

TADEUSZ LITYŃSKI, ANTONI DOMNICZ

## MOŻLIWOŚCI I SPOSOBY ZAHAMOWANIA AKUMULACJI RADIOAKTYWNEGO Sr<sup>90</sup> W ROŚLINIE

Ogromnie szybko rozwijający się przemysł atomowy, zarówno o charakterze pokojowym, jak i militarnym, zwiększa z roku na rok stopień skażenia środowiska biologicznego odpadkami i pyłem radioaktywnym. Szczególną rolę odgrywają w tym doświadczenia z bronią jądrową, podczas których wytwarza się znaczna ilość pierwiastków radioaktywnych posiadających olbrzymią aktywność sumaryczną. Tak na przykład podczas wybuchu 10 megatonowej bomby atomowej początkowa aktywność powstałych pierwiastków radioaktywnych waha się około  $6 \cdot 10^7$ C, w tym na aktywność Sr<sup>90</sup> przypada około  $1,43 \cdot 10^6$ C, tj. w przybliżeniu 2,5% ogólnej aktywności (14). Po roku aktywność Sr<sup>90</sup> stanowi już jednak 95% ogólnej aktywności, większość bowiem pozostałych pierwiastków radioaktywnych posiada bardzo krótkie okresy półrozpadu (od ułamków sekundy do kilkudziesięciu godzin), dzięki czemu aktywność ich w stosunkowo krótkim czasie prawie całkowicie zanika.

Sr<sup>90</sup> jest więc w zasadzie głównym czynnikiem długotrwałego radioaktywnego skażenia środowiska. Pomiarzy zawartości Sr<sup>90</sup> w glebie, przeprowadzone w różnych rejonach kuli ziemskiej, wykazują stały wzrost stopnia skażenia radioaktywnego. Zawartość Sr<sup>90</sup> w glebach japońskich w latach 1954—1959 wzrastała w następujący sposób (12, 21):

1954	—	1	mC/km <sup>2</sup>
1955	—	5,5	„
1957	—	8	„
1958	—	15	„
1959	—	22	„

W ciągu więc 5-lecia aktywność gleby spowodowana Sr<sup>90</sup> wzrosła przeszło 20-krotnie.

Wzrostowi zawartości Sr<sup>90</sup> w glebie towarzyszy wzrost jego koncentracji w roślinności, gdyż jako pierwiastek o własnościach chemicznych bardzo zbliżonych do wapnia łatwo zostaje pobrany i przyswojony przez roślinę. Z pokarmem roślinnym Sr<sup>90</sup> przedostaje się z kolei do organizmu zwierzęcego i człowieka. Według danych z roku 1957 dla Wysp Brytyjskich, zawartość Sr<sup>90</sup> w glebie wahała się w granicach od 2,5 do

10 mC/km<sup>2</sup>, w trawie od 68 do 2550 mikromikrocurie/kg suchej masy, w kościach owiec 8,7—160 mikromikrocurie/g Ca, w mleku sproszkowanym 3,9—10,3 mikromikrocurie/g Ca, zaś w kościach jednorocznych dzieci 1,2 mikromikrocurie/g Ca. Z obliczeń wynika, że organizm 5-letniego dziecka otrzymuje rocznie od zawartego w jego szkielecie Sr<sup>90</sup> dawkę promieniowania wynoszącą 4 mikroremy \*, co stanowi 3,3% otrzymywanej przezeń dawki promieniowania uwarunkowanego naturalną radioaktywnością środowiska (radioaktywne pierwiastki w organizmie i otoczeniu — K<sup>40</sup>, C<sup>14</sup>, Ra, Th i in., oraz promieniowanie kosmiczne) (3).

Zwiększenie dawki promieniowania sztucznego, spowodowanego Sr<sup>90</sup>, nie jest na razie ani wielkie, ani też groźne dla organizmu człowieka. Należy jednak uwzględnić przy tym fakt, że skażenie środków spożywczych wzrasta niezwykle szybko i w latach 1958—1960 uległo podwojeniu. W Anglii np. od roku 1959 do 1960 zawartość Sr<sup>90</sup> w pożywieniu człowieka wzrosła z 2332 do 3576 mikromikrocurie na rok na jednego człowieka (24). Odpowiednie obliczenia wykazują, że nawet w wypadku zaprzestania prób nuklearnych (1957 r.) napromieniowanie sztuczne człowieka będzie nadal wzrastać i osiągnie w 1966 r. podwójną wartość dawki promieniowania naturalnego, a ilość przypadków nowotworów kości, spowodowanych przez Sr<sup>90</sup>, osiągnie 24 tysiące na 100 milionów ludności (20). Według danych japońskich poziom skażenia radioaktywnego w 1959 r. spowodował 1 140 000 przypadków nowotworowych (21).

