

*Stanisław Ignatowicz*  
*SGGW, Katedra Entomologii Stosowanej,*  
*ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa*



PL0000416

Because of multiplicity of invertebrate pests of fresh and durable agricultural products which are traded internationally there are frequent instances where products are unacceptable without an approved prior disinfestation treatment. The majority of these pests are regulated by quarantine inspections at the ports of exit and entry. Where there is a risk of rejection of products if quarantine pests are found at inspection it is frequently prudent to apply a disinfestation treatment. Control of these pests in agriculture produce by fumigation is no longer desirable from the points of human health and global environment. Irradiation could be a feasible and practical alternative with a broad applicability to commodities and pests. Quarantine disinfestation of most agricultural products seems to be achievable at the recommended generic dose of 300 Gy. Because irradiation applied at doses ranging around 300 Gy does not cause immediate mortality of all insects, mites or nematodes, live pests could be present after treatment of agricultural produce intended for international trade. In such a case a marker of irradiation that is easily applied may be very useful in allaying concerns of some quarantine inspectors that inevitably occur when a living insect of quarantine importance is found in a shipment.

Już 37 krajów (1995 r.) zaakceptowało napromieniowywanie żywności jako jedną z metod utrwalania i poprawy jej jakości. Przewodzące kraje to RPA, USA, Wielka Brytania i Izrael, w których dozwolone jest napromieniowywanie ponad 40 różnych produktów spożywczych, m. in. zboża i ich przetwory (mąka), owoce (awokado, papaja, daktyle), suszone owoce i warzywa, nasiona strączkowych, orzechy, przyprawy i używki, suszone ryby. Obecnie na świecie jest 58 obiektów mających licencje na napromieniowywanie żywności. Najwięcej ich mają Chiny (10), Francja (8), RPA (6) i Stany Zjednoczone (6) [1]. W Warszawie-Włochy znajduje się pilotowa stacja radiacyjnego utrwalania żywności, wyposażona w akcelerator liniowy o dużej mocy, pozwalający uzyskać wiązkę elektronów o energii 10 MeV i mocy średniej do 10 kW. Parametry te pozwalają na prowadzenie procesu radiacyjnego w skali komercyjnej [2].

Międzynarodowa Grupa Konsultatywna ds. Radiacji Żywności (ICGFI) opracowała i opublikowała kodeksy dotyczące napromieniowywania następujących produktów: zboża, mięso drobiowe, przyprawy i zioła, owoce mango, banany, papaja, ziemniaki, cebula i czosnek, surowe i świeże ryby, żabie udka i skorupiaki.

Różne są cele napromieniowywania żywności. Cebula, czosnek i ziemniaki są napromieniowywane w celu zahamowania kiełkowania, owoce w celu opóźnienia procesów dojrzewania, a przyprawy w celu dekontaminacji [3]. Najczęściej napromieniowywane są przyprawy, których roczny obrót w handlu międzynarodowym szacuje się na 450 tysięcy ton o wartości 1,5 mld dolarów. Napromieniowywanie warzyw, owoców i przypraw niszczy też częste w nich szkodliwe owady i roztocze.

Możliwe jest też stosowanie promieniowania jonizującego w celu dezynsekcji różnych produktów rolno-spożywczych. Znaczne ilości zbóż napromieniowywano w porcie Odessa, przed złożeniem w ogromnych silosach [4]. W zabiegach

radiacyjnych wykorzystywano elektrony przyspieszane w akceleratorach, które ze względu na małą ich przenikliwość nadają się tylko do dezynsekcji materiałów sypkich (ziarno zbóż) lub opakowanych w bardzo cienką warstwę.

Produkty rolno-spożywcze znajdujące się w obrocie międzynarodowym muszą być wolne od obiektów kwarantannowych. W zabiegach kwarantannowych, których celem jest dezynsekcja porażonego produktu, techniki radiacyjne mogą znaleźć szerokie zastosowanie.

### Kwarantanna roślin

Ochrona roślin zajmuje się nie tylko zwalczaniem szkodników, chorób i chwastów już występujących, ale także zapobieganiem rozprzestrzenianiu się ich na sąsiednie obszary lub na nowe kontynenty. W poszczególnych krajach, na podstawie oceny panujących tam warunków klimatycznych i rolniczych, ustala się listy gatunków szkodników, chorób i chwastów (= listy obiektów kwarantannowych), które po przedostaniu się do tych krajów znalazłyby odpowiednie warunki dla swego rozwoju i stałyby się groźnymi agrofagami.

