

JAN KSIAŻEK

ENERGIA ATOMOWA W OCHRONIE ROŚLIN

Na XIV Sesji Rady Europejsko-Śródziemnomorskiej Organizacji Ochrony Roślin, jaka odbyła się w dniach 13—16 maja 1964 r. w Paryżu, dokonano oceny aktualnego znaczenia roli i udziału energii atomowej w ochronie roślin. W celu zorientowania czytelników „Postępów Nauk Rolniczych” o stanie wiedzy i zakresie działania energii atomowej w ochronie roślin, zamieszcza się poniższą informację o tym zagadnieniu.

Fizyczne właściwości promieniowania jonizującego

Energia atomowa weszła w użytek jako środek teoretycznych i praktycznych badań biologicznych zaledwie około 30 lat temu, przy czym w ciągu ostatnich dziesięciu lat osiągnięto w tej dziedzinie bardzo poważny postęp. W zakresie ochrony roślin radioaktywność znalazła drogę do podstawowych nauk (mykologia, bakteriologia, wirusologia, entomologia, nematodologia, genetyka, chemia, fizjologia roślin itd.); inspirowała również i otwarła możliwości stosowania nowych technik w praktycznym zwalczaniu chorób i szkodników. Literatura na ten temat jest już olbrzymia, skondensowany jej przegląd może nam jedynie dać wskazówki co do najważniejszych, już stosowanych sposobów wykorzystania radioaktywności dla tych celów oraz co do szerokich możliwości jej wykorzystania w przyszłości.

Wysoka energia promieniotwórcza może być wytwarzana i przekazywana przy pomocy specjalnych urządzeń (reaktory, generatory elektrostatyczne, akceleratory linearne, cyklotrony, belatrony, lampy rentgenowskie), albo przez izotopy promieniotwórcze. Dla celów praktycznych rozróżnia się dwa główne typy promieniowań: promieniowanie korpuskularne (atomów i części elementarnych o wysokiej częstotliwości lub wysokiej energii) i fale elektromagnetyczne. Ostatnie badania wykazały, że nie ma jakiejś zasadniczej różnicy między tymi dwoma typami; w specjalnych warunkach możliwe są bowiem konwersje. Ogólna ilość wykrytych dotychczas pierwiastków i cząstek elementarnych przekracza już setkę, ale wiele z nich ma bardzo krótki żywot — ułamkową część sekundy. Cząsteczki te nie mają dla nas praktycznego znaczenia. Będą tu omawiane tylko trzy cząsteczki.

Cząsteczki β (beta) są to elektrony emitowane z zewnętrznych orbit atomu. Ładunek elektryczny -1 , ciężar atomowy 0,00055. Są one wytwarzane samoistnie z niską energią kinetyczną przez wielką ilość izotopów radu (np. Carbon-14, fosfor-22, Sulfur-35, Stront-89) lub sztucznie o wysokiej energii przez maszyny — akceleratory.

Neutrony — cząstki bez ładunku elektrycznego z jądra atomowego. Ciężar atomowy 1,009 g. Wytwarzane sztucznie przy zderzeniach jądrowych w reaktorach. Głębokie przenikanie.

Cząstki α (alfa) jądra helu. Ładunek elektryczny $+2$, ciężar atomowy 4,003. Wytwarzane samoistnie przez niektóre izotopy radu (np. Rad-226).

Właściwości fal elektromagnetycznych zależne są od długości fal, które obejmują b. szeroką skalę długości: od kilku kilometrów (długie fale radu) do bilionowych części milimetra (promienie kosmiczne). Długie fale z ich niską częstotliwością nie

powodują jonizacji w żywych tkankach, możemy je zatem wyłączyć z naszych rozważań.

Promienie ultrafioletowe — długość fali 10—100 μm . (poniżej widzialnego światła), energia niewystarczająca dla jonizacji, ale wystarczająca dla aktywacji zakłóceń elektronowych.

Promienie X — długość fali 0,1—0,01 μm . Wytwarzane przez lampy rentgenowskie różnego typu.

Promienie γ (gamma) — długość fali 10—0,1 $\text{m}\mu\text{m}$. Zdolność głębokiego przenikania. Wytwarzane przez różne izotopy radu (np. Kobalt-60, Cesium-137), często razem z cząstkami β . Dla oznaczania ilości lub dawek promieniowania używane są następujące jednostki:

c. curie — ilość promieniotwórczego materiału, odpowiadająca aktywności 1 g radu;

r. rentgen — ilość promieniowania promieniami X lub γ , wytwarzająca $2,1 \times 10^9$ par jonowych w 1 cm^3 suchego powietrza przy standardowej temperaturze i ciśnieniu. Wystawienie na promieniowanie promieniami X lub γ powoduje podniesienie się energii prawie o 100 ergów na g naświetlanej wilgotnej tkanki.

r e p — fizyczny odpowiednik rentgena — ilość energii wytwarzanej przez 1 r. promieniowania na 1 g wilgotnej tkanki. 1 rep daje podniesienie się energii o 93 ergów na g wilgotnej tkanki.

r a d — ilość wchłoniętej energii wytworzonej przez promieniowanie, odpowiadająca 100 ergom na g naświetlanej wilgotnej tkanki. (Dla celów praktycznych r, rep i rad przedstawiają w przybliżeniu równe ilości wchłonięcia energii).

