

Stosowanie izotopów w badaniach chemiczno-rolniczych

W chemii rolniczej jest wiele zagadnień, których nie można lub trudno rozstrzygnąć przy pomocy istniejących dotychczas metod chemicznych. Na przykład nie można oznaczyć, ile składników pokarmowych w zebranych przez nas plonie pochodzi z gleby, ile z nawozów, a ile z nasion. Dalej, czy pobrane przez roślinę i ulokowane w pewnych częściach rośliny związki chemiczne ulegają translokacji, czy składniki pokarmowe z liści i łodyg roślin jednorocznych przy dojrzewaniu przechodzą do korzeni i do gleby. Nieznana była szybkość przewodzenia pobranych pokarmów w roślinie. Niezmiernie mało było poznane pobieranie związków organicznych przez rośliny. Trudno stwierdzić pobieranie i przewodzenie składników pokarmowych danych na liście. Nie wyjaśniono dostatecznie choćby stosunkowo prostych procesów chemicznych zachodzących w roślinie. Spotykamy się z trudnościami przy oznaczaniu pierwiastków występujących w roślinie w znikomych ilościach.

Metodą pomagającą w szybkim rozwiązaniu tych i innych zagadnień jest zastosowanie izotopów. Izotopami nazywamy atomy tego samego pierwiastka, zawierające w jądrze jednakową liczbę protonów, a różniące się liczbą neutronów. Z punktu widzenia przydatności badawczej możemy podzielić izotopy na:

1. I z o t o p y t r w a ł e, stabilne, nieradioaktywne, które różnią się od innych izotopów tego samego pierwiastka tylko swoją masą atomową. Na przykład N^{15} jako trwały izotop różni się od N^{14} tylko większą masą atomową. Inne izotopy azotu, jak N^{13} i N^{16} , są izotopami radioaktywnymi. Zastosowanie stabilnych izotopów jest trudne dlatego, że trzeba przy ich oznaczaniu posilkować się jedynie różnicą w ich masie. Do mierzenia tej masy służą skomplikowane i drogie przyrządy: spektrograf lub spektrometr mas. Izotopy stabilne można też rozdzielać na drodze centrifugowania i dyfuzji. Aczkolwiek oznaczanie izotopów stabilnych jest połączone z takimi trudnościami, to jednak w badaniach nad azotem stabilny izotop N^{15} bywa stosowany ze względu na ważność tego pierwiastka w życiu roślin oraz ze względu na to, że znane izotopy radioaktywne azotu mają krótki okres połowicznego rozpadu. Stabilne izotopy posiadają jeszcze inną niedogodną właściwość — dają się oznaczyć dopiero po zniszczeniu rośliny.

2. I z o t o p y r a d i o a k t y w n e, które możemy podzielić na dwie grupy: a) naturalne izotopy radioaktywne i b) sztucznie otrzymywane izotopy radioaktywne.

Naturalne izotopy radioaktywne znajdują się w stałym stosunku do innych izotopów nieradioaktywnych danego pierwiastka. Tak na przykład naturalny radioaktywny izotop potasu K^{40} znajduje się zawsze w ilościach 0,011% w stosunku do całej ilości potasu. Zmiana tego sto-

sunku jest bardzo utrudniona i dlatego wartość badawcza tego izotopu jest już z tego powodu bardzo mała. Dochodzi jeszcze do tego bardzo długi okres półtrwania wynoszący $1,33 : 10^9$, co powoduje bardzo słabą promieniotwórczość. Tym niemniej izotop ten znajduje pewne zastosowanie. Tak na przykład można się posiłkować tym izotopem do oznaczania potasu, opierając to oznaczenie właśnie na promieniotwórczości potasu i na stałym stosunku, w jakim on występuje we wszystkich solach potasowych. Naturalny radioaktywny izotop potasu K^{40} , podobnie jak inne izotopy radioaktywne, zaciemnia płytę fotograficzną, możemy więc studiować rozmieszczenie potasu w poszczególnych częściach rośliny.

Największe znaczenie badawcze posiadają jednak sztucznie otrzymane izotopy radioaktywne. One to służą do znakowania izotopów nieradioaktywnych. Dodatek często bardzo znikomej ilości radioaktywnego izotopu pozwala na bardzo dokładne śledzenie losów danego pierwiastka w glebie i roślinie. Radioaktywny izotop różniący się od nieradioaktywnego izotopu nie tylko swoją masą atomową, ale również promieniowaniem, pozwala na śledzenie tego pierwiastka za pomocą metod mierzenia promieniotwórczości. Taki radioaktywny izotop posiada swoje radioaktywne własności we wszystkich związkach, w których występuje. Stąd wynika, że możemy go wykryć w glebie, w roślinie, i to roślinie żywej. Na tym polega ta wielka różnica w wartości badawczej radioaktywnych izotopów w porównaniu z izotopami stabilnymi.

Sztuczne pierwiastki promieniotwórcze otrzymuje się przez bombardowanie atomów różnych pierwiastków za pomocą odpowiednich „pocisków atomowych“. Jako pociski mogą służyć cząstki α protony (p), neutrony (n) i deutrony (d), fotony (γ). Muszą one być jednak obdarzone odpowiednio dużą energią. Dla przykładu podajemy reakcję jądrową, gdzie zastosowano bombardowanie cząstkami α : ${}_{13}\text{Al}^{27} + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_{15}\text{P}^{30} + {}_0\text{n}^1$.

Dostatecznie wielką energię, konieczną do przemiany bombardowanych pierwiastków, wyżej wymienione elementy budowy materii otrzymują w odpowiednich aparatach, np. w cyklotronach.

Pierwiastki promieniotwórcze mogą też powstać na skutek pęknięcia jąder atomów o wyższych liczbach atomowych (i kruszenia jądra). Promieniotwórczość powstałych pierwiastków wynika z tego, że są one nietrwałe i „wyrzucają“ na zewnątrz elementy budowy materii (cząstki, kwanty γ) i na skutek tego stają się innymi pierwiastkami, już trwałymi.

Promieniotwórczość pierwiastków może być różna. Wyróżnia się następujące typy przemian promieniotwórczych:

Przemiana typu α polega na rozpadzie jądra izotopu z emisją cząstek α (jądra helu).

Przemiana tego typu występuje tylko u najcięższych, sztucznie otrzymanych izotopów promieniotwórczych (począwszy od Bi_{83}^{198}). Nie zachodzi zaś w żadnym z pierwiastków uznanych za niezbędne do życia roślin. Na skutek tej przemiany powstaje pierwiastek lżejszy o 4 jednostki masy i ma mniej o 2 protony, zajmując w układzie okresowym o 2 miejsca wstecz od pierwiastka macierzystego.

Przemiana typu β jest to taka przemiana jądrowa, w której zostaje wyrzucony elektron ujemny lub elektron dodatni — pozyton. Ponieważ w jądrze nie ma ani elektronów ani pozytonów, istota tego procesu polega na przemianie nukleonów. Przy rozpadzie β^- jeden z neutronów jądra

przemienia się w proton i następuje emisja elektronów, np. ${}_{15}\text{P}^{32} \rightarrow {}_{16}\text{S}^{32} + \beta^-$. Powstały pierwiastek zachowuje w przybliżeniu masę pierwiastka macierzystego i zajmuje w układzie okresowym jedno miejsce naprzód. Przy rozpadzie β^+ jeden z protonów staje się neutronem i następuje emisja pozytonu, np. ${}_{15}\text{P}^{30} \rightarrow {}_{14}\text{Si}^{30} + \beta^+$. Powstaje nowy pierwiastek o prawie tej samej masie, zajmujący w układzie okresowym jedno miejsce wstecz.

Promienie β mogą być wyrzucane z większą lub mniejszą energią. Promienie obdarzone dużą energią nazywane są twardymi, przenikanie ich jest intensywniejsze. Promienie β wyrzucane ze stosunkowo mniejszą energią nazywane są promieniami β miękkimi.