Zadaniem kwarantanny jest więc (a) uniemożliwienie przedostawania się inwazyjnych agrofagów z innych krajów (kwarantanna zewnętrzna) lub też (b) ograniczenie ich rozprzestrzeniania się w kraju na nowe obszary (kwarantanna wewnętrzna).

Kontrolą fitosanitarną materiału roślinnego, wwożonego do kraju i wywożonego, zajmują się inspektorzy służby kwarantannowej w punktach granicznych. Sprawdzają, czy przesyłki zostały zaopatrzone przez nadawcę w świadectwa fitosanitarne, przeglądają towar, badają w laboratorium pobrane próbki w celu wykrycia obiektów kwarantannowych i w końcu wydają orzeczenia fitosanitarne, zezwalające na wwiezienie towaru lub na jego zatrzymanie.

Również wszystkie eksportowane produkty rolne oraz przesyłki roślin są badane na obecność niepożądanych i szkodliwych organizmów. Przesyłki bez obiektów kwarantannowych są zaopatrywane w świadectwa zdrowotności, natomiast produkty porażone np. przez owady z listy kwarantannowej są poddawane zabiegom kwarantannowym, zanim podjęta będzie decyzja na wywiezienie ich do kraju importującego. Stosowane są następujące zabiegi kwarantannowe: (a) gazowanie bromkiem metylu lub fosforowodorem; (b) stosowanie niskich lub wysokich temperatur; (c) przetrzymywanie produktów w zmodyfikowanej atmosferze; (d) zanurzanie produktów (np. owoce) w roztworze pestycydu; (e) stosowanie promieniowania jonizującego [5].

Gazowanie (fumigacja), czyli stosowanie pestycydów w formie gazowej, jest najbardziej skuteczną metodą zwalczania szkodników kwarantannowych. U nas dozwolone jest gazowanie produktów tylko bromkiem metylu i fosforowodorem. Ostatnio stwierdzono, że bromek metylu i inne lotne związki bromu niszczą bardzo skutecznie ozon w stratosferze [6]. Bromek metylu będzie całkowicie zakazany w USA po roku 2000, a u nas po 2015 r.

Gdy w zabiegach kwarantannowych i w ochronie produktów przed szkodnikami magazynowymi są stosowane tylko dwa gazy (bromek metylu i fosforowódór), wówczas szybko dochodzi do wykształcania się ras szkodników odpornych na te fumiganty. Z podobnego powodu, w wielu krajach fosforowódór nie może być stosowany, gdyż już „nie działa” [7]. Alternatywą dla gazowania może być stosowanie promieniowania jonizującego.

## Zabieg kwarantanny polegający na napromieniowaniu produktów rolniczych

Zabieg kwarantanny polegający na napromieniowaniu produktów rolniczych i ogrodniczych został uznany przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (IAEA) w Wiedniu jako technicznie możliwy, skuteczny i w określonych przypadkach jako jedyny sposób dezynsekcji, który z powodzeniem może zastąpić fumiganty. Tylko promieniami jonizującymi można np. zniszczyć larwy ryjkowca *Sternochetus mangiferae* Fab., żerujące głęboko w pestce owocu mango.

Promieniowanie jonizujące wywołuje szybką śmiertelność szkodników tylko wtedy, gdy jest stosowane w stosunkowo wysokich dawkach, ponad 3000 Gy. Stosowanie promieniowania jonizującego w wysokich dawkach powodujących natychmiastowe zabicie występujących w produkcie owadów, roztoczy i nicieni jest drogie, a tym samym nie opłacalne. Zabieg taki może też uszkadzać napromieniowane produkty [5].

Dawki promieniowania zalecane w zabiegach kwarantannowych nie powinny być fitotoksyczne dla ciętych kwiatów, warzyw, świeżych ziół, owoców. Wyniki szczegółowych badań przeprowadzonych w ramach programu badawczego FAO/IAEA pt. "Use of Irradiation as a Quarantine Treatment of Mites, Nematodes and Insects other than Fruit Flies" [8] potwierdziły zróżnicowaną reakcję materiału roślinnego na promieniowanie jonizujące i pozwoliły na następujące uszeregowanie świeżych produktów pod względem ich wrażliwości na napromieniowanie:

(a) produkty o wysokiej tolerancji na promieniowanie jonizujące (do 1000 Gy): owoce - papaja, rambutan, karambola, litchi, mango; cięte rośliny ozdobne - paprocie, liście *Phoenix*, narcyze, *Limonium*, *Helichrysum*;

(b) produkty tolerujące promieniowanie jonizujące (do 700 Gy): świeże zioła - rozmaryn, tymianek, oregano, pietruszka; cięte rośliny ozdobne - tulipany, goryczki, goździki, gipsówka, dzwonek, statys, frezja;

(c) produkty średnio tolerujące promieniowanie jonizujące (do 500 Gy): świeże zioła - mięty, liście taro; cięte rośliny ozdobne - mieczyki, *Oncidium*, alstromeria, nagietek, gloriosa, lewkonia, tuberoza, *Callistephus*;

(d) produkty wrażliwe na promieniowanie jonizujące (poniżej 200 Gy): owoce: awokado odm. Shaewil; świeże zioła - koper, bazylia, arugula; cięte rośliny ozdobne - złocenie, róże, lilie, kalie, *Anthurium*, strelicje, jaskry, *Dendrobium*, *Heliconia*, gerbery.

Stwierdzono jednak, że wrażliwość świeżych produktów ogrodniczych na promieniowanie jonizujące zależy od ich jakości. Niskiej jakości materiał był bardziej wrażliwy na napromieniowanie jednakową dawką niż produkt wyborowy. O popromiennych uszkodzeniach materiału roślinnego decydują również warunki termiczne przed zabiegiem, w czasie napromieniowania i po zabiegu. Wysokie temperatury przyspieszają procesy starzenia się roślin i potęgują uszkodzenia popromienne, chociaż zmiany te mogą ulec złagodzeniu po zastosowaniu odpowiednich wodnych odżywek np. dla ciętych roślin ozdobnych.

### Dawki promieniowania jonizującego w zabiegach kwarantannowych

Wrażliwość wielu produktów na promieniowanie jonizujące determinuje zakres dawek, które polecane będą w zabiegach kwarantannowych. Wydaje się, że stosowane będzie napromieniowywanie produktów najniższymi dawkami, które

hamują wylęgalsność jaj, rozwój larw, przepoczwarczanie się, wylot osobników dojrzałych lub wywołują ich sterylność płciową.

Szkodniki należące do różnych gatunków, czy nawet ras jednego gatunku, różnią się wrażliwością na promieniowanie jonizujące. Oddziaływanie promieniowania na owady i roztocze zależy też od ich wieku, płci, pokarmu, temperatury i wielu innych czynników. Im młodsze jest stadium rozwojowe szkodnika, tym wyższa jest jego wrażliwość na promieniowanie jonizujące. Otrzymanie sterylnych osobników dorosłych muchówek, chrząszczy czy roztoczy wymaga zastosowania różnych dawek promieniowania [9].

Bardzo wrażliwe na promieniowanie jonizujące są larwy, poczwarki i osobniki dorosłe much owocowych (*Tephritidae*). W tabeli 1 podano najniższe dawki promieniowania, hamujące rozwój larw i zapobiegające wylotom form dorosłych much owocowych. Aby to kryterium skuteczności zabiegu kwarantannowego zostało spełnione, owoce zasiedlone przez larwy tych much wystarczy napromieniować dawką 150 Gy, a w wielu wypadkach nawet dawką niższą.

Tabela 1. Dawki promieniowania gamma hamujące rozwój larw much owocowych (*Tephritidae*) i zapobiegające wylotom osobników dorosłych

Gatunek szkodnika	Wiek larw	Roślina żywicielska	Wielkość testowanej populacji	Dawka (Gy) zapobiegająca wylotom osobników dorosłych
<i>Anastrepha ludens</i>	dojrzałe larwy	grejpfrut	82	50
<i>Anastrepha suspensa</i>	różne larwy	grejpfrut	1.285	25
<i>Bactrocera dorsalis</i>	różne larwy	mango	197.041	150
<i>B. cucurbitae</i>	różne larwy	różne owoce	18.000	100
<i>B. jarvisi</i>	larwy 5 dniowe	mango	153.814	101
<i>B. tryoni</i>	larwy 5 dniowe	mango	138.635	101
<i>B. tryoni</i>	dojrzałe larwy	pomarańcze	4.705	75
<i>Ceratitis capitata</i>	różne larwy	papaja	19.000	25
<i>Rhagoletis indifferens</i>	różne larwy	wiśnie	84.369	97

Wolki (*Sitophilus* sp.) i strąkowce (*Bruchidae*) są również bardzo wrażliwe na sterylizujące działanie promieniowania jonizującego, natomiast inne chrząszcze są bardziej odporne na promieniowanie niż muchówki.