Biologiczny skutek napromieniowania

Biologiczne działanie napromieniowania wysoką energią zależy w sposób zasadniczy od uwolnienia elektronów w atomach żywego materiału i uformowania się par jonowych, a w mniejszym stopniu również od pewnego wzrostu temperatury. Jonizacji towarzyszą reakcje biochemiczne w żywych tkankach. Przy napromieniowaniach o niskiej lub umiarkowanej intensywności reakcje te mogą tylko w małym stopniu zakłócić normalne funkcje komórek (czasami obserwowano sytmulację). Wyższe dawki napromieniowania spowodują nienormalny metabolizm i zakłócenia vegetatywnego i generatywnego podziału komórek, prowadzące do zahamowania wzrostu, jałowości i śmierci. Następująca tabela pokazuje z grubsza działanie stawek napromieniowania na różne systemy biologiczne (zastosowanie nauki o atomie w rolnictwie i wyżywieniu OEEC 1958).

| | R e p |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Śmiertelne dla człowieka | 800 |
| Zahamowanie kiełkowania ziemniaków i cebuli | 4 000— 12 000 |
| Śmiertelne dla owadów i pasożytów — szkodliwych organizmów wielokomórkowych | 25 000— 100 000 |
| Śmiertelne dla bakterii vegetacyjnych (z wyjątkami) | 50 000— 500 000 |
| Potrzebne dla pasteryzacji środków żywności (zabicie ponad 99% mikroorganizmów; drożdże i niektóre bakterie mogą pozostać przy życiu i powodować zmiany w składowaniu) | 300 000—1 000 000 |
| Potrzebna dla sterylizacji środków żywności (zabicie mikroorganizmów w 100%) | 2 000 000—5 000 000 |
| Potrzebna dla neutralizacji wirusów, toksyn bakteryjnych i enzymów | 5 000 000 |

Odkazanie zboża przez napromieniowanie

Dziedzina, w której stosowanie energii atomowej przeszło już przez początkowe próby, tak iż można było przejść do praktycznego jej wykorzystania, jest odkazanie składowanego zboża. Grupa ekspertów, powołana przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (IAEA) we Wiedniu w 1962 r. stwierdziła, że odkazanie zboża przez napromieniowanie jest rzeczą możliwą do wykonania przy uwzględnieniu aspektów entomologicznych, technicznych i ekonomicznych, a także zdrowotności. W 1963 r. IAEA zorganizowała misję do Pakistanu w celu zbadania możliwości zainicjowania urządzenia do doświadczeń; sprawozdanie tej misji, opublikowane w 1964 r., rzuca interesujące światło na zagadnienie techniki napromieniowania. Sprawozdanie przytacza również porównanie przyjętych powszechnie zabiegów fumigacji z napromieniowaniem (które opublikowane zostało w Cornwell w 1961 r.) — sugeruje ono pewne modyfikacje i podaje komentarze ekspertów, którzy brali udział w misji. „Porównanie” można streścić w następujących słowach:

1. Przy zastosowaniu zalecanej dawki napromieniowania promieniami γ (16 000 rad ze źródła 150 000 c Kobaltu-60) uzyskano bezpośrednią sterylizację reprodukcyjną, ale owady żyły dalej i odżywiały się jeszcze przez dwa lub trzy tygodnie (dla zabicia od razu konieczne jest zastosowanie dawki 100 000 rad, ale stoją temu na przeszkodzie koszty). Przy zastosowaniu fumigacji wszystkie gatunki zakażające zboże mogą być zabite od razu. Stadium dojrzałe jest najbardziej odporne na napromieniowanie, ale nie zawsze na fumigację.

2. Napromieniowanie najlepiej jest przeprowadzać na wielką skalę przy użyciu odpowiednich urządzeń, przez które zboże przepuszczane jest ruchem ciągłym. Metoda fumigacji ma charakter wszechstronny i może być stosowana, praktycznie biorąc, we wszelkiego rodzaju konwencjonalnych miejscach do składowania. Budynek, służący do składowania, podlega również działaniu odkazającym fumigacji, czego natomiast nie można powiedzieć o działaniu napromieniowania.

