odporne gatunki roztoczy, chrząszczy i stadia rozwojowe motyli [26]. Dojrzałe osobniki niektórych gatunków pozostają po zabiegu płodne, ale nieliczne potomstwo przez nie wydane jest zwykle bezpłodne z powodu odziedziczenia defektów genetycznych [2, 28].

* Legalną jednostką dawki pochłoniętej według układu SI jest grej (Gy). Relacje między „starą” i „nową” jednostką są następujące: 1 Gy=100 rad=0,1 krad; 1 krad=1000 rad=10 Gy.

Obniżenie dawki promieniowania jonizującego zalecanej do dezynsekcji produktów magazynowych jest ważne, gdyż tym samym niższy będzie koszt zabiegu. Wielu badaczy próbowało to osiągnąć stosując dodatkowy zabieg, po którym szkodniki były bardziej wrażliwe na promieniowanie.

Stosowanie promieniowania jonizującego wraz z innymi metodami zwalczania szkodników magazynowych

Promieniowanie podczerwone próbowano od dawna wykorzystać do suszenia ziarna i do niszczenia takich szkodników, jak strąkowiec fasolowy, strąkowiec grochowy, wołek zbożowy i rozkruszki. Promieniowanie lamp podczerwiennikowych o mocy 250 W i napięciu prądu 220 V zabija chrząszcze strąkowca grochowego ukryte w nasionach w czasie 3 minut [22]. Strąkowiec fasolowy ginie w ciągu 2 minut, a wołek zbożowy w ciągu 50 sekund, gdy odległość źródła nagrzewania od porażonych nasion wynosi 20 cm [25]. Podobnie szybko giną jaja, larwy i dorosłe chrząszcze w polu elektromagnetycznym o napięciu 220 V i częstotliwości 25 MHz [3].

Ogrzanie przechowywanego ziarna lub produktów jego przemiału przed, w czasie lub po napromieniowaniu może obniżyć odporność znajdujących się w nim owadów na promieniowanie i tym samym niższa dawka promieniowania będzie potrzebna do zniszczenia tych szkodników [13, 21, 27]. Każdy z wymienionych czynników fizycznych powoduje określoną śmiertelność szkodników, gdy jest stosowany pojedynczo (tab. 1). Na podstawie tych danych o śmiertelności owadów można wyliczyć oczekiwaną śmiertelność po zastosowaniu kombinacji zabiegów np. promieniowanie gamma i podczerwień, czy promieniowanie gamma i mikrofała. Dane uzyskane przez Tiltona i Browera [27] wskazują, że łączne zastosowanie dwóch czynników fizycznych spowodowało znacznie większą (o 11—24%) śmiertelność owadów niż oczekiwano. Kolejność zabiegu (np. najpierw promieniowanie gamma, potem podczerwień lub najpierw podczerwień, potem promieniowanie gamma) nie miała wpływu na wynik końcowy (tab. 2).

Zabieg dezynsekcji przechowywanych produktów za pomocą promieniowania jonizującego można łączyć z zabiegami chemicznego zwalczania owadów magazynowych [26]. Promieniowanie gamma w dawkach rzędu 43 kGy nie obniża toksyczności malationu i nie powoduje rozkładu tej substancji aktywnej.

Tilton i Burditt [28] stwierdzili, że chrząszcze trojszyka gryzącego (*Tribolium castaneum* Herbst) po napromieniowaniu dawką 0,1 kGy

Tabela 1

Śmiertelność (%) różnych stadiów wołka ryżowego po zastosowaniu promieniowania gamma i mikrofal oraz kombinacji obu zabiegów

Wiek owadów (dni)	Stadium rozwojowe	Zabieg				Oczekiwane obniżenie liczebności szkodników po zastosowaniu kombinacji zabiegów
		pojedynczy		kombinacja		
		gamma	mikro-fale	gamma+mikro-fale	mikro-fale+gamma	
2—5	A, B*	99	8	100	100	100
5—8	A, B	98	7	100	100	98
8—11	B	92	23	100	100	94
11—14	B	96	60	100	100	98
14—17	B	99	50	100	100	99
17—20	B	97	43	99	99	98
20—23	B, C	90	22	97	97	92
23—26	B, C, D	49	9	64	64	54
26—29	C, D	22	26	42	37	42
Razem		86	28	92	91	90

*) A=jajo, B=larwy, C=poczwarki, D=dojrzałe chrząszcze.

Tabela 2

Obniżenie liczebności populacji szkodników magazynowych rozwijających się w ziarnie pszenicy po zastosowaniu promieniowania gamma, podczerwieni lub mikrofal oraz wymienionych kombinacji zabiegów

Gatunek szkodnika	Obniżenie liczebności szkodników po zastosowaniu pojedynczego zabiegu		Otrzymane obniżenie liczebności szkodników po zastosowaniu kombinacji zabiegów		Oczekiwane obniżenie liczebności szkodników po zastosowaniu kombinacji zabiegów
	gamma	pod-czerwień	gamma+ podczer-wień	podczer-wień+gamma	
<i>Sitotroga cerealella</i>	52	55	93	93	79
<i>Rhyzopertha dominica</i>	54	55	99	—	80
	gamma	mikro-fale	gamma+ mikro-fale	mikro-fale+gamma	
<i>Sitotroga cerealella</i>					
<i>Rhyzopertha dominica</i>	54	74	96	97	88
<i>Sitophilus oryzae</i>	54	42	96	—	72
	86	28	92	91	90

i wyższą promieni gamma były nieco bardziej wrażliwe na toksyczne oddziaływanie malationu. Kombinacja obu czynników — promieniowania i substancji toksycznej powodowała wyższą śmiertelność chrząszczy niż każdy z czynników osobno. Erdman [17] stwierdził, że zabieg preparatem zawierającym DDT i promieniowanie gamma zastosowane łącznie są bardziej efektywne w zwalczaniu owadów niż tylko insektycyd lub tylko promienie gamma. Skuteczność kombinacji jednak nie była większa niż suma skuteczności promieniowania i insektycydu.

Niskie dawki bromku metylu i niskie dawki promieniowania gamma powodowały określoną śmiertelność owadów występujących w ziarnie zbóż, gdy były stosowane osobno. Wzrost śmiertelności owadów nastąpił, gdy oba zabiegi były zastosowane z tygodniową lub dłuższą przerwą, ale nie stwierdzono wyższej skuteczności kombinacji, jeśli okres między zabiegami był krótki [27].

Przy zastosowaniu niskiej temperatury i promieni jonizujących można obniżyć dawkę promieniowania przy zachowaniu wysokiej skuteczności zabiegu.

Wyniki przytoczonych badań wskazują, że dezynsekcja ziarna zbóż i produktów jego przemiału za pomocą promieniowania może być stosowana w kombinacji z konwencjonalnymi metodami chemicznego zwalczania szkodników magazynowych. Nie wszystkie sposoby ochrony produktów przechowywanych zwiększają skuteczność promieniowania jonizującego. Do nich należy np. przechowywanie produktów w azocie, w dwutlenku węgla, helu lub w podciśnieniu. Tlen zawarty w atmosferze i w tkankach szkodników wywiera duży wpływ na wydajność radiacyjną, gdyż w obecności tlenu atomy wodoru powstałe w wyniku radiolizy wody nie rozkładają H_2O_2 , lecz ulegają zmiataniu według reakcji $H + O_2 = HO_2$. Rodniki wodoronadtlenkowe HO_2 ulegają rekombinacji i powstaje nadtlenek wodoru H_2O_2 uwalniający tlen atomowy O. Tlen ten jest silnym utleniaczem, który powoduje powstawanie najróżniejszych defektów postradiacyjnych.

Również inne czynniki, które hamują aktywność komórek szkodników, pełnią rolę ochronną przed szkodliwym działaniem promieniowania.