Napromieniowywanie fasoli zasiedlonej przez strąkowca fasolowego już dawką 60 Gy może być zabiegiem zapewniającym akceptowany poziom bezpieczeństwa kwarantannowego, ale najbardziej odporne chrząszcze (np. *Palorus subdepressus* Woll.) zachowują jeszcze płodność po napromieniowaniu dawką 300 Gy, jednak dawki nieco wyższe wywołują całkowitą lub prawie całkowitą ich bezpłodność.

Dawka w granicach od 200 do 330 Gy promieniowania gamma niszczy prawie wszystkie stadia rozwojowe ryjkowca *Sternochetus mangiferae* w owocach mango. Dorosłe chrząszcze, które przeżyją ten zabieg, są sterylne płciowo. Dlatego przyjmuje się, że napromieniowanie porażonych owoców mango dawką 300 Gy gwarantuje bezpieczeństwo kwarantannowe (Tabela 2) [8].

Szkodniki należące do rzędu motyli (*Lepidoptera*) są znacznie bardziej odporne na działanie promieni jonizujących niż chrząszcze. Napromieniowanie daktyli

porażonych przez larwy mklka daktyłowca dawką 715 Gy było zabiegiem mniej skutecznym niż gazowanie bromkiem metylu. Po dwóch tygodniach stwierdzono w napromieniowanych daktylach żywe gąsienice mklka, które jednak nie zakończyły rozwoju i zginęły przed osiągnięciem stadium poczwarki [5]. Często jednak dawka 1,0 kGy promieniowania gamma nie sterylizuje wszystkich samic i samców, chociaż znacznie obniża ich płodność [9].

Tabela 2. Dawki promieniowania gamma hamujące rozwój różnych szkodników kwarantannowych i zapobiegające wylotom osobników dorosłych [8].

Szkodnik	Najważniejsze rośliny żywicielskie	Minimalna dawka (Gy)
Coleoptera <i>Sternochaetus mangiferae</i>	owoce mango	300 (brak wylotu)
Diptera <i>Liriomyza trifolii</i>	warzywa liściaste, cięte rośliny ozdobne	100 (brak wylotu)
Homoptera <i>Myzus persicae</i> <i>Pseudococcus comstocki</i> <i>Coccus viridis</i>	warzywa, rośliny ozdobne rośliny ozdobne, owoce rośliny ozdobne, owoce	200 (sterylność) 400 (sterylność) 750-1000 (częściowa śmiertelność dorosłych*)
Lepidoptera <i>Conopomorpha sinensis</i> <i>Spodoptera litura</i> <i>Cydia pomonella</i>	owoce litchi i longan cięte rośliny ozdobne owoce	250 (brak wylotu) 100 (brak wylotu) 250 (brak wylotu)
Thysanoptera <i>Frankliniella schutzei</i> <i>Retithrips syriacus</i> <i>Thrips tabaci</i> <i>Thrips palmi</i>	owoce cięte rośliny ozdobne cięte rośliny ozdobne warzywa, cięte rośliny ozdobne	250-300 (sterylność*) 200 (sterylność) 400 (sterylność) 1000 (śmiertelność larw); 400 (sterylność)
Acarina <i>Panonychus ulmi</i> (jaja) <i>Tetranychus cinnabarinus</i> <i>Tetranychus urticae</i> <i>Oligonychus biharensis</i>	owoce warzywa, rośliny ozdobne warzywa, rośliny ozdobne cięte rośliny ozdobne	150 (brak wylęgu larw) 320 (sterylność) 320 (sterylność) 200 (sterylność)
Inne szkodniki	różne produkty	300 (sterylność)

\*) wyniki wstępnych badań.

Szkodniki są płciowo sterylne po napromieniowaniu niskimi dawkami, które są zalecane w zabiegach kwarantannowych, ale mogą żyć po zabiegu nawet przez kilka tygodni. Dezynsekcja z zastosowaniem niskich dawek promieniowania jonizującego, po której w produkcie pozostają żywe, chociaż sterylne szkodniki, stwarza poważny problem. Służby kwarantannowe po stwierdzeniu żywych szkodników w produkcie, mogą taki produkt zdyskwalifikować, albo muszą być pewne, że zabieg kwarantanny został poprawnie wykonany, a znajdujące się w produkcie żywe owady lub roztocze nie stanowią zagrożenia kwarantannowego. Potrzebne są więc testy pozwalające odróżnić owady napromieniowane od nienapromieniowanych.