Na podstawie dotychczas posiadanego materiału faktycznego nie można lekceważyć niebezpieczeństwa, jakie przedstawia skażenie środowiska Sr<sup>90</sup>, w szczególności zaś groźnych skutków akumulacji tego izotopu w organizmie człowieka. Stąd też w ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się zagadnieniu ochrony człowieka przed skutkami napromieniowywania wewnętrznego organizmu przez nagromadzony w kościach Sr<sup>90</sup>.

Dotychczasowe badania nad tym zagadnieniem idą w dwu zasadniczych kierunkach:

- a) bezpośredniego eliminowania skutków napromieniowania drogą odpowiednich zabiegów farmakologicznych;
- b) zapobiegania przedostawaniu się Sr<sup>90</sup> do organizmu człowieka.

Bezpośrednie eliminowanie lub zmniejszanie biologicznych efektów promieniowania jonizującego możliwe jest bądź to przez wprowadzenie do organizmu substancji o własnościach wiązania czynnych

---

\* 1 mikrorem = 10<sup>-6</sup> rema. 1 rem (roentgen equivalent man) — dawka promieniowania jonizującego, która pochłonięta przez organizm człowieka wywołuje w nim takie same skutki, jakie powstają w rezultacie zaabsorbowania przez tenże organizm 1 rada promieniowania rentgenowskiego o energii 200 keV i zdolności jonizacyjnej 100 par jonów na 1 mikron drogi w wodzie."

grup zjonizowanych promieniowaniem związków organicznych, względnie wody (np. cysteiny), bądź też przez wprowadzenie do organizmu substancji przyspieszających wydalanie Sr<sup>90</sup> (kompleksy, jonity, jony wapniowe, fluorowe, kwasy organiczne, niektóre substancje hormonalne itp.) (2, 5, 11, 15, 17).

Zapobieganie przedostawaniu się Sr<sup>90</sup> do organizmu człowieka. Najprostszym sposobem profilaktycznym jest nie spożywanie pokarmów skażonych Sr<sup>90</sup>. Sposób ten może mieć zastosowanie jedynie w wypadku lokalnego, ograniczonego skażenia produktów spożywczych (awaria reaktorów, intensywne lokalne opady pyłu lub deszczu radioaktywnego itp.).

Bardziej skomplikowanym zabiegiem jest usuwanie Sr<sup>90</sup> z produktów spożywczych i paszy na drodze preparatywnej. Sr<sup>90</sup> z mleka można usunąć w 90%, przepuszczając mleko przez kolumnę jonitową (11), z paszy zaś w 96% przez ługowanie kwasami (kwas solny, fosforowy, cytrynowy) i w 50% przemywając ją ciepłą wodą (1). Tego rodzaju odkażanie pokarmów nie będzie jednak łatwe w praktyce i raczej nie należy liczyć się z szerszym jego zastosowaniem ze względu na trudności techniczne oraz zachodzące przy tym straty składników pokarmowych (białek, węglowodanów, witamin, soli mineralnych i innych).

Ze względów praktycznych najbardziej realnym i powszechnym sposobem zapobiegania przedostawaniu się Sr<sup>90</sup> do organizmu człowieka byłoby zahamowanie pobierania tego izotopu przez rośliny uprawne.