Szkody powodowane przez napromieniowane owady

Wysokie dawki promieniowania rzędu 1 kGy nie zabijają natychmiast szkodliwych owadów i roztoczy. Szczególnie odporne są osobniki dorosłe, które po zabiegu mogą żyć przez 1—2 tygodnie, a nawet dłużej. Zabieg dezynsekcji produktu przechowywanego w magazynie za pomocą pro-

mieniowania jonizującego w dawkach rzędu 1 kGy będzie więc nieefektywny. Ponadto stosowanie promieniowania w wysokich dawkach jest czasochłonne, kosztowne, a co najważniejsze — traktowany produkt może utracić swoje właściwości.

W sytuacji, gdy nie możemy stosować promieniowania w celu spowodowania natychmiastowej śmierci owadów i roztoczy — szkodników magazynowych musimy wykorzystywać promieniowanie w dawkach niższych, np. 0,4—0,5 kGy, które sterylizują szkodniki. Roztocze i owady jednak pozostaną w traktowanym produkcie i będą powodować dalsze szkody.

Wielu badaczy zwróciło uwagę na zagadnienie szkód wyrządzanych przez napromieniowane owady. Stwierdzono, że napromieniowane wołki ryżowe (*Sitophilus oryzae* L.) pobierały w okresie 5 tygodni o 90% mniej pokarmu niż nietraktowane osobniki, a kapturek zbożowiec (*Rhyzopertha dominica* F.) o 97% mniej niż owady nie napromieniowane [27]. Wołek zbożowy napromieniowany dawką 0,16 kGy zjadał o połowę mniej pokarmu niż osobniki kontrolne [27], a Watters i MacQueen [29] stwierdzili, że cztery gatunki szkodników magazynowych napromieniowane dawką 0,625 kGy pobierały pokarm przez 14 tygodni po zabiegu, ale ilość zjedanego przez nich pokarmu była wyraźnie obniżona.

Również trojszyk gryzący odżywiał się po napromieniowaniu szybkimi elektronami, ale pobierał mniej pokarmu niż osobniki kontrolne [24].

Zaprzestanie żerowania, które obserwuje się u owadów napromieniowanych niskimi dawkami promieni gamma jest przede wszystkim wynikiem uszkodzenia jelita środkowego [1]. Larwy omacnicy spichrzanki (*Plodia interpunctella*, Hübner) napromieniowane dawkami 0,05—0,5 kGy promieni gamma pobierały nieznaczne ilości pokarmu i zapadały w letarg. W takim stanie żyły przez dłuższy okres czasu i nie kończyły rozwoju osobniczego. W ich jelicie środkowym następuje rozpad komórek regeneracyjnych, które odnawiają epitelium. W wyniku tych zmian owady zaprzestają żerowania i giną z głodu [1].

Czy mogą wykształcić się rasy owadów odporne na promieniowanie?

Powstawanie ras owadów odpornych na insektycydy jest dla nas ważne nie tylko z powodu utrudnienia w prowadzeniu zwalczania tych szkodników, ale także ze względu na możliwy ujemny wpływ pestycydów na otoczenie. Typową reakcją ludzką na spadek skuteczności działania zastosowanych pestycydów na odporną populację szkodnika jest powtarzanie zabiegów lub podwyższanie stosowanych stężeń. W konsekwencji, ilość pozostałości preparatów w roślinach i w środowisku wzrasta.

O rasach owadów — szkodników magazynowych odpornych na szeroko stosowane insektycydy doniósł po raz pierwszy Dyte [15, 16], który stwierdził m. in. odporność na malation wśród różnych gatunków owadów z różnych części świata.

Populacje trojszyka gryzącego występujące w magazynach są 44 razy bardziej odporne na malation niż populacja laboratoryjna, która nigdy nie była traktowana tym insektycydem. Odporność ta jest prosta, gdyż obejmuje tylko jeden pestycyd. Rasy odporne na malation są wrażliwe na inne insektycydy organofosforowe. Nie wykazują więc odporności krzyżowej.

Pojawienie się ras wykazujących odporność krzyżową może stworzyć sytuację, że nowe pestycydy wprowadzane na rynek mogą być nieskuteczne w zwalczaniu tych szkodników. Dezynsekcja przechowywanych produktów za pomocą promieniowania jonizującego jest szczególnie zalecana w przypadkach, gdy produkty są porażone szkodnikami odpornymi na chemiczne środki, gdyż nie stwierdzono dotychczas przypadku, aby owady odporne na pestycydy wykazywały odporność na promieniowanie.

Dwie różne populacje omacnicy spichrzanki odporne na malation były wrażliwe na jonizujące działanie promieniowania w podobnym stopniu jak populacja kontrolna, która nie była odporna na malation [5]. Rasa wszy głowowej (*Pediculus humanus humanus* L.) wysoce odporna na DDT nie była bardziej odporna na promieniowanie gamma niż rasa wrażliwa na DDT [11]. Rasa trojszyka wykazująca nieznaczną odporność na DDT była bardziej wrażliwa na promienie X niż inne rasy wrażliwe na DDT. Rasa trojszyka gryzącego odporna na DDT i malation była podobnie wrażliwa na promieniowanie jonizujące jak rasy wrażliwe [17].

W celu dezynsekcji produktów spożywczych stosowane będą niższe dawki promieniowania jonizującego powodujące sterylność płciową szkodliwych owadów i roztoczy, które występują i żerują w magazynach. Stosowanie niższych dawek promieniowania jest szczególnie uzasadnione względami ekonomicznymi. Należy jednak pamiętać, że zawsze nieznaczną część populacji szkodników otrzymuje dawkę promieniowania niższą od dawki, która je sterylizuje. Możliwy jest więc dalszy rozwój tej części populacji, która otrzymała dawkowanie substerylizujące. Czy stosowanie substerylizujących dawek promieniowania przez kilka pokoleń może wywołać powstawanie ras odpornych na promieniowanie?

Dotychczas przeprowadzono nieliczne badania dotyczące tego zagadnienia. Cornwell i Morris [14] nie stwierdzili wzrostu odporności pokolenia F_1 i F_2 wołka zbożowego pochodzących z napromieniowanej populacji, ale odnotowali, że pokolenie F_2 było bardziej wrażliwe na promieniowanie niż rasa, która nigdy nie była napromieniowana. Także Hossain

i wsp. [18, 19] oraz Brower i wsp. [10] nie stwierdzili wzrostu odporności na letalne oddziaływanie promieniowania jonizującego, gdy wiele pokoleń omacnicy spichrzanki i strąkowca *Callosobruchus maculatus* (F.) było napromieniowanych.

Ponad 25 pokoleń trojszyka gryzącego i wołka ryżowego napromienowano dawkami substerylizującymi (5, 10, 20 i 40 Gy), a płodność określono w 2-, 6-, 11-, 16-, 20- i 25-tym pokoleniu. Stwierdzono, że wzrost sterylności i zmniejszenie się rozrodczości zależało od wielkości dawkowania, a nie od liczby pokoleń poddanych napromieniowaniu. Po 25 pokoleniach „ostrej” selekcji przy dawkowaniu 20 Gy nie tylko nie stwierdzono wzrostu odporności na promieniowanie, lecz odnotowano wzrost sterylności owadów, obniżenie ich płodności i wzrost śmiertelności [6—9]. Podobne wyniki ogłosił Matin [23].

Podsumowanie

Obniżenie dawki promieniowania jonizującego zalecanej do dezynsekcji produktów magazynowych jest bardzo pożądane, gdyż tym samym zabieg zwalczania będzie szybszy, a jego koszt niższy. Można to osiągnąć stosując dodatkowy zabieg, po którym szkodniki będą bardziej wrażliwe na promieniowanie.

Dezynsekcję przechowywanych produktów można łączyć z chemicznymi zabiegami zwalczania szkodników magazynowych, gdyż po napromieniowaniu owady są bardziej wrażliwe na insektycydy niż owady nie napromieniowane. Nawet bardzo niskie dawki promieniowania nie rozkładają i nie neutralizują toksycznej substancji insektycydów. Dezynsekcja radiacyjna może być też stosowana w kombinacji z różnymi fizycznymi metodami zwalczania szkodników magazynowych.