## Wykrywanie napromieniowanych szkodników

Test służący do wykrywania napromieniowanych szkodników powinien być prosty, szybki i nie wymagający zastosowania drogiej i skomplikowanej aparatury i procedury. Do tej pory zaproponowano nieliczne testy [10], z których tylko test oparty o zahamowanie pośmiertnej melanizacji ciała larw szkodników może znaleźć szerokie zastosowanie w granicznych punktach kwarantannowych.

Ostatnio stwierdzono [11, 12] obniżoną melanizację ciała larw muchy owocowej *Anastrepha suspensa* (Loew) i owocanki południówki (*Ceratitis capitata* (Wied.)) jako skutek zabiegu napromieniowania larw niskimi dawkami promieniowania gamma ( $\geq 20$  Gy). Podobne wyniki uzyskano w doświadczeniach z larwami chrząszczy i motyli, szkodników magazynowych [13-15]. Pośmiertna melanizacja ciała młodych larw tych szkodników była znacznie obniżona już po pierwszym tygodniu po napromieniowaniu i prawie całkowicie zahamowana w drugim i trzecim tygodniu. Stopień zahamowania melanizacji u napromieniowanych larw był wprost proporcjonalny do czasu, jaki upłynął od zabiegu do momentu oceny. Nie zależał jednak od wielkości dawki stosowanej w granicach od 100 do 500 Gy [13].

Test identyfikacji napromieniowanych owadów oparty o melanizację ich ciała jest testem prostym i szybkim [11-15]. Polega na umieszczeniu larw w niskiej temperaturze (poniżej  $-18^{\circ}\text{C}$ ) w celu ich zabicia, przeniesieniu do temperatury pokojowej i obserwacji stopnia ciemnienia ich ciała. Jeśli proces melanizacji przebiega bez zakłóceń, oznacza to, że badane larwy nie były napromieniowane. Jeśli ciało larw zachowuje zabarwienie osobników żywych, czyli nie ciemnieje, wtedy można uważać, że badane larwy były poddane działaniu promieni jonizujących.

## Literatura

- [1] Fiszer W.: Przem. Spoż., 50, 34-35 (1996).
- [2] Ignatowicz S., Międał W.: Pol. Agricult. Ann., Ser. E, 26, 1/2, 19-24 (1997).
- [3] Światowa Organizacja Zdrowia: Napromieniowywanie żywności. Technika utrwalania i poprawy jakości zdrowotnej. PWRiL, Poznań.
- [4] Zakladnoj G.A., Menishenin A.I., Pertsovskij E.S., Salimov R.A., Cherepkov V.G., Kszeminskij V.S.: Soviet Atomic Energy, 52, 74-78 (1982).
- [5] Ignatowicz S.: Materiały XXXII Sesji Nauk. IOR, 32, 1, 80-87 (1992).
- [6] Ignatowicz S.: Ochrona Roślin, 37, 7, 19-20 (1993).
- [7] Ignatowicz S., Zettler J.L.: Progress in Plant Protection, 37, 1, 139-144 (1997).
- [8] FAO/IAEA.: Report on The Final FAO/IAEA Research Coordination Meeting on Use of Irradiation as a Quarantine Treatment of Mites, Nematodes and Insects other than Fruit Flies. IAEA, Vienna, 1997, 20 pp.
- [9] Ignatowicz S.: Post. Nauk Roln., 2, 97-116 (1983).
- [10] Ignatowicz S., Zaedee I.H., Rahman R., Bhuya A.D.: Materiały XXXIII Sesji Nauk. IOR, 33, 2, 313-317 (1993).
- [11] Nation J.L., Smittle B.J., Milne K.: Ann. Entomol. Soc. Amer., 88, 201-205 (1995).
- [12] Mansour M., Franz G.: J. Econ. Entomol., 89, 695-699 (1996).
- [13] Ignatowicz S., Zaedee I.H.: Pol. Pismo Entomol., 65, 51-59 (1996).
- [14] Banasik-Sołgała K., Ignatowicz S.: Pol. Pismo Entomol., 66, 125-134 (1997).
- [15] Ignatowicz S., Banasik-Sołgała K.: Nukleonika, 42, 4, 801-812 (1997).