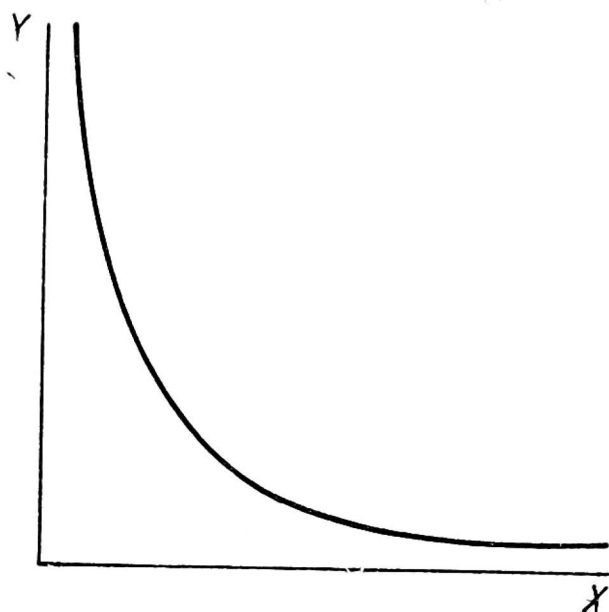
Organizm roślinny w procesie pobierania składników pokarmowych w zasadzie nie odróżnia strontu od wapnia, stąd też pobieranie Sr<sup>90</sup> zachodzi według tych samych prawidłowości co wapnia i innych składników pokarmowych. Stwierdzenie tego faktu ma zasadnicze znaczenie w omawianym problemie zahamowania akumulacji Sr<sup>90</sup> w roślinie. Bo- wiem czynniki wpływające na intensywność pobierania składników mineralnych są mniej lub więcej znane, a stąd przez stworzenie odpowiednich warunków w środowisku glebowym można do pewnego stopnia wpływać na intensywność pobierania Sr<sup>90</sup> przez roślinę.

Badania prowadzone w ostatnich 10 latach wykazały, że pobieranie Sr<sup>90</sup> przez rośliny najskuteczniej i najłatwiej zahamować można przez zastosowanie odpowiedniego nawożenia zarówno mineralnego, jak i organicznego.

Na glebach zakwaszonych wniesienie Ca powoduje znaczne obniżenie intensywności pobierania Sr<sup>90</sup> (6, 7, 10, 13, 22), natomiast wapnowanie gleb o odczynie zbliżonym do obojętnego w zasadzie nie wpływa na zawartość tego izotopu w roślinie (19).

Doświadczenia prowadzone z różnymi roślinami (zboża, ziemniaki, sałata) na różnych glebach wykazały istnienie ścisłej korelacji pomiędzy

pobieraniem  $\text{Sr}^{89}$  i zawartością wapnia w podłożu, przy czym stosunek  $\text{Sr}^{89}/\text{Ca}$  w roślinie uwarunkowany jest bezpośrednio zawartością wymiennego Ca w glebie, jak to ilustruje wykres (23).



y —  $\text{Sr}^{89}/\text{Ca}$  w roślinie  
x — Ca wymienny w glebie

Poza nawożeniem wapniowym na zmniejszenie pobierania  $\text{Sr}^{90}$  wywiera duży wpływ nawożenie potasowe, fosforowe oraz organiczne. Wnie-sienie potasu obniża pobieranie  $\text{Sr}^{90}$  w wypadku owsa nawet 20-krotnie, przy czym najbardziej skuteczny okazał się  $\text{K}_3\text{PO}_4$  (18, 19). Podobne działanie, lecz tylko na glebach lekkich, wywiera nawożenie organiczne (6, 7, 8).

Zależność działania nawożenia od rodzaju gleby ma miejsce nie tylko w wypadku nawożenia organicznego, lecz niemal w tym samym stopniu odnosi się i do nawożenia mineralnego. W zasadzie im gleba zawiera większy procent części sypialnych, tym silniej sorbuje  $\text{Sr}^{90}$  i tym mniejsze w rezultacie jest jego pobieranie przez rośliny (9, 16, 25).

Obszerne badania nad zależnością pobierania  $\text{Sr}^{90}$  przez różne rośliny od rodzaju gleby przeprowadził Guliakin ze współpracownikami (9). W doświadczeniach użyli oni 5 różnych roślin: groch, koniczyna, tymotka, owies i pszenica, oraz 5 rodzajów podłoża: piasek kwarcowy, gleba lekka, ciężka i czarnoziem.

Na wszystkich rodzajach podłoża zawartość  $\text{Sr}^{90}$  w ziarnie była od 10 do 20 razy niższa niż w słomie, natomiast stosunek  $\text{Sr}^{90}/\text{Ca}$  był nieco niższy w słomie niż w ziarnie. Pobieranie  $\text{Sr}^{90}$  było większe na glebie lekkiej od 2 do 20 razy niż na glebie ciężkiej i czarnoziemiu, przy czym we wszystkich niemal wypadkach zawartość  $\text{Sr}^{90}$  na jednostkę masy była wyższa w roślinie niż w glebie. Zatem  $\text{Sr}^{90}$ , podobnie jak i inne składniki mineralne, podlega koncentracji w organizmie roślinnym.