Do grupy procesów β zalicza się często przemianę zwaną wychwytem K. Jest to taka przemiana protonu w neutron, w której jądro chwyta ze swej sfery elektronowej najbliższy jądra jeden elektron. W wyniku „zobojętnienia“ protonu powstaje pierwiastek uboższy o jeden ładunek dodatni, przesunięty w układzie okresowym o jedno miejsce w lewo. Oznaką zachodzącego wychwyty K jest miękkie promieniowanie rentgenowskie oraz elektron Auger.

Emisja kwantów γ towarzyszy często przemianom α i β bez zmian własności powstających w tych przemianach pierwiastków, a może też powodować przekształcenie izotopów pierwiastka w nową odmianę o innym okresie półtrwania. Jest to tak zwana izomeria jądrowa, polegająca na istnieniu odmian pierwiastków o jednakowej liczbie protonów i neutronów różniących się tylko ich stanem energetycznym, co powoduje, że mają różny okres półtrwania.

Promieniowanie pierwiastków radioaktywnych wywołuje różne efekty, np. zdolne jest do zaczerniania kliszy fotograficznej. Zdolność ta jest szeroko wykorzystywana w badaniach z tymi izotopami. Nienaruszone liście lub inne części roślin zawierające izotopy promieniotwórcze, umieszczone w kontakcie z kliszą fotograficzną zaczerniają ją i dają obraz rozmieszczenia badanego pierwiastka w tkankach.

Można też w ten sposób badać rozmieszczenie składników pokarmowych znaczonych izotopami radioaktywnymi w glebie. Ta właściwość izotopów radioaktywnych ma duże znaczenie w chromatografii. Rozdzielone metodą chromatografii substancje mogą być oznaczane ilościowo metodami chemicznymi, a jednocześnie przez oznaczenie ich radioaktywności można stwierdzić pochodzenie pierwiastków wchodzących w dane związki chemiczne. Ma to bardzo duże znaczenie przy badaniu produktów reakcji syntezy i rozkładu zachodzących w roślinie. Radiogramy nie mogą być podstawą do sprecyzowania ilościowego w pojęciu analizy chemicznej, ale mają bardzo duże znaczenie informacyjne w wielu zagadnieniach. Czynnione były próby ilościowego oznaczania izotopu radioaktywnego drogą oznaczania natężenia promieniowania na podstawie intensywności zaczernienia kliszy fotograficznej. Ponieważ jednak zaczernienie jest funkcją wielu zmiennych czynników i jest zależne od kliszy, a także i od energii badanych promieni, metoda ta jest prawie nieprzydatna do ilościowego oznaczania substancji radioaktywnych.

Materiał roślinny i glebowy przeznaczony do zdjęć musi być odpowiednio przygotowany. Materiał roślinny utrwała się różnymi sposobami, np.: 1) suszenie w prasie botanicznej; 2) suszenie przy pomocy zimnego

powietrza; 3) utrwalanie metodą propylenowo-glikolową; 4) utrwalenie suchym lodem.

Glebę suszy się i przykrywa celofanem grubości 20μ . Czas naświetlania klisz jest różny, zależny od zawartości w badanym materiale izotopu radioaktywnego.

Innym bardzo ważnym efektem wywoływanym przez promieniowanie substancji radioaktywnej jest jonizowanie nie tylko gazów, ale także cieczy i ciał stałych. Zastosowanie do pomiarów promieniowania jonizacji cieczy i ciał stałych jest trudne i dlatego wykorzystywane jest tylko jonizowanie gazów. To jonizujące działanie promieni i cząsteczek emitowanych przez izotopy promieniotwórcze posłużyło do skonstruowania przyrządu pozwalającego obliczyć ilość wysyłanych promieni w określonym czasie, czyli oznaczyć radioaktywność badanej substancji. Takim przyrządem jest licznik Geigera-Müllera.

Przyrządem tym można mierzyć radioaktywność pierwiastka do 10^{-6} milicurie, czyli można mierzyć radioaktywność jednego mikrograma substancji, jeżeli jej aktywność właściwa jest 1 milicurie na 1 gram. Jeżeli aktywność właściwa była milicurie na mikrogram, możemy dokonać pomiaru analitycznego 10^{-6} mikrograma badanego materiału. Radioaktywność pierwiastka oznaczamy w jednostkach zwanych curie. Jednym curie radiopierwiastka nazywamy tę jego ilość, która emituje tę samą liczbę cząsteczek na sekundę, co 1 gram radu, czyli $3,7 \cdot 10^{10}$ cząstek na sekundę.

W badaniach rolniczych mamy do czynienia z małymi ilościami sztucznych pierwiastków radioaktywnych i posługujemy się mniejszymi jednostkami, a mianowicie: milicurie $mc = 10^{-3}$ curie lub mikrocurie $\mu c = 10^{-6}$ curie.

Jednostka ta odnosi się zasadniczo do pierwiastków rodziny uranu emitujących cząstki α . Stosuje się ją jednak i w stosunku do sztucznych pierwiastków promieniotwórczych, jeżeli nawet nie emitują cząstek α . Stwarza to jednak pewne trudności i dlatego przyjęto inną jednostkę zwaną „rutherford“ = rd = $1,00 \cdot 10^6$ rozpadów na sekundę, a także jednostki pochodne: milirutherford (mrd = 10^{-3} rd), mikrorutherford (μ rd = 10^{-6} rd).

$$1 \text{ rd} = 1/37 \text{ mc} = 27 \mu \text{c}$$

Jeżeli używamy preparatów (w których jest tylko minimalna część substancji radioaktywnej), to określamy radioaktywność na 1 g tego preparatu.

Związki chemiczne, np. nawozy zawierające izotopy promieniotwórcze, sporządza się w ten sposób jak w normalnym procesie technologicznym.

Gdy chcemy np. uzyskać superfosfat radioaktywny, to sól zawierającą P^{32} rozpuszczamy w stężonym kwasie siarkowym i działamy nim na fosforyty. Dla otrzymania tomasyny radioaktywnej dodaje się sól zawierającą P^{32} do konwentora Thomasa.

Takie postępowanie pozwala nam otrzymać substancję nawozową o takiej samej strukturze chemicznej jak w nawozach sztucznych. Można też znakować gotowy superfosfat. Robimy to w ten sposób, że roztwór nawozu i soli zawierającej P^{32} podgrzewamy do $70 - 80^\circ\text{C}$. Przy tym sposobie może zmienić się struktura superfosfatu. Fosforyt znakuje się fosforem radioaktywnym przez gotowanie fosforytu w roztworze zawierają-

cym P^{32} w ciągu 24 godzin, a następnie odmywa się go od rozpuszczalnych fosforanów.

Radioaktywne nawozy zielone uzyskuje się przez zasiew na glebach nawożonych nawozami zawierającymi izotopy promieniotwórcze.

W badaniach wykonywanych z radioaktywnymi izotopami bardzo duże znaczenie ma ich okres półtrwania. Trzeba zwrócić uwagę na to, że zjawiska połączone ze wzrostem roślin trwają dość długo. Okres wegetacyjny naszych roślin uprawnych wynosi przeważnie ponad 100 dni, dlatego to izotopy o krótkim okresie półtrwania są mało przydatne do tych badań. Na przykład znamy 4 radioaktywne izotopy fosforu obok nieradioaktywnego izotopu stabilnego. Z tych czterech izotopów radioaktywnych fosforu przydatny do badań w doświadczeniach wegetacyjnych jest tylko P^{32} , gdyż pozostałe mają zbyt krótki okres półtrwania.

Ze względu na dogodność okresu półtrwania izotop fosforu P^{32} znalazł szerokie zastosowanie w badaniach chemiczno-rolniczych, o czym będziemy mówić później.

Dogodny okres półtrwania mają: wapń Ca^{45} , węgiel C^{14} . Okresy półtrwania tych i innych pierwiastków ważnych w życiu roślin podajemy poniżej:

N^{13}	9,93 min.	N^{16}	8 sek.
P^{32}	14,3 dni	P^{30}	2,18 min.
P^{34}	12,7 sek	P^{29}	4,6 sek.
K^{43}	22,4 godz.	K^{42}	12,5 godz.
K^{44}	18 min.	K^{38}	7,6 min.
Ca^{45}	152 dni	Ca^{49}	2,5 godz.
O^{14}	75,5 sek.	C^{14}	5725 lat
H^3	12,46 lat	S^{35}	87,1 dnia
Cl^{36}	$2,10^6$ lat	Mg^{27}	10,2 min.
Fe^{55}	4 lata	Fe^{59}	45,5 dnia
Mn^{54}	310 dni	Zn^{65}	250 dni
Cu^{67}	56 godz.	Cu^{64}	12,8 dni
Na^{22}	2,6 roku	J^{131}	8,4 dnia
Mo^{99}	67 godz.	Al^{29}	2,3 min.

Jakie są możliwości zastosowania tych izotopów do doświadczeń wegetacyjnych. Weźmy np. izotop fosforu P^{32} o półokresie 14,3 dnia. Okres wegetacyjny zbóż jarych wynosi około 115 dni. W tym wypadku upłynie 8 okresów półrozpadu do chwili zbioru plonów. Aktywność izotopu fosforu w porównaniu z aktywnością początkową przy założeniu doświadczenia

wyniesie: $\frac{100}{28} = \frac{100}{256} = 0,39\%$, czyli w okresie tym P^{32} stracił 99,61%

swej początkowej aktywności. Czułość oznaczeń pozwala jednak na zadowalający pomiar ilościowy fosforu. Radioaktywny potas K^{43} , o najdłuższym okresie półrozpadu dla izotopów potasu 22,4 godz., zredukuje swoją aktywność w tym samym stopniu w 179,2 godz. (22,4·8), czyli w 7,5 dni. W rezultacie krótkiego półokresu ma tylko ograniczone praktyczne zastosowanie w doświadczeniach nawozowych. Natomiast nadaje się do badań

nad sorpcją potasu w glebie. Oczywiście radioaktywny azot N^{13} z okresem półrozpadu 9,93 min. jest bardzo mało używany w doświadczeniach nawozowych.

Zanim przejdziemy do kolejnego przedstawienia wyników, jakie otrzymano w zagadnieniach chemiczno-rolniczych, musimy podnieść jeszcze jedną zasadniczą kwestię, a mianowicie, w jakim stopniu radioaktywność w ogóle, a radioaktywność stosowanych izotopów w szczególności wpływa na wzrost rośliny i czy ten wpływ nie zakłóca zasadniczego twierdzenia, że działanie izotopu radioaktywnego na roślinę jest takie samo jak pierwiastka nieradioaktywnego.

Badania nad wpływem radioaktywności na wzrost rośliny rozpoczęły się bardzo dawno, od chwili odkryć zrobionych przez Becquerel'a, a zwłaszcza od odkrycia radu przez małżonków Curie.

Tu trzeba wspomnieć o pracach Stoklasy i innych na ten temat. Również i w Polsce były prowadzone te prace przez J. Mikułowskiego-Pomorskiego. Wyniki tych prac były tego rodzaju, że nie można było stwierdzić dodatniego działania substancji radioaktywnych na wzrost roślin, ani też wyraźnie ujemnego wpływu, jeśli dawki substancji radioaktywnej nie były zbyt wysokie. Można więc przypuszczać, że radioaktywne izotopy nie zakłócają tych procesów, w których bierze udział dany pierwiastek. Jest to tym bardziej prawdopodobne, że udział izotopu radioaktywnego w ogólnej zawartości pierwiastka jest niesłychanie mały. Z powodu tego małego udziału cała metoda nosi nazwę metody znakowania. Niemniej jednak wielkość dawek musi być dokładnie określona. W pierwszych doświadczeniach z izotopami promieniotwórczymi z konieczności musiano określić wysokość dawki elementu radioaktywnego, która nie wywołuje jeszcze szkodliwego wpływu na roślinę, a jednocześnie jest wystarczająca do wykonania analizy, (oznaczenie promieniotwórczości) po ukończeniu doświadczenia. Szkodliwe działanie promieniowania może być wewnętrzne z pobranego przez roślinę związku i zewnętrzne od pożywki lub od gleby. Jak wykazały doświadczenia, ciała promieniotwórcze dodane do pożywki lub do gleby wywierają stosunkowo nieznaczny wpływ zewnętrzny na rośliny.

Uszkodzenia korzeni i części nadziemnych rośliny występują pod wpływem promieniowania pobranych przez roślinę izotopów promieniotwórczych.

Stosunkowo nieznaczny wpływ zewnętrznej substancji radioaktywnej na roślinę wynika z tego, że promienie zostają pochłaniane przez substancję, która została użyta do rozcieńczenia izotopu radioaktywnego. Przy mieszaniu soli zawierającej izotop radioaktywny z solą nieradioaktywną następuje zmniejszenie radioaktywności i mówimy już o radioaktywności 1 g składnika pokarmowego. Dalej, mieszając np. nawóz o znacznej radioaktywności z glebą następuje dalsze pochłanianie promieni, mieszanina ta ma już mniejszą radioaktywność i określamy radioaktywność 1 g gleby. Ma to znaczenie nie tylko dla roślin, ale i dla ludzi pracujących przy tym doświadczeniu.

Jeżeli chodzi o wpływ wewnętrzny, to zależny on jest od ilości pobranego radioaktywnego elementu. Dlatego to ważna jest nie tylko bezwzględna ilość radioaktywnego izotopu danego pierwiastka, ale także jego stosunek ilościowy do nieradioaktywnego izotopu. Na przykład w kul-

turach wodnych radioaktywność fosforu P^{32} 200 μc na litr pożywki powodowała uszkodzenia młodych roślin jęczmienia przy poziomie fosforu ogółem $5 \cdot 10^{-6}$ mola. Nie stwierdzono natomiast uszkodzeń roślin przy poziomie fosforu $5 \cdot 10^{-4}$, lub $5 \cdot 10^{-3}$ mola. Przy poziomie fosforu $5 \cdot 10^{-5}$ mola radioaktywność 8 μc na litr nie wpływała na rozwój roślin, ale 16 μc wywoływało już zmiany. W kulturach glebowych dawki substancji radioaktywnej, które nie powodują uszkodzeń, są wyższe.

Uszkodzenia polegają na zmianach anatomicznych oraz na zahamowaniu lub wstrzymaniu rozwoju w zależności od poziomu radioaktywności.

Wrażliwość gatunków roślin jest różna. Według A. W. Sokołowa dawką szkodliwą było: dla gryki 360 μc , dla traw nasiennych 500 μc , dla grochu 1000 μc na 1 kg gleb. Dla gorczycy i lnu nawet ta ostatnia dawka nie była szkodliwa.

Wysokość dawki radioaktywnego izotopu zależy też od tego, jak długo będzie trwało doświadczenie. Przy krótkotrwałych doświadczeniach dawki substancji radioaktywnej mogą być mniejsze niż przy doświadczeniach długotrwałych. Dlatego przeprowadzenie doświadczeń krótkotrwałych jest łatwiejsze, gdyż nie ma obawy uszkodzenia roślin przez dużą radioaktywność izotopu.

Dawka izotopu promieniotwórczego musi być taka, żeby po ukończeniu doświadczenia rośliny czy gleba wykazywały dostateczną radioaktywność, gwarantującą wiarygodność oznaczeń. Radioaktywność plonów mierzy się ilością impulsów na 1 mg P_2O_5 lub 1 g plonu w ciągu minuty.

Najwięcej badań wykonano z fosforem P^{32} . Stwierdzono, co nie było przedtem możliwe, że fosfor jest pobierany przez roślinę zaraz po wypuszczeniu korzeni, podczas gdy dawniej sądzono, że w pierwszych dniach roślina korzysta tylko z fosforu znajdującego się w nasieniu. Pobrany przez roślinę fosfor bardzo szybko wędruje do wierzchołka rośliny, następnie stamtąd kieruje się ku korzeniom i znowu powraca do wierzchołka, czyli fosfor przemieszcza się w roślinie.

Za pomocą izotopu P^{32} można stwierdzić zależność, jaka istnieje między rozmieszczeniem nawozu fosforowego w glebie, a pobieraniem go przez roślinę. Stwierdzono na przykład, że roślina z granuli zaznakowanego superfosfatu zaczyna pobierać fosfor 2 — 3 dnia, jeśli granulka jest oddalona od rośliny 2—3 cm. Jeżeli ta odległość wzrośnie do 6 cm, to pobieranie fosforu zaczyna się dopiero po upływie 3 — 4 tygodni. Przy zetknięciu się z granulami już niewielkiej części systemu korzeniowego następuje zaspokojenie zapotrzebowania na fosfor całej rośliny, gdyż korzenie pobierają wtedy fosfor bardzo intensywnie. Z tego widzimy, że takie ważne zagadnienia agrotechniczne, jak odległość superfosfatu od nasion w rzędach, jak również głębokość jego umieszczenia, można rozstrzygnąć przy pomocy izotopu P^{32} daleko dokładniej.

Tak zwane wykorzystanie fosforu z różnych nawozów fosforowych można oznaczać na drodze bezpośredniej, bez uciekania się do przeliczeń, jak to dotychczas robiono. Chcąc porównać wykorzystanie fosforu z dwóch nawozów fosforowych możemy je zastosować jednocześnie w tym samym wazonie, pod warunkiem, że jeden z tych nawozów zostanie zaznakowany fosforem radioaktywnym. Duże zastosowanie może mieć izotop P^{32} w do-

świadczeniach z dolistnym stosowaniem nawozów fosforowych, względnie przy dożywianiu roślin w okresie wegetacji.

Działanie nawozów fosforowych jest w wysokim stopniu zależne od szeregu procesów odbywających się w glebie, wiele z tych procesów prowadzi do unieruchomienia kwasu fosforowego, co jest przyczyną jego niskiego wykorzystania przez rośliny. Losy nawozów fosforowych daleko łatwiej jest badać przy pomocy znakowanych związków fosforu.

Przez bliższe poznanie procesów, w których biorą udział wnoszone do gleby nawozy fosforowe, można będzie tymi procesami pokierować.

Dla naszego kraju, ze względu na to, że nie posiadamy bogatych złóż fosforytów, oszczędne gospodarowanie fosforem jest koniecznością. Z tego powodu mamy wiele zagadnień związanych ze stosowaniem nawozów fosforowych. Zastosowanie fosforu radioaktywnego P^{32} umożliwi nam wszechstronniejsze, dokładniejsze i szybsze zbadanie zagadnień fosforowych.

W ostatnich czasach próbuje się zastosowania P^{32} nawet do badań nad działalnością fosforu znajdującego się w oborniku. Tu powstają jednak trudności. Znakowanie powinno się bowiem odbywać tak, by radioaktywny izotop przypadał zawsze w określonych związkach w odpowiednim stosunku do izotopu nieradioaktywnego danego pierwiastka.

W oborniku występuje tak dużo związków fosforu, że ich równomierne zaznakowanie jest mało prawdopodobne, dlatego też znakowanie musi się odbywać przez paszę zadawaną zwierzętom.

Widzimy jak rozległe mogą być badania wykonane przy pomocy izotopu P^{32} .

Drugim z kolei izotopem radioaktywnym, przy pomocy którego w ostatnich czasach wykonano wiele interesujących badań, jest C^{14} .

Długowieczność tego izotopu czyni go szczególnie przydatnym do badań w rolnictwie. Znakując węgiel w dwutlenku węgla, który był dodany do gleby, stwierdzono że jest on nie tylko pobierany przez roślinę, ale również przerabiany w procesie fotosyntezy. Otwiera to zupełnie nowe drogi dla nawożenia za pomocą dwutlenku węgla. Dotychczas sądziliśmy, że nawożenie dwutlenkiem węgla powinno się odbywać przez wzbogacenie atmosfery w ten gaz. Badania przeprowadzone ze znakowanym CO_2 wykazywały, że nawożenie może się odbywać poprzez glebę i nawet na ten temat zostały przeprowadzone doświadczenia polowe. Oczywiście, że cała ta sprawa będzie musiała być dokładnie i wszechstronnie zbadana, ale badania te będą ogromnie ułatwione przez zastosowanie radiowęglu C^{14} . Przy użyciu izotopu węgla i izotopu tlenu został dokładniej zbadany cały proces fotosyntezy. Okazało się, że przy fotosyntezie roślina wydala tlen znajdujący się w wodzie, a nie tlen z CO_2 . Powstały przy rozkładzie wody wodór zużytkowany jest do redukcji pobranego przez roślinę CO_2 .

Radioaktywny izotop węgla C^{14} daje duże możliwości w badaniach nad tworzeniem się i przemianami związków próchnicznych w glebie, których rola dotychczas nie jest dostatecznie wyjaśniona. Nie zbadana jest rola tych związków w odżywianiu roślin.

Przy pomocy C^{14} stwierdzono, że przejście cjanamidu wapnia w moczNIK zachodzi pod wpływem enzymu, a nie pod działaniem innych katalizatorów, jak to dotychczas przypuszczano.

Szereg badań wykonano z wapniem Ca^{45} . W doświadczeniach z do- listnym stosowaniem wapnia stwierdzono, że przemieszczanie wapnia w roślinach zależy od ich biologicznych właściwości. Przy dużej zawartości kwasów organicznych w roślinie wapń nie przechodzi z liści do innych części rośliny. Przy małej zawartości kwasów organicznych wapń może przechodzić w wyżej położone części roślin.

Stwierdzono bardzo ciekawą rzecz, że pobieranie wapnia zachodzi tylko przy świetle, czyli jest związane z energią świetlną. Dalej, okazało się, że obecność jonów glinu Al^{+++} w pożywce bardzo silnie ogranicza pobieranie wapnia. W mniejszym stopniu uczynią to również jony manganu Mn^{++} i wodoru H^+ .

Przy pomocy Ca^{45} badano stopień przyswajalności dla roślin różnych związków wapnia, stopień przemieszczania tych związków w glebie i ich wymywanie z gleby.

Sorpcja anionów, jak również i kationów w glebie, pomimo wielu prac w tym kierunku, nie została dostatecznie naświetlona. Zastosowanie promieniotwórczych izotopów fosforu, wapnia i innych pierwiastków może umożliwić głębsze podejście i lepsze poznanie tych zjawisk.

Przy jednoczesnym zastosowaniu izotopów P^{32} , Ca^{45} i N^{14} stwierdzono, że na pobieranie składników pokarmowych przez rośliny temperatura gleby lub pożywki wywiera bez porównania większy wpływ niż temperatura powietrza.

Zastosowanie innych izotopów dało również ciekawe wyniki. Użycie promieniotwórczego bromu pozwoliło na stwierdzenie szybkości ruchu tego pierwiastka w roślinie. W roślinie dyni szybkość ta wynosiła 4,5 m w ciągu 5 minut.

Przy zastosowaniu stabilnego izotopu wodoru H^2 określono szybkość ruchu wody w roślinie. W pewnych drzewach szybkość ta dochodziła do 14 metrów na godzinę.

Na uwagę zasługuje stosowanie do znakowania izotopów pierwiastków, których pobieranie przez rośliny jest podobne. Na przykład w badaniach z potasem można użyć do znakowania promieniotwórczego rubidu, a w badaniach z wapniem promieniotwórczego strontu.

Ma to znaczenie w tych wypadkach, gdy jakiś pierwiastek chemiczny nie posiada dogodnych do badań wegetacyjnych izotopów promieniotwórczych.

Często tajemnicza i niezrozumiała rola mikroelementów może znaleźć wytłumaczenie przez zastosowanie odpowiednich izotopów promieniotwórczych.

Przedstawiliśmy tutaj wyniki niektórych badań, uzyskane przy zastosowaniu radioaktywnych izotopów w dziedzinie chemii rolniczej i gleboznawstwa. Widzimy, jak wielkie nowe możliwości daje ta metodyka. Oczywiście, że w innych dziedzinach nauki rolniczej znaczenie techniki izotopowej jest tak samo bardzo duże, a może nawet większe. W żywieniu zwierząt, we wzroście tych zwierząt, w walce ze szkodnikami i chorobami metodyka izotopowa może przynieść bardzo duże osiągnięcia.