3. Pomimo poważnych kosztów, jakie są związane z napromieniowaniem, obliczenia wykazują, że urządzenia do napromieniowania można eksploatować kosztem równym temu, jakie pociąga za sobą zabieg fumigacyjny. Jednakże musi być przewidziana i zabezpieczona ciągłość działania; sezonowe i roczne zmiany w produkcji roślin i ładunku płodów poddawanych napromieniowaniu wpływają poważnie na aspekty gospodarcze tego sposobu odkazania.

4. Zabieg napromieniowania najlepiej wykonywać wykorzystując sposobność ładowania lub wyładowania z silosu, bo w ten sposób osiąga się oszczędność czasu. Przy fumigacji zboże trzeba trzymać w czasie działania środka fumigującego w zamknięciu przez czas, który waha się od 12 godzin do 14 dni — w zależności od środka, jaki został użyty.

5. Zastosowanie zalecanej dawki napromieniowania zboża w celu jego odkazania nie wpływa ujemnie na właściwości zboża, jeżeli chodzi o mielenie go i wypiek, ani na właściwości odżywcze. Problem spowodowania radioaktywności nie istnieje (metoda ta została ostatnio aprobowana bez zastrzeżeń przez Służbę Środków Żywności i Leków Stanów Zjednoczonych). Zabiegi fumigacyjne są oficjalnie i handlowo przyjęte wszędzie, należy jednak zachować ostrożność, aby uniknąć powstawania toksycznych pozostałości.

Konserwacja środków żywności przy pomocy napromieniowania

Napromieniowanie okazało się użyteczne dla celów zapobiegania kiełkowaniu kłębów ziemniaczanych, cebuli itd., przeznaczonych do późniejszego spożycia. Napromieniowanie ziemniaków promieniami γ dawką 8 000—10 000 rad dało w efekcie

zupełne zahamowanie kiełkowania, bez ujemnego wpływu na jakość kłębów, jak to zostało wykazane przy próbach gotowania i smażenia i analizach biochemicznych. W Kanadzie przenośne doświadczalne urządzenie do napromieniowania eksploatowane było przez kilka lat z doskonałymi wynikami. Eksperymenty w skali półpraktycznej przeprowadzone były również w wielu innych krajach.

Sterylizacja powierzchni świeżych owoców przy pomocy promieni ultrafioletowych i napromieniowanie promieniami β spowodowała pewne zwiększenie ich trwałości. Większość zakażeń przez grzyby pasożytnicze i saprofityczne oraz owady w owocach i warzywach umiejscowiona jest jednak głębiej i to napromieniowanie o stosunkowo niskiej energii nie sięga do nich. Promienie X, γ oraz przyspieszone β działają głębiej i mocniej — przy ich pomocy można zwalczać znaczną ilość patogenów. Jako przykład może służyć przeprowadzenie w Australii zabiegu na cytrynach przeznaczonych na eksport. Zabieg skierowany był przeciwko jajom i larwom *Dacus tryoni* — dawka wynosiła 10 000 rad. Jednakże mikroorganizmy są na ogół bardzo odporne na napromieniowanie i rozpiętość między dawką konieczną dla zabicia patogenu a dawką mającą szkodliwy wpływ na mięsz, kolor, smak i zapach produktów jest zwykle zbyt wąska, a niekiedy dawki te zachodzą nawet na siebie. Na ogół niedojrzałe tkanki są bardziej wrażliwe niż tkanki w pełni dojrzałe. Praktycznych wyników można spodziewać się w przypadkach, gdy mamy do czynienia np. z *Phomopsis* i grzybem rodzaju *Penicilium* w owocach cytrusowych, grzybem rodzaju *Botritis* i grzybem rodzaju *Rhizopus* u truskawek, z grzybem z rodzaju *Monilia* i *Rhizopus* u brzoskwiń (100 000—250 000 rad).

W wielu krajach prowadzone są badania w celu ustalenia możliwości stosowania napromieniowania w tych i innych dziedzinach konserwacji owoców.

Sterylizacja owadów

Jedną z najbardziej interesujących i obiecujących możliwości zastosowania energii atomowej dla celów ochrony roślin jest tzw. „metoda jałowych samców”. Metoda ta polega na hodowaniu i wypuszczaniu męskich osobników owadów, które zostały wyjałowione płciowo (zwykle w stadium poczwarek) przez wystawienie ich na działanie promieni γ ; ilość wypuszczonych samców przekracza znacznie normalną ilość samców istniejącą w naturze. Ocena liczebności populacji w ciągu czterech kolejnych pokoleń przy:

- 1) niezakłóconym pięciokrotnym rozplodzie;
- 2) wielokrotnym zastosowaniu zabiegu chemicznego zwalczania o skuteczności 90%;
- 3) wielokrotnym wypuszczaniu wyjałowionych samców i stworzeniu proporcji 10 jałowych samców — 1 płodny daje następujący obraz (początkowa populacja = P, następne pokolenia F₁ — F₃):

| Pokolenie | P | F ₁ | F ₂ | F ₃ |
|-------------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|
| 1. Niezakłócony rozplód | 1 000 000 | 5 000 000 | 25 000 000 | 125 000 000 |
| 2. Zabieg chemiczny | 1 000 000 | 500 000 | 250 000 | 125 000 |
| 3. Wyjałowienie | 1 000 000 | 50 000 | 2 500 | 125 |

Najważniejszymi warunkami pomyślnego stosowania „metody jałowych samców” są: możliwość masowej produkcji wyjałowionych samców bez obniżenia ich zdolności współzawodniczenia i zachowania się seksualnego, wypuszczanie jałowych samców w wystarczająco dużych ilościach i zabezpieczenie przed inwazją płodnych samców spoza terenu poddanego zabiegowi, która spowodowałaby zakłócenie w skuteczności zabiegu.

Całkowite zniszczenie szkodnika przy zastosowaniu tej metody przeprowadzone zostało po raz pierwszy na wyspie Curacao w Zachodnich Indiach, gdzie *Cochliomyia (Calitroga) hominivorax* powodowała wielkie straty w bydło.

W czasie od marca do maja 1954 r. wypuszczono 40 jałowych samców na milę kwadratową, co przekraczało 3 do 4-krotnie normalną liczebność populacji. Szkodnik zniszczony został w ciągu 9 tygodni. Tę samą metodę zastosowano w kilka lat później na Florydzie, gdzie szkodnik ten powodował roczne straty w wysokości 20 mln dolarów. Kampania trwała 17 miesięcy, w tym czasie wypuszczono 3 500 milionów jałowych samców; ogólny koszt wyniósł około 10 mln dolarów.

W 1962 r. kampanię przeciw temu samemu szkodnikowi rozpoczęto w Teksasie. Z powodu rozległości terytorium i braku naturalnych barier problem był tutaj trudniejszy niż gdzie indziej. W związku z tym ilość wypuszczonych jałowych samców wzrosła stopniowo do 100—150 milionów tygodniowo.

Grupa ekspertów IAEA w Wiedniu sporządziła w październiku 1962 r. wykaz innych owadów, do których można stosować „metodę jałowych samców”. Najbardziej obiecująco przedstawiała się możliwość zwalczania owocanki (*Ceratitidis capitata*), *Dacus tryoni*, nasionnicy oliwnicy (*Dacus oleae*). Ale przeprowadzono również interesujące eksperymenty z owocówką jabłkówekką (*Carpocapsa pomonella*), omacnicą prosowianką (*Ostrinia nubilalis*) i innymi.

W Szwajcarii zwalczanie chrabąszcza majowego (*Melolontha vulgaris*) przeprowadzone na małym obszarze dało w wyniku 90% zmniejszenie populacji w ciągu 2 lat, pomimo wypuszczenia stosunkowo niedużej ilości jałowych samców i złej izolacji obszaru.

Odmiany odporne wskutek spowodowania mutacji

Wpływ napromieniowania na podział komórek, a w szczególności możliwość spowodowania tą metodą podziału chromosomów i mutacji genów, był przedmiotem intensywnych badań genetyków od przeszło 30 lat. Niektóre wyniki doświadczeń z wyhodowaniem mutacji znalazły niedawno praktyczne zastosowanie. Odkrycie, że odporność na szkodniki i choroby ma często stosunkowo proste tło genetyczne, pobudziło w wysokim stopniu wykorzystywanie w tej dziedzinie wszelkiego rodzaju napromieniowań jonizujących. Dotychczas wyprodukowano wiele mutantów jęczmienia z dobrą odpornością na *Erysiphe graminis*; innym przykładem tego rodzaju są odmiany owsa odporne na *Helminthosporium* i odmiany ryżu odporne na *Cercospora*.

Promieniotwórcze atomy znaczone w badaniach biologicznych

Izotopy radu znalazły szerokie zastosowanie w podstawowych i praktycznych badaniach w celu ułatwienia studiów nad szkodliwymi organizmami, ich biologią, ekologią i metabolizmem. Łączy się je również z różnymi chemicznymi środkami ochrony roślin, aby śledzić ich działanie, rozkładanie się i pozostałości. Zajęłoby to nam dużo miejsca, gdybyśmy chcieli wyliczyć wszystkie ich wielostronne możliwości zastosowania, o których mamy wiadomości. Dla przykładu można podać, że najnowsza bibliografia IAEA cytuje ponad 800 prac traktujących wyłącznie o zastosowaniu izotopów radu w entomologii.