W zasadzie rośliny kalcifilne (np. motylkowe) odznaczają się większą akumulacją i większym współczynnikiem koncentracji Sr<sup>90</sup> w częściach wegetatywnych w porównaniu do innych roślin, natomiast nie stwierdzono istotnych różnic w wielkości współczynnika koncentracji w ziarnie przebadanych roślin.

Prawie wszystkie przytoczone tu prace, dotyczące problemu zahamowania akumulacji Sr<sup>90</sup> w roślinie, przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych i przy zastosowaniu dawek Sr<sup>90</sup> lub Sr<sup>89</sup> rzędu 0,1 mC/1 kg gleby. Są to dawki w zestawieniu z warunkami naturalnymi — ogromne, zawartość bowiem Sr<sup>90</sup> w 1 kg gleby na terenach najbardziej obecnie skażonych (Japonia, Stany Zjednoczone) waha się około 10<sup>-8</sup> mC, jest więc 10 milionów razy mniejsza od stosowanej w wymienionych wyżej pracach. Powstaje więc pytanie, czy i w jakim stopniu uzyskane dotychczas wyniki badań nad zahamowaniem akumulacji Sr<sup>90</sup> w roślinie znajdują potwierdzenie w warunkach praktyki.

Konieczne są również systematyczne i dokładne badania w celu wyjaśnienia warunków glebowych, w jakich występuje największy efekt nawożenia, wielkości dawek i kombinacji poszczególnych nawozów, okresu ich wniesienia, granicznej wielkości efektu na poszczególnych glebach i dla różnych roślin oraz szeregu innych zagadnień związanych z ograniczeniem akumulacji Sr<sup>90</sup> w roślinie.

#### LITERATURA

1. Annienkow B. N.: Izw. TSChA, 1953, nr 2.
2. Biełoborodowa N. Ł., Baranowa J. F.: Materiały po toksikologii radioaktywnych wieszcstw, w. 1, 1957.
3. Bryant F. J., Chamberlain A. C., Morgan A., Spicer G. S.: Repts. Atomic Energy Res. Establ., 1957, NHP/R 2353.
4. Chomutowskyj O. A.: Fizioł. ż., 1958, 4, nr 2.
5. Graul E., Hundeshagen H.: Z. Aerosol- und Therap. Forsch. 1957, 6, nr 2.
6. Guliakin I. W., Judincewa J. W.: Izw. TSChA, 1957, nr 2.
7. Guliakin I. W., Judincewa J. W.: Izw. TSChA, 1958, nr 1.
8. Guliakin I. W., Judincewa J. W.: Izw. TSChA, 1959, nr 3.
9. Guliakin I. W., Judincewa J. W., Pietrowa R. K.: Izw. TSChA, 1958, nr 5.
10. Haghiri F., Sayre J. D.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1961, 25, nr 2.
11. Kalchev K., Bonev L., Mitrani L., Dessev G., Robev S.: Dokł. Bołg. AN, 1961, 14, nr 5.
12. Lebiedinskij A. W.: Mieždunar. žizń, 1958, nr 6.
13. Lee C. C.: Science, 1961, 133, nr 3468.
14. Lejpunskij O. I.: Atomnaja energija, 1957, 3, nr 12.
15. Lewin S.: Brit. Veterin. J.; 1957, 113, nr 9.
16. Menzel R. G., Herald W. R.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1959, 23, nr 2.
17. Michon G., Jeanmaire L.: C. r. Acad. Sci., 1957, 244, nr 4.

18. Mielnikowa M. K., Docenko Ł. S., Kudielia A. D.: Tr. konfer. po radiac. higienie 1959, Leningrad 1960, s. 73.
19. Mielnikowa M. K., Docenko Ł. S., Kudielia A. D.: Tr. po agronom. fizykie, Moskwa 1960, wyp. 8.
20. Newcombe H. B.: Nature, 1957, 126, s. 549.
21. Pauling L., Sakata S., Tomonaga S., Vigier J. P., Yukawa H.: C. r. Acad. sci., 1959, 249, nr 11.
22. Romney E. M., Alexander G. V., Nishita H., Larson K. H.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1961, 25, nr 4.
23. Scheffer F., Ludwig F.: Z. f. Pflanzenernähr. Düng. u. Bdk., 1959, 85, nr 3.
24. Setter L. R.: J. Amer. Diet. Assoc., 1961, 39, nr 6.
25. Szirszowa R. A.: Poczwowiedienije, 1962, nr 3.