

Arh. hig. rada, 25 (1974) 57.

DETEKCIJA ZRAČENJA U TEKUĆEM SCINTILATORU

MAJA BLANUŠA

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU u Zagrebu

(Primljeno 4. II 1974)

U ovom prikazu iznesen je osnovni princip detekcije zračenja u otopini organskog scintilatora, vrste otapala i scintilatora koje se najčešće upotrebljavaju, te načini korekcije efekta gašenja. Uzorci za mjerenje u brojačkom uređaju podijeljeni su s obzirom na sastav u homogene i heterogene, te je naveden literaturni pregled različitih mogućnosti miješanja radioaktivnog uzorka sa scintilatorom.

Jedna od najosjetljivijih i najprikladnijih metoda za detekciju beta i alfa-emitirajućih radioizotopa u različitim kemijskim oblicima jest spektrometrija u tekućem scintilatoru, jer omogućuje visoku efikasnost detekcije i obično zahtijeva neznatne kemijske pripreme. Relativno visoko osnovno zračenje ($15-30 \text{ imp} \times \text{min}^{-1}$) u usporedbi s ostalim sistemima detekcije ograničuje osjetljivost metode. Tako su na primjer za mjerenje prirodne radioaktivnosti, zbog niskog osnovnog zračenja, mnogo prikladniji protočni plinski brojači. Osim ovoga je ozbiljnije ograničenje zbog smanjenja svjetlosnog izlaza, tzv. efekta gašenja (quenching effect), uzrokovanog prisutnošću određenih kemijskih nečistoća. Smanjenje svjetlosnog izlaza scintilatora uzrokovat će smanjenje efikasnosti detekcije u mjerenom uzorku. Prisutnost efekta gašenja međutim u većini uzoraka može se otkriti, te njegov utjecaj smanjiti ili korigirati primjenom pogodne metode standardizacije.

Usprkos navedenim lošim stranama sistema detekcije zračenja u tekućem scintilatoru velika je njegova prednost u tome što je nedvojbeno najefikasnija metoda mjerenja niskocnergetskih beta-emitera. Razlog tome je intimni kontakt između radioaktivnih atoma i molekula scintilatora u otopini, čime su problemi samoapsorpcije uglavnom isključeni. Zbog toga ostaje široko polje upotrebe tekućih scintilatora za analitičku primjenu u kemiji, biokemiji i medicini.

PRIJENOS ENERGIJE U SISTEMU

Scintilator je organska supstancija otopljena u nekom aromatskom otapalu, obično toluenu, ili dioksanu. Ovaj sistem može imati još neke dodatke, koji obično služe za poboljšanje kontakta uzorka s otapalom ili za bolji prijenos energije. Alfa- i beta-zračenje radioizotopa gube svoju energiju u otapalu. Ta se energija prenosi kroz otapalo do molekule scintilatora koji je pretvara u svjetlosni kvant. Jedan ili dva fotomultiplikatora detektiraju svjetlosne kvante od nekoliko molekula scintilatora i pretvaraju ih u elektrone. Elektroni se ubrzavaju preko niza dinoda što rezultira stvaranjem dvaju do šest elektrona za svaki ulazni elektron. Ta multiplikacija elektrona može doseći faktor od 10^5 preko jedanaest dinoda.

Spontane emisije s fotokatode stvaraju osnovno zračenje, koje se smanjuje na nižoj temperaturi. Osnovno zračenje koje potječe od gama-zraka i kozmičkih zraka smanjuje se upotrebom antikoincidentne zaštite. Ovaj sistem zaštite eliminira i one svjetlosne fotone koji nastaju zbog kemiluminiscencije nekih supstancija u uzorku.

OTAPALA, SCINTILATORI I DODACI

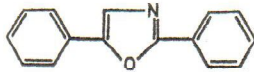
Uloga i svojstva otapala moraju biti slijedeća: (a) da omogućuje ulazak uzorka u medij, (b) da prenosi energiju izvora zračenja i (c) da otapa scintilator i propušta svjetlost.

Scintilator pretvara energiju zračenja u svjetlosnu energiju, ali ako je valna duljina svjetlosti nepovoljna za fotomultiplikatorsku cijev, onda se može upotrijebiti sekundarni scintilator, koji mijenja valnu duljinu emitirane svjetlosti (wavelength shifter).

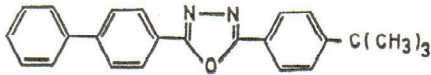
Dva osnovna otapala koja se upotrebljavaju jesu alkilbenzeni toluen i ksilen, te alifatski eteri, najčešće dioksan. Dioksan ima pred ostalima prednost jer se miješa s vodom, ali istodobno smanjuje efikasnost scintilatora. Otapala moraju biti velike čistoće, jer one uzrokuju efekt gašenja.

Najpoznatiji i najčešće upotrebljavani primarni scintilator je 2,5-difeniloksazol (PPO). Noviji scintilator manje osjetljiv na gašenje (Scales 1967) jest 2-(4'-t-butilfenil)-5-(4''-difenil)-1,3,4-oksadiazol (butil-PBD). Dva najčešća sekundarna scintilatora jesu 1,4-bis-(5-feniloksazol-2-il) benzen (tzv. POPOP) i 1,4-bis-(4-metil-5-fenil-oksazol-2-il) benzen (tzv. dimetil-POPOP). Ovaj drugi je prikladniji jer se lakše otopi u toluenu. Scintilatori moraju biti topljivi kod radne temperature sistema i ne smiju se precipitirati dodatkom uzorka odn. vode.

Budući da su radioaktivni izotopi najčešće u vodenoj otopini, neophodna je mogućnost miješanja otopine scintilatora s vodom, zbog toga su sistemi na bazi dioksana najprikladniji za tu svrhu, pri čemu se dodaje



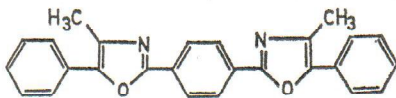
PPO



butil-PBD



POPOP



dimetil-POPOP

naftalen koji poboljšava prijenos energije od otapala do scintