

Inž. Petar Durman
Poljoprivredni fakultet, Zagreb

PRIMJENA RADIOAKTIVNIH IZOTOPA U BILJNOJ PROIZVODNJI S POSEBNIM OSVRTOM NA ISHRANU BILJA

UVOD

Od decembra 1955. godine pa do 1963. god. kod nas su proradila dva centra za proizvodnju radioaktivnih izotopa, reaktor »Boris Kidrič« u Vinči i Ciklotron »Ruder Bošković« u Zagrebu.

U isto vrijeme razvila se domaća industrija koja se bavi proizvodnjom potrebnih uređaja za primjenu radioizotopa, koje smo ranijih godina morali uvoziti iz drugih zemalja.

Zatim je Savezna komisija za nuklearnu energiju u Beogradu organizirala Školu za obučavanje kadrova za široku primjenu radioizotopa u svrhu proučavanja i usavršavanja proizvodnje. Već danas u našoj zemlji radi više od 40 centara za primjenu radioaktivnih izotopa. Jedan dio ovih laboratorija bavi se proučavanjem biljne proizvodnje, a napose ishrane bilja. Kako su raspoređene ove radioaktivne laboratorije u Jugoslaviji najbolje se vidi iz priložene šeme.

Zbog velike važnosti i primjene radioizotopa u poljoprivredi, a napose u ishrani bilja, smatramo da je potrebno da se i o tome informira naša stručna javnost.

I POJAM RADIOAKTIVNIH IZOTOPA

Atom je najsitnija čestica nekog elementa koja još uvijek ima sva svojstva dotičnog elementa. Do danas je poznato više od stotinu, (102) što prirodnih i umjetnih elemenata, a u daljnjoj budućnosti bit će ih i više.

Svaki atom je građen iz manjih građevnih jedinica, koje nemaju svojstva elemenata, što je još 1911. g. dokazao poznati fizičar Rutherford. Prema Rutherfordu, Bhođu i drugima, atom se sastoji iz atomskog jezgra i elektronskog omotača. Jezgro atoma je složeno od protona, neutrona, i nekih drugih čestica, koje zovemo nukleonima, jer ih sve na okupu drže nuklearne sile atoma.

Protoni su čestice koje imaju masu jedan, a na sebi nose jedan elementarni kvantum pozitivnog elektriciteta ($4,803.10^{-10}$ elektronskih jedinica).

Neutroni su čestice koje imaju nešto malo veću masu od protona, ali nemaju na sebi elektriciteta.

Elektroni su lake čestice koje su 1840 puta lakše od protona, a imaju na sebi jedan elementarni kvantum negativnog elektriciteta. Broj elektrona je uvijek jednak broju protona u jezgri atoma. Oni čine elektronski omotač svakog atoma, imaju određene elektronske putanje, koje mogu napuštati prelazeći s jedne putanje u drugu, pod utjecajem vanjskih ili unutarnjih sila, kako kod istih, tako i kod različitih vrsta atoma prevodeći ih pri tome iz atomskog u ionsko stanje.

Poznavajući osnovnu građu atoma, bilo bi neophodno potrebno upoznati i sam pojam izotopa.

Odavno je poznato, da su izotopi, atomi nekog elementa koji imaju isti broj protona, a različiti broj neutrona.

Kako je čovjeku uspjelo da uz korištenje tehnike i nauke u nekim momentima svlada i najsnažnije nuklearne sile, povećavajući broj neutrona i protona u jezgrima atoma, došlo se do stvaranja takvih nestabilnih jezgra atoma, koji se spontano raspadaju uz emisiju radioaktivnih zraka, tj. umjetnih radioaktivnih izotopa. Sve izotope dijelimo na prirodne i umjetne, a oni mogu biti radioaktivni i maseni — neradioaktivni (Sl. 1).

Zahvaljujući naglom razvoju nauke i tehnike u posljednjih desetak godina, čovjeku je uspjelo stvoriti više od 800 raznih umjetnih radioaktivnih izotopa, koji imaju široku primjenu u rješavanju mnogih važnih naučno-proizvodnih problema.

**RASPORED POSTOJEĆIH RADIOAKTIVNIH
LABORATORIJA KOJE SE BAVE PROUČAVANJEM
ISHRANE BILJA U JUGOSLAVIJI**



Svaki radioaktivni izotop ima za posljedicu raspadanje jezgra pojedinih atoma emitirajući pri tome alfa, beta ili gama zrake. Poznati su i takvi izotopi, koji u isto vrijeme emitiraju više vrsta zraka.

VRSTE RADIOAKTIVNIH ZRAKA

Alfa zrake (α) su čestice pozitivno nabite jezgre helijevih atoma, koje imaju veliku masu (4) i brzinu oko 20.000 km/sek. Zbog velike mase ove zrake su malo prodorne, te ne ulaze duboko u materiju, ali zbog velikog broja sudara izazivaju jaku ionizaciju materije. (Sl. 2).

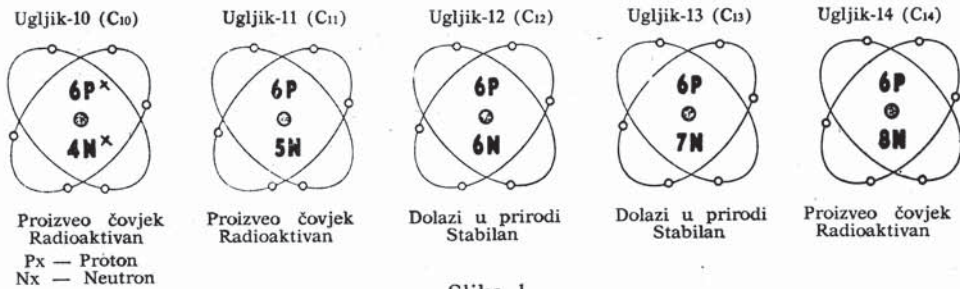
Beta zrake (β) su elektroni, koje emitiraju pojedini radioaktivni izotopi. Takve izotope zovemo još i beta emiterima. Beta zrake imaju slabiju moć ionizacije, ali veliku prodornost u odnosu na alfa zrake.

Većina radioaktivnih izotopa beta emitera ima veliku mogućnost primjene u proučavanju poljoprivrednih problema, a naročito ishrane bilja.

Gama zrake (γ) su elektromagnetski valovi, kratke valne (0,005—0,4 Å) dužine i velike prodorne moći. Imaju brzinu ravnu svjetlosti. Za ove zrake je materija praktički porozna zbog čega kroz nju lako i prodiru. Ove zrake nemaju veliku primjenu u proučavanju ishrane bilja, ali se primjenjuju u oplemenjivanju bilja, sterilizaciji i drugdje.

ŠTO SU IZOTOPI

Isotopi su atomi jednog elementa, koji se mogu razlikovati po njihovoj težini, npr. UGLJIK-C



Slika 1

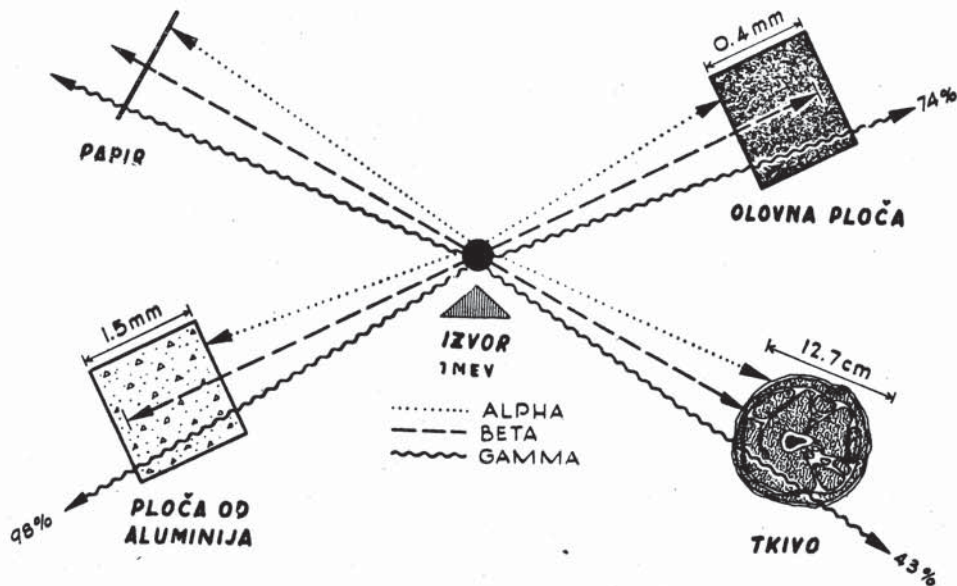
ZAJEDNICKE OSOBINE RADIOAKTIVNIH IZOTOPA

Svi radioaktivni isotopi izazivaju zacrnenje filmova i fotografskih ploča, pa se ovo svojstvo vrlo efikasno koristi u kvalitativnim i kvantitativnim analizama.

Radioaktivni isotopi se mjere posebnim uređajima zvanim brojačima, kojih ima više vrsta, obzirom na vrstu α , β i γ zraka koje želimo mjeriti, kao i sam princip uređaja i rada brojača. Danas su najpoznatiji: Geiger-Müllerov, scintilacioni brojač, jonizaciona komora, proporcionalni i drugi brojači.

Radioaktivni isotopi izazivaju i kemijske promjene u pojedinim kemijskim spojevima manje ili više, o čemu je potrebno voditi računa. Uvijek jače doze zračenja, izazivaju veći broj kvalitativnih i kvantitativnih promjena, što je potrebno imati u vidu u radu s biološkim materijalom.

APSORPCIJA ALFA, BETA I GAMA ZRAKA KOD RADIOAKTIVNOG ZRAČENJA NA RAZLIČITOM MATERIJALU



Slika 2

MASENI IZOTOPI

Maseni izotopi su oni koji se razlikuju po broju neutrona u jezgri, ali su još pri tome stabilni, tj. nisu radioaktivni.

Kao primjer stabilnih izotopa može se navesti: dušik (N^{14} , N^{15}), kisik (O^{17} , O^{18}), ugljik (C^{12} , C^{13}), vodik (H^1) itd. Maseni izotopi imaju veliku budućnost u rješavanju naučnih problema, jer nisu radioaktivni zbog čega oni ne unose energiju u biološke procese.

Oni se nikad ne koriste pojedinačno već uvijek kao poznata smjesa izotopa koja ulazi u procese. Dokazivanje masenih izotopa vrši se pomoću masenoga spektrografa.

Maseni spektrograf radi na principu provođenja suspenzije izotopnog sastava u ionsko stanje. Dobiveni ioni se dalje ubrzavaju i provode kroz magnetsko polje u kojem su silnice upravne na pravac kretanja iona. U magnetskom polju ioni skreću s puta, strogo zavisno o masi iona. Na temelju spektra iona i njihovog skretanja određuje se izotopni sastav analiziranog materijala. Bržim razvojem nauke i tehnike maseni izotopi će dobivati sve veću primjenu u nauci.

DOBIVANJE RADIOAKTIVNIH IZOTOPA

Uglavnom danas se radioaktivni izotopi dobivaju na dva načina: u akceleratorima i nuklearnim reaktorima.

Kao projektili koji služe za ubacivanje u jezgra atoma najviše se koriste neutroni, jer nemaju električnog naboja, pa lakše prodiru u jezgro, zatim protoni, deuteroni i alfa čestice.

Prva reakcija za dobivanje izotopa kisika izvedena je na atomu dušika uz upotrebu helijevih atoma kao projektila.



Druga reakcija je izvedena na atomu aluminijuma i dobiven je P^{30} .



Povrh ovih reakcija, danas je već poznat čitav niz drugih.

PROIZVODNJA RADIOAKTIVNIH IZOTOPA U JUGOSLAVIJI

Danas u svijetu postoji veliki broj jakih centara koji služe za proizvodnju i primjenu radioaktivnih izotopa u ratne i mirnodopske svrhe. Najjaču proizvodnju i primjenu radioaktivnih izotopa imaju svakako SSSR i SAD, a zatim i mnoge druge manje zemlje u svijetu. Velike sile danas još uvijek koriste atomsku energiju prvenstveno pripremajući se za rušilačke ciljeve, dok nasuprot njima male sile, spomenutu energiju koriste isključivo u rješavanju naučno-proizvodnih problema a među njih spada i naša zemlja.

Danas postoje u Jugoslaviji dva centra za proizvodnju i veći broj laboratorija za primjenu radioaktivnih izotopa.

Institut za nuklearne nauke »Boris Kidrič«, Beograd i

Institut za nuklearne nauke »Ruder Bošković«, Zagreb

Od velikog broja radioaktivnih izotopa koji se proizvode kod nas i u svijetu, napomenut ćemo samo one koji bar za sada imaju veću primjenu u rješavanju nekih važnijih problema ishrane bilja, čime se ne potcjenjuje važnost i ostalih radioaktivnih izotopa koji ovdje nisu spomenuti.

Radi bolje preglednosti izotopi su svrstani u tabelu s nekim najosnovnijim karakteristikama radioaktivnih izotopa.

Tabela 1

Element	Izotop	Poluvrijeme radioaktiv. raspada ($t_{1/2}$)	Vrsta zraka koju emituje
Vodik (H)	H ³	12,1 dan	beta
Ugljik (C)	C ¹⁴	5.100 godina	"
Fosfor (P)	P ³²	14,3 dana	"
Sumpor (S)	S ³⁵	87 dana	"
Klor (Cl)	Cl ³⁶	180 dana	"
Kalij (K)	K ⁴²	40 sati	"
Kalcij (Ca)	Ca ⁴⁵	46 dana	"
Željezo (Fe)	Fe ⁵⁹	5,3 godine	"
Kobalt (Co)	Co ⁶⁰	5,27 godine	gama i beta
Bakar (Cu)	Cu ⁶⁴	250 dana	beta
Cink (Zn)	Zn ⁶⁵	8 dana	beta i gama
Natrij (Na)	Na ²⁴	15,6 sati	"
Molibden (Mo)	Mo ⁹⁹	2,79 dana	"

JEDINICE ZA MJERENJE RADIOAKTIVNOSTI

Radioaktivnost se mjeri jedinicama zvanim Curie (Kiri). Radioaktivnost od jednog kirija ima ona materija gdje se u jednoj sekundi raspadne 37 milijardi ($3,7 \cdot 10^{10}$) atoma. Drugim riječima, to je radioaktivnost 1 grama radija u 1 sekundi, a označava se sa znakom C (Kiri). Zatim su poznate manje jedinice:

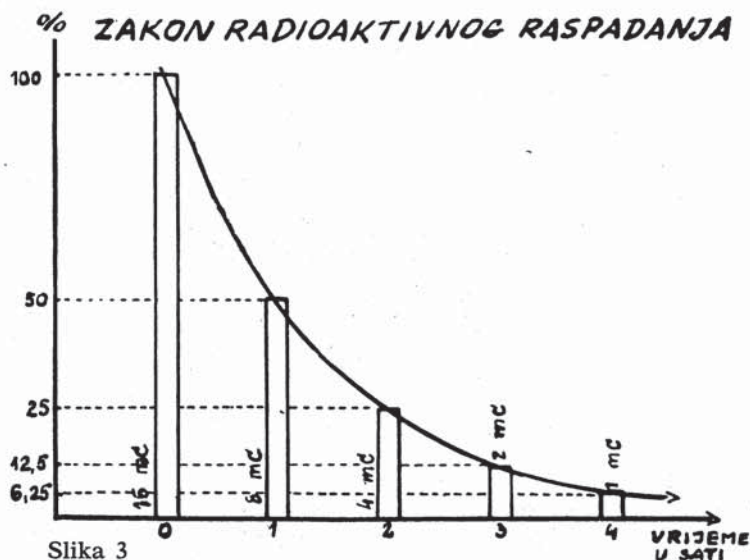
milikiri (mc) $3,7 \cdot 10^7$ impulsa/sek.

mikrokiri (uC) $3,7 \cdot 10^4$ impulsa/sek.

milimikrokiri (muC) $3,7 \cdot 10$ impulsa/sek.

Vidimo da se intenzitet radioaktivnosti mjeri brojem impulsa u jedinici vremena. Svaki impuls označava, da je došlo do izbacivanja jedne čestice iz atomskog jezgra, tj. emisije nekog od pomenutih zraka, alfa, beta ili gama, a što se na kraju manifestira i u raspadanju atomskih jezgra.

Prema tome vidimo, da se radioaktivnost pojedinih izvora u funkciji vremena smanjuje — opada. Opadanje radioaktivnosti svih izvora bez obzira na njegovu vrstu i način dobivanja, odigrava se pod utjecajem zakona radioaktivnog raspada. Kako radioaktivnost opada u funkciji vremena najbolje se vidi iz prikazanog dijagrama slika 3.



Slika 3

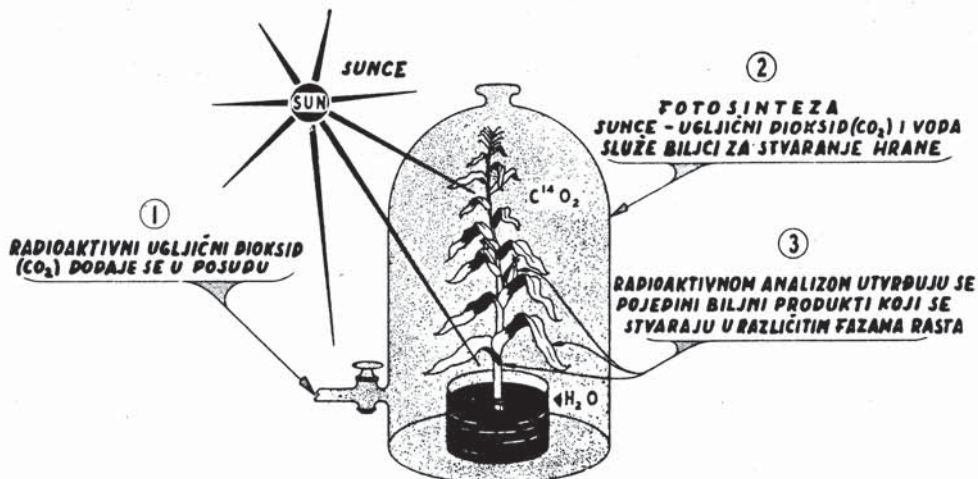
Posmatrajući dijagram, vidimo da na apscisi imamo vrijeme koje može biti u minutama, satima, danima i godinama. Međutim, vrijeme se u literaturi označava kod radioaktivnih izvora s $t \frac{1}{2}$ (te polovina), a to je ono vrijeme koje je potrebno, da se prvobitni broj atoma nekog radioaktivnog izvora smanji na polovicu. Vrijeme poluraspada je vrlo važno poznavati, jer prema njemu se podešava sam način i vrijeme trajanja pojedinih ispitivanja. Bez poznavanja vremena poluraspada pojedinih radioaktivnih izvora ne bi se mogli pravilno koristiti radioaktivni izotopi u raznim kvalitativnim i kvantitativnim ispitivanjima.

II PRIMJENA RADIOAKTIVNIH IZOTOPA U PROUČAVANJU ISHRANE BILJA

Praćenje kretanja pojedinih materija u fiziološkim procesima biljaka, predstavlja jednu od najznačajnijih primjena radioaktivnih izotopa u poljoprivrednoj proizvodnji.

Radioaktivni izotopi ne predstavljaju neku direktnu primjenu u poljoprivrednoj proizvodnji, već indirektnu, tj. primjenu prvenstveno u naučno-istraživačkom radu, o kojem zavisi napredak proizvodnje. Naučno-istraživački rad je od uvijek bio vrlo složen, kao što je i danas. Odnos biljke prema tlu, klimi, gnojidbi, agrotehnici, biljnim bolestima, štetnicima, i čitavom nizu drugih faktora, zapravo predstavlja jedan dinamički sistem u kojem svaki faktor ima svoj manje ili više specifični utjecaj, koji se manifestira u čitavom nizu jednostavnih bezbrojno brzih fizičkih i biokemijskih reakcija. To nas upozorava, da su sve prirodne, biološke reakcije žive materije vrlo složene zbog čega je njihovo proučavanje otežano, jer zahtijeva kompleksno proučavanje većeg broja procesa, što u prošlosti nije bilo moguće učiniti, zbog nedovoljnog razvoja nauke i tehnike. Danas, kada imamo

RADIOAKTIVNI UGLJIK — C 14 Upotrebljava se za studiranje fotosinteze



Slika 4

Rezultati pokazuju:




- 1 — Na brzinu životnih procesa biljke
- 2 — Pojedine momente u stvaranju raznih hraniva koje nalazimo u biljci
- 3 — Na ulogu i značaj klorofila (zelenih pigmenata)

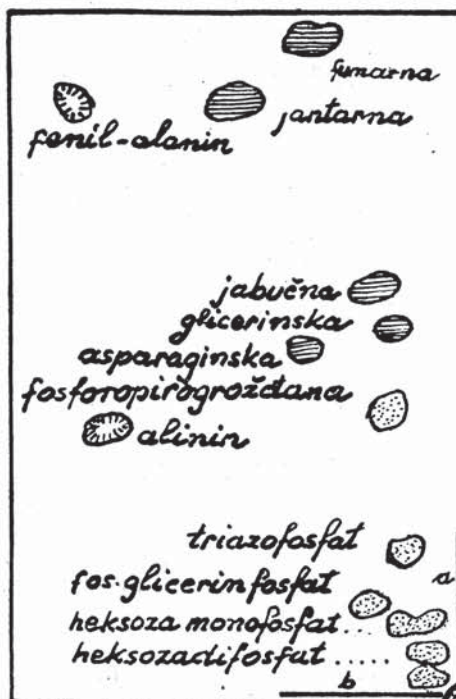
veliki napredak nauke i tehnike, stvorene su mogućnosti, da se naučno-istraživački rad više usavrši, što je najosnovnije, da postane kompleksniji — cjelovitiji a što u prošlosti nije bila njegova karakteristika. Parcijalna proučavanja malog broja pojedinosti nikad ne mogu dati ono što će se postići, primjenom današnjih najsuvremenijih sredstava nauke i tehnike, među kojima su i radioaktivni izotopi od velikog interesa. Radioaktivni izotopi nam omogućavaju da upoznamo veliki broj fizioloških procesa kompleksnije, brže, tačnije i jeftinije za razliku od svih dosadašnjih klasičnih metoda. Ukoliko je neki problem složeniji, utoliko je primjena izotopa vrednija, imajući u vidu pri tome sve njihove pozitivne i negativne osobine. Primjena radioaktivnih izotopa učinila je veliki korak naprijed u rješavanju problema ishrane bilja, jednog od najvažnijih prirodnih procesa — sintezu organske tvari iz čitavog niza anorganskih i organskih jednostavnih ili složenih spojeva.

Proces fotosinteze je osnov biljne proizvodnje, a u vezi s tim je osnov života ljudi i životinja na Zemlji. Tek posljednjih nekoliko godina, primjenom izotopa je omogućeno, da se nešto bolje upozna proces fotosinteze zelenih biljaka. Pomoću izotopa je dokazano, da kisik koji koriste biljke ne potječe iz vode, kao što se to ranije tvrdilo, već iz CO_2 , što je jedino bilo moguće utvrditi primjenom markiranih atoma O^{18} u obliku ugljičnog dioksida (CO_2^{18}). (Slika 4).

Primjenom markiranog ugljika (C^{14}) dokazano je, da neke aminokiseline, bjelancevine, pa i sam klorofil nastaju direktno pod utjecajem fotosinteze. Zatim je markirani C^{14} primijećen u vrlo kratkom vremenu, dvije sekunde poslije fotosinteze, u dijelovima lista u obliku fosfoglicerinske, pirogroždane, hidratične askorbinske i aminokiseline, dok je nakon svega 5 minuta nađen i u mastima. Zatim je dokazano, da biljke imaju sposobnost da u manjoj mjeri koriste ugljik i putem korijena iz organskih i anorganskih spojeva, vršeći proces karboksilacije, pri čemu se stvaraju neke organske kiseline, koje se dalje prenose u druge dijelove biljke, gdje se vrši daljnja razmjena materije. (A. I. Kursanov). Danas se smatra, da se pored stvaranja ugljikohidrata u listu, kao osnovnom organu

Slika 5
RADIOGRAM
DVODIMENZIONALNE
HROMATOGRAFIJE
BILJNIH MATERIJIA

-  fosforni esteri šećera i kiselina
-  organske kiseline
-  amino kiseline



fotosinteze, ugljikohidrati stvaraju i u drugim dijelovima zelene biljke pod utjecajem sekundarnih fotokemijskih reakcija, tj. pod utjecajem i dijela spektra kratkog vala.

Primjenom radioaktivnog ugljika i kisika, omogućava se upoznavanje uloge i značaja intenziteta, te dužine dnevnog osvjetljenja u sintezi organskih asimilata. Već je dokazano, da dužina i intenzitet dnevnog osvjetljenja ima velik utjecaj na smjer u kojem će teći proces fotosinteze. (Slika 5).

Korištenjem radioaktivnih izotopa moguće je pratiti tok nagomilavanja pojedinih hraniva u određenim biljnim organima, tkivima- stanicama pa čak i dijelovima stanica. U tu svrhu se naročito koriste specijalne autoradiografije, upotrebom filmova s velikom osjetljivošću kao i hromotografije na papiru. Primjena hromotografije na papiru danas se uvelike koristi u postupku odvajanja pojedinih spojeva, koji se nalaze u vrlo složenoj smjesi ugljikohidrata, masti, bjelancevina, kiselina i drugih spojeva.

Pomoću markiranog P^{32} je dokazano, da biljke mnogo više koriste fosfor iz destilirane vode, nego iz vode u kojoj se uz fosfor nalaze i druga hraniva neophodno potrebna za normalni razvoj bilja. (Slika 6).

Isto tako se došlo do spoznaje, da biljke bolje koriste fosfor kao hranivo ako su prethodno bile podvrgnute neko vrijeme gladovanju, nego ako su permanentno imale normalnu ishranu itd.

Ranijim metodama nije bilo moguće utvrditi, kada pojedine biljne vrste imaju sposobnost da primaju hraniva iz tla. Korištenjem izotopnog fosfora konstatirano je, da kukuruz kod klijanja prima fosfor već nakon 2 minute što je izbila klica! Jačim razvojem klice, znatno se ubrzava primanje fosfora, a kasnije u razvojnim fazama moć primanja se relativno smanjuje. Važno je utvrditi kojom brzinom se kreće radioaktivni fosfor, kroz koje provodne elemente biljke, upotrebom jednostavnog rastvora i šprice, te dodavanjem na određenim mjestima.

Primjenom izotopa je dokazano, da biljka vrši izmjenu mineralnih materija uspostavljenu između biljke i tla. Na primjer, jednoj biljci je dodan radioaktivni fosfor u biljno tkivo, nakon izvjesnog vremena markirani fosfor je konstatiran i u drugim biljkama koje su se razvijale u neposrednoj blizini tretirane biljke. Izlučeni fosfor od strane tretirane biljke putem korijena koristile su netretirane biljke. Ova spoznaja je od ogromne važnosti, jer nas upozorava, da nisu dovoljna naša ranija ispitivanja kojima smo konstatirali, da na kraju završene vegetacije biljka sadrži izvjesne količine fosfora, pa prema tome, za postizanje određenih prinosa trebamo određene količine itd. Ovo je jedan od važnih dokaza da se današnju metodu »matematskog« izračunavanja potrebne gnojidbe radi postizanja visokih prinosa treba usavršiti novim kvalitetnijim poznavanjem ishrane bilja. Ni na jedan biološki sistem ne može se primijeniti mjerilo, imajući u vidu samo početak nekog procesa i konačnu konstataciju završetka, ne analizirajući njihovu kvalitativnu i kvantitativnu stranu, kao i sam proces dinamike. Takav princip rada nije ništa drugo, nego metafizički kojem nema mjesta u rješavanju biološko-dinamičkih procesa.

Zbog nedovoljnog napretka nauke i tehnike, prošlost je imala metafizičkih konstatacija bez obzira na sva nastojanja, želje i volju samih istraživača. U današnjim uslovima proizvodnje postoje realne mogućnosti da se mnoge pojedine nesigurne konstatacije preispitaju i usavrše.

DINAMIKA KRETANJA FOSFORA KROZ TLO

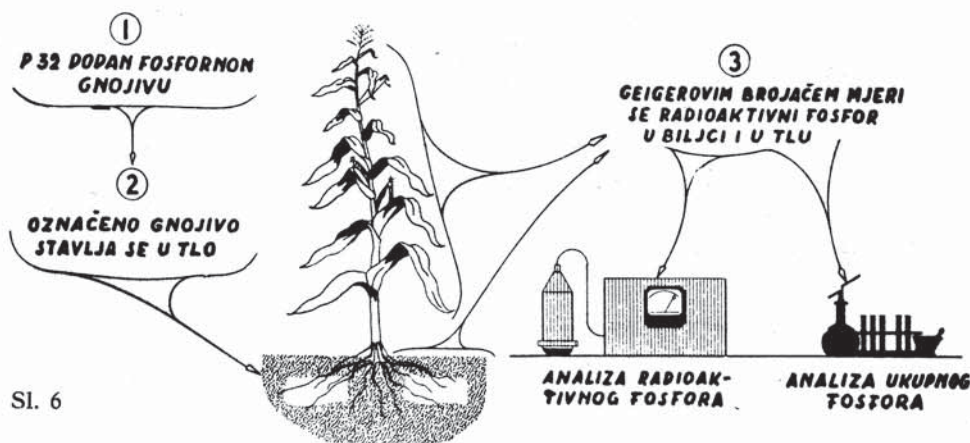
Odavno je poznato, da su naša tla pretežno (75%) siromašna fosforom kao hranivom. Velika moć fiksacije fosforne kiseline od strane tla, kao posebnog supstrata, znatno smanjuje fiziološki aktivne količine fosfora u tlu. To znači, da je fosfor po svojoj problematičnosti najkritičniji element u ishrani bilja bilo u deficitu ili suficitu.

Koristeći radioaktivni fosfor konstatirane su mnoge činjenice koje ranije nismo mogli utvrditi:

— površinsko unošenje fosfora, zbog jake fiksacije i slabog kretanja kroz pojedine tipove tla znatno smanjuje njegov koeficijent iskorištenja;

RADIOAKTIVNI FOSFOR — P 32

Upotrebljava se, za studiranje koliko i kako biljka koristi fosfor dodan u tlo u obliku fosfornih mineralnih gnojiva



Sl. 6

Rezultati pokazuju:

- 1 — Koliko se fosfora veže u tlu
- 2 — Koliko je fosfora iskoristila biljka
- 3 — Osobine pojedinih fosfornih gnojiva i način njihove primjene
- 4 — Koliki je efekat gnojidbe

— tla bogata glinastim česticama i koloidima, kao i organskim tvarima, omogućavaju kretanje fosforne kiseline u slojeve korijenove zone gdje se nalazi glavna masa korijenovog sistema.

Fiksacija fosforne kiseline vrlo mnogo ovisi o veličini čestica i mehaničkom sastavu tla. Veći broj sitnijih čestica jače smanjuje pokretljivost fosfora u tlu za razliku od krupnijih.

Primjenom P^{32} je dokazano, da je ispiranje fosfora znatno jače, u pjeskovitim tlima, nego u glinastim, ovisno o količini oborina i drugim faktorima. Povećanjem organske tvari u tlu, uspostavlja se povoljan režim fiziološki aktivnog fosfora u tlu.

Utjecaj obrade tla ima veliko značenje na dinamiku i iskorištenje fosfora kao hraniva iz tla. Tako su ispitivanja Rida i Süssa pokazala, da se pojačanom dubinom obrade tla povećava dubina kretanja markiranog fosfora, kao i njegovog koeficijenta iskorištenja od biljke jarog ječma.

Pokus je izveden na pseudoglejnoj gajnjači 1957. godine. Ispitivanja su pokazala da sloj tla od 0—3 cm, kod oranja dubine 18 cm sadrži 91,1% od ukupnog unijetog markiranog fosfora, isti sloj tla kod oranja na dubinu 28 cm sadržao je 81,1% radiofosfora, dok je oranje dubine od 18 cm s podrivanjem do dubine 34 cm, sadržalo svega 58,3% markiranog fosfora. U istom tlu je primijećeno prodiranje fosfora kod oranja na dubinu 18 cm svega 7—8 cm, a kod oranja od 28 cm na dubini 10—11 cm. Pomenuti autori napominju, da se dubljom obradom tla omogućuje bolje kretanje vode, a time i dublje prodiranje same fosforne kiseline. Također je dokazano, da primjenom dublje obrade tla, biljke imaju veći koeficijent iskorištenja fosfornih i drugih gnojiva.

Veliki broj stranih i manji broj domaćih proučavanja sigurno je utvrdio, da je efikasnost primjene fosfornih gnojiva znatno smanjena, ako se ona unose površinski, što je u našoj skoroj prošlosti bila redovita praksa.

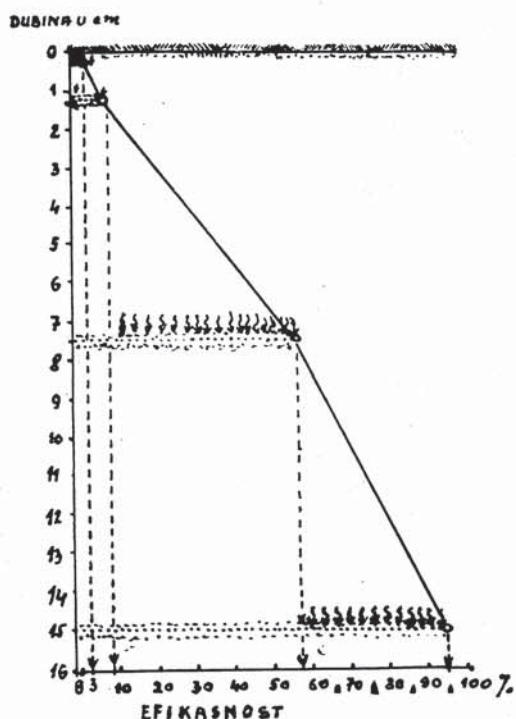
Kako kukuruz iskorištava fosfor iz spojeva najbolje se vidi iz prikazanih podataka po Ridu.

Tabela 2

Gnojivo	Fosfor iz gnojiva konstatiran u biljci u %	
	9. VII	2. VIII
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	0,8%	1,6%
Ca HPO_4	4,0	7,5
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	8,0	10,4
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 - \text{CaSO}_4$	12,8	14,8

Iz navedenih podataka se vidi, da je najefikasnije iskorištenje pokazao superfosfat, a najmanje trikalcijev fosfat.

Utjecaj dubine unošenja fosfornih gnojiva na povećanje prinosa kukuruza izražen u % efikasnosti (po Migley, SAD), najbolje se vidi iz prikazanog dijagrama. (Slika 7)



Sl. 7

PO MIGLEY, SAD
Utjecaj dubine unošenja
fosfornih gnojiva
na povećanje prinosa
kukuruza izraženo u %
efikasnosti P_2O_5

Za kukuruz je najpovoljnija dubina unošenja fosfornih gnojiva na dubinu 15 cm, a kod strnih žitarica 10–15 cm. Smanjenjem dubine kod unošenja fosfora u tlo smanjuje se efikasnost njegovog djelovanja.

Kako se kreće P^{32} u obliku KH_2PO_4 dodan površinski na černoze i podzol, vidi se iz prikazanog dijagrama 8. (Slika 8).

Iz prikazanog dijagrama vidimo, da je kretanje fosfora kroz černoze vrlo ograničeno na svega nešto oko 2–3 cm dubine tla. Slabo prodiranje fosfora u dublje slojeve černoze je u vezi s većom količinom organske tvari, humusa, koloida i drugih tvari. Prodiranje radioaktivnog fosfora na tlima tipa podzola i ilovastim je nešto jače, za razliku od černoze, ali zbog jake retrogradacije fosforne kiseline na podzolima ima manju produktivnost — efikasnost.

A) UTJECAJ POJEDINIH RAZVOJNIH FAZA BILJAKA NA PRIMANJE MINERALNIH HRANIVA

Primjenom markiranih hraniva omogućeno je, da se tačno konstatira u kojim razvojnim fazama pojedine biljne vrste najviše iskorištavaju pojedina biljna hraniva, tj. dinamiku primanja hraniva. Ovo pitanje ima veliku praktičnu vrijednost za novu tehnologiju u borbi za što veće prinose. Na temelju poznavanja dinamike maksimalnog korištenja pojedinih hraniva u razvojnim fazama pojedinih važnijih ratarskih biljaka moguće je podesiti i optimalne uslove ishrane, primjenjujući najsuvremenije principe gnojidbe; kombinacijom podzemnog, irigacionog i površinskog unošenja hraniva; kao i folijarnog prihranjivanja biljaka.

Tako je pomoću markiranog fosfora dokazano, da je iskorištavanje fosfora iz tla kod kukuruza, soje i nekih drugih biljaka, najveće u prvih 30—50 dana, a nakon toga dolazi do opadanja.

Kod krumpira je sasvim drukčija slika. On ima iskorištavanje fosfora nešto pravilnije nego spomenute kulture. Nakon 30 dana krumpir iskoristi oko 50% od ukupnog fosfora, a nakon 42 dana oko 65% dok poslije 65 dana nastaje blago opadanje iskorištavanja hraniva fosfora.

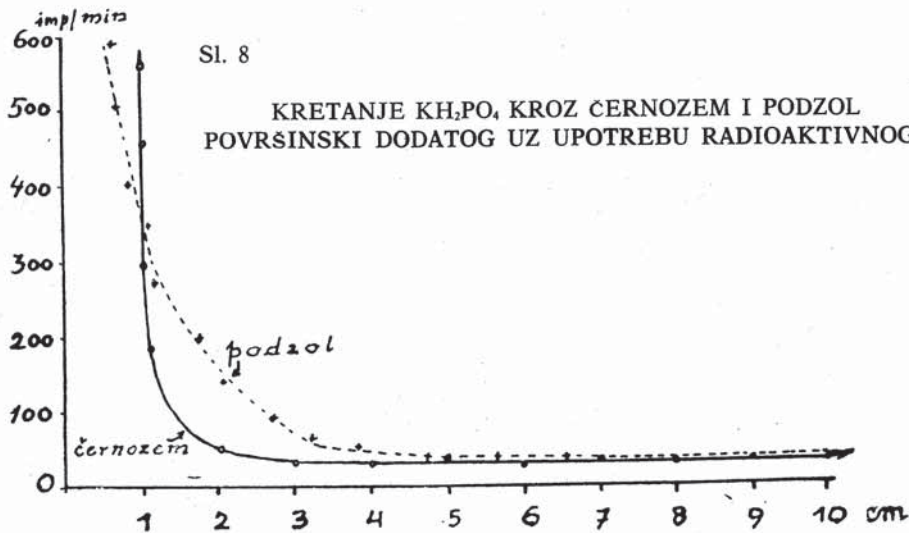
Kod uzgoja šećerne repe je utvrđeno, da je od ogromne važnosti opskrbiti mlade biljke s dovoljno fosfora već u prvim danima razvoja. Isti je slučaj kod pšenice i raži kao i nekih drugih ratarskih biljaka.

Koristeći radioaktivni fosfor je dokazano, da je najveća koncentracija fosfora u dijelovima rasplodnih organa za vrijeme cvatnje i oplodnje biljaka.

Vlasjuk i drugi suradnici su primijetili, da primjena radioaktivnih izotopa P^{32} i Zn^{65} imaju utjecaj na poboljšanje kvaliteta i kvantiteta korijena šećerne repe. Dobiven je veći korijen s povećanjem šećera za 4,7% u odnosu na kontrolu.

Mnoga ispitivanja su pokazala, da se fosfor nejednoliko raspoređuje po biljnim organima. Kod žitarica je primijećeno najviše P u korijenu, čvoru nabusavanja, rasplodnim organima, a najmanje u listu. Kod šećerne repe situacija je bila nešto drukčija. Najviše fosfora su sadržavali korjenčići pa zatim korijen, manje peteljke, a najmanje plovke lista itd.

Sve do primjene radioaktivnog fosfora nije bilo moguće utvrditi koje količine hraniva je biljka primila iz tla, a koje iz gnojiva. Isti je slučaj bio i s primjenom folijarne gnojidbe, gdje je bilo vrlo teško utvrditi, koje količine hraniva je biljka usvojila putem nadzemnih vegetativnih organa, a koje podzemnim putem, danas to više nije problem koristeći pri tome izotope.



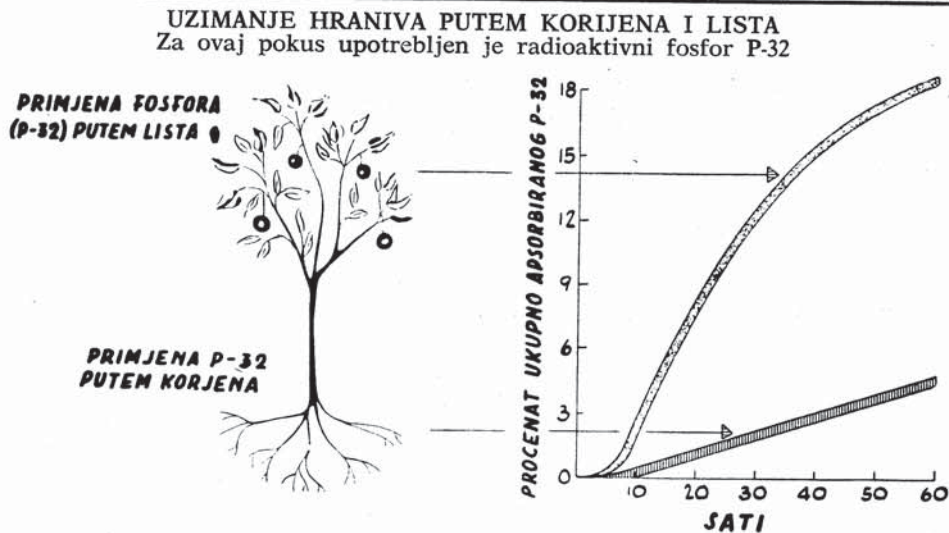
B) FOLIJARNA ISHRANA BILJA (GNOJIDBA)

Odavno je poznato da biljke mogu koristiti mineralna hraniva i putem vegetativnih — nadzemnih organa. Naročito se to pokazalo kao efikasno tretiranjem pojedinih biljaka za vrijeme vegetacije s rastvorima hraniva. Tako su vrlo efikasni željezni spojevi u vrijeme pojave kloroze koja je uzrokovana deficijencijom željeza. Tretirane klorotične biljke s rastvorom željeznih soli koncentracije 0,0001% do 0,005% ubrzo su postale normalno zelene. Zatim je postignut čitav niz drugih sličnih uspjeha u otklanjanju deficijencije u ishrani bilja mikroelementima. Međutim, sve dok nije došlo do primjene radioizotopa poznavanje ishrane je ostalo nedovoljno razjašnjeno. Mnogi ruski i američki radovi iz ovog područja nagovještavaju efikasnu primjenu folijarne gnojidbe u ishrani bilja i u onim fazama na koje se ranije nije pomišljalo. Primjenom poljoprivredne avijacije stvorene su nove mogućnosti efikasnog interveniranja u ishrani ratarskog bilja. Zahvaljujući poljoprivrednoj avijaciji, prihranjivanja se mogu obaviti u svako vrijeme bez obzira na stanje tla za obradu, što je od posebne važnosti.

Primjenom izotopa je utvrđeno, da se folijarnim tretiranjem pojedinih biljaka i drugi faktori mogu podmiriti 15—45% od svih ukupnih potreba biljke za nekim hranivom. Efikasnost folijarne ishrane ovisi o više faktora, od kojih su najvažniji: razvojna faza u kojoj se vrši tretiranje, koncentracija, broj tretiranja, klimatske prilike, biljna vrsta, varijeteta, hranivo kojim se želi prihranjivati i dr. (Slika 9).

Također je utvrđeno, da fosfor, kalij, dušik kao i neke druge hranjive elemente vrlo brzo list apsorbira, te se kreću kroz list, stablo i korijen. Kao rezultat pojačanog usvajanja hraniva dobivaju se i povećani prinosi od 10—50% ovisno i od niza drugih faktora.

Vrlo su interesantni neki ruski podaci u kojima navode, da su uz primjenu folijarne ishrane ratarskog bilja, kao i nekih mikroelemenata postigli povećanje prinosa za 10—23%, i njihovog kvaliteta. Postiže se bolja oplodnja djeteline, veća proizvodnja sjemena i intenzivniji rad azotofiksatora itd.



Sl. 9

Rezultati pokazuju:

- 1 — na koji način se mogu brzo i efikasno primijeniti fosforna i druga gnojiva
- 2 — primjenom kroz list efekat iznosi 95% a putem korijena 10%
- 3 — putem lista može se primijeniti kada je hranivo najpotrebnije

Daljnjom primjenom markiranih atoma vršeno je ispitivanje kako pojedini faktori utječu na usvajanje hraniva preko lista kao što su: temperatura, vlažnost, vrijeme tretiranja, jutro, podne i predvečer itd.

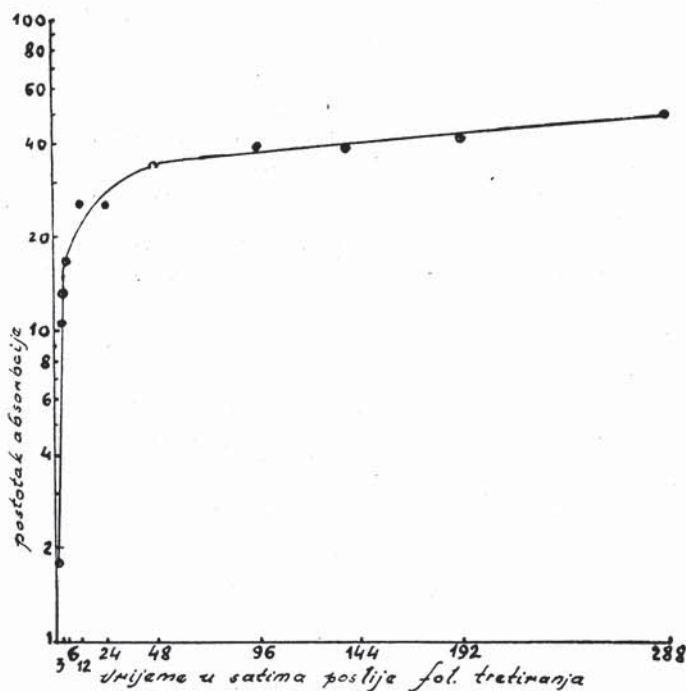
Dok se fosfor i sumpor brže primaju putem lista nego preko korijena, dotle se željezo, kalcij kao i neki drugi elementi relativno sporo primaju i transportiraju, već redovno ostaju na mjestima resorpcije. (Slika 10).

Primjenom markiranih atoma, omogućeno je da se folijarna ishrana bilja znatno bolje upozna, nego što je bilo poznato ranije. Iskorištene su mogućnosti, da se uz preparate upotrebljene u borbi protiv gljivičnih bolesti i štetnika, bez smetnji mogu dodavati određena hraniva čime je pojačana ekonomičnost njihove primjene.

PRIKAZ APSORPCIJE RADIOAKTIVNOG FOSFORA (P^{32})

dobanog preko lista jabuke u zavisnosti od vremena

(Po M. J. Bukovcu i S. H. Wittweru, SAD)



Slika 10

PRIJEDLOZI I ZAKLJUČCI

1. Zahvaljujući primjeni radioaktivnih izotopa stvorene su mogućnosti da se pojedine tvari mogu utvrditi — dokazati u količini od 10^{-13} do 10^{-19} grama, iz čega se vidi, da su i najosjetljivije kemijske klasične metode za milijardu puta grublje od radioaktivnih.
2. Iz svega što je ovdje opisano vidi se, da su radioaktivni i maseni izotopi učinili ogroman korak naprijed u rješavanju raznih naučnih problema u biljnoj proizvodnji. Zato je u budućnosti neophodno potrebno postojeće klasične metode nadopuniti i usavršavati primjenom izotopnih metoda.

3. Primjena izotopa omogućuje da se pojedine naučne konstatacije obave: kompleksnije, tačnije, brže i jeftinije.
4. Bez primjene izotopa, danas se ne može zamisliti egzaktno proučavanje: fotosinteze, mineralne ishrane, fitohormona, biljnih ekskrecija i dr.
5. Uviđajući neophodnu potrebu primjene izotopa u proučavanju ishrane bilja pojedine republike su organizirale laboratorije za primjenu radioaktivnih izotopa, kao i AP Vojvodina, osim SR Hrvatske.
Nasuprot tome, kod nas postoje svi uvjeti, pa čak i bolji za organizaciju i rad takvih laboratorija nego u drugim mjestima u kojima već rade.
Ove godine je pušten u pogon ciklotron »Ruđer Bošković« koji će proizvoditi radioaktivne izotope za potrebe laboratorija u Novom Sadu, Beogradu, Skopju, Sarajevu i Ljubljani. Kako vidimo, na području SR Hrvatske nema takvih laboratorija.
Prema tome, vidimo da je posljednje vrijeme, da se na području SR Hrvatske odmah pristupi organizaciji radioaktivne laboratorije za proučavanje biljne proizvodnje.

LITERATURA

1. Damjanović B.: »Principi zaštite od jonizujućih zračenja«, Beograd, 1961.
2. Dizdar Z.: »Radioizotopna laboratorija«, Beograd, 1961.
3. Draganić I., Gal O. i Radotić M.: »Radiohemijski praktikum«, Beograd, 1959.
4. Gasstone S.: »Atomska energija«, Beograd, 1954.
5. Jekić M.: »Problem fosfora u našoj poljoprivredi«, Hemizacija poljoprivrede br. 14/58.
6. Jovanović - Kovačević O.: »Radioaktivni izotopi«, Beograd, 1961.
7. Milojević A., Urošević V., Kurepa M.: »Šta nam nude izotopi«, Beograd, 1961.
8. Milojević A.: »Radioaktivni izotopi«, Beograd, 1961.
9. Novaković B.: »Primjena nuklearne energije u poljoprivredi specijalno u ishrani i zaštiti bilja«, Hemizacija poljoprivrede 10/57.
10. Reuther W.: »Plant analysis and fertilizer problems«, Washington, 1961.
11. Stanković D.: »Primena radioaktivnih izotopa u poljoprivredi i šumarstvu«, Beograd, 1960.