Niszczenie roztoczy i owadów występujących w produktach przechowywanych za pomocą promieniowania jonizującego jest szczególnie zalecane w przypadkach, gdy produkty te są porażone przez szkodniki odporne na środki chemiczne. Rasy szkodników odporne na określone pestycydy są bardziej wrażliwe na promieniowanie jonizujące. Z drugiej strony, substerylizujące dawki promieniowania stosowane nawet przez 25 kolejnych pokoleń szkodniki nie powodują powstawanie ras odpornych na promieniowanie. Żywe owady, które po napromieniowaniu pozostają w produkcie, pobierają zwykle mniej pokarmu i wyrządzają mniejsze szkody niż owady normalne, co jest wynikiem postradiacyjnego uszkodzenia jelita środkowego.

LITERATURA

1. Ashraf M., Brower J.H., Tilton E.W.: *Radiat. Res.*, 45: 349, 1971.
2. Ashrafi S.H., Tilton E.W., Brower J.H.: *J. Econ. Entomol.*, 65: 1265—1268, 1972.
3. Biedroń S.: Zastosowanie pól elektrycznych wysokiej częstotliwości do dezynekcji żyta w wypadku występowania wołka zbożowego. Praca doktorska, 97 str., 1964.
4. Brower J.H.: *Can. Entomol.*, 104: 141—144, 1972.
5. Brower J.H.: *J. Econ. Entomol.*, 66: 461—462, 1973.
6. Brower J.H.: *Can. Entomol.*, 106: 241—246, 1974.
7. Brower J.H.: *Radiat. Res.*, 57: 73—81, 1974.
8. Brower J.H.: *Ann. Entomol. Soc. Amer.*, 67: 287—293, 1974.
9. Brower J.H.: *J. Can. Entomol. Soc.*, 47: 437—440, 1974.
10. Brower J.H., Hossain M.M., Tilton E.W.: *J. Stor. Prod. Res.*, 9: 43—49, 1972.
11. Cole M.M., LeBreque G.C., Burden G.S.: *J. Econ. Entomol.*, 52: 448, 1966.
12. Cornwell P.B.: *Insect Control*. In „Massive Radiation Techniques” George Newnes, London, pp. 141—198, 1964.
13. Cornwell P.B.: *The Entomology of Radiation Disinfestation of Grain*. Pergamon Press, Elmsford, N.Y., 236 pp., 1966.
14. Cornwell P.B., Morris J.A.: In „Large Radiation Sources in Industry”, vol. 2, *Conf. Proc.*, Warsaw, IAEA, p. 291, 1960.
15. Dyte C.E.: *Trop. Stored Prod. Inf.*, 20: 13—18, 1970.
16. Dyte C.E.: *EPPO Bull.*, 4: 257—289, 1974.
17. Erdman H.E.: *Ecology*, 47: 1066—1072, 1966.
18. Hossain M.M., Brower J.H., Tilton E.W.: *J. Econ. Entomol.*, 65: 673—676, 1972.
19. Hossain M.M., Brower J.H., Tilton E.W.: *J. Econ. Entomol.*, 65: 1566—1568, 1972.
20. Ignatowicz S.: *Post. Nauk Roln.*, (2): 97—116, 1983.
21. Lai P.K., Ducoff H.S.: *Rad. Research*, 72: 296—307, 1977.
22. Lityński M., Wiłkojé A.: *Roczn. Nauk Roln.*, A, 64: 625—639, 1954.
23. Martin A.S.M.A.: *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 26: 625, 1975.
24. Rogers W.L., Hilchey J.D.: *Ann. Entomol. Soc. Amer.*, 53: 584—590, 1960.
25. Sellke K.: *Nachrichtenblatt Deutsch. Pflanzenschutz*, 4, 1951.
26. Tilton E.W., Brower J.H.: In „Radiation Preservation of Food”, *Conf. Proc.*, IAEA, Vienna, pp. 295—309, 1973.
27. Tilton E.W., Brower J.H.: In „Preservation of Food by Ionizing Radiation”, vol. 2: 269—315, 1983.
28. Tilton E.W., Burditt A.K.: In „Preservation of Food by Ionizing Radiation”, vol. 3: 215—229, 1983.
29. Watters F.L., MacQueen K.F.: *J. Stored Prod. Res.*, 3: 223—234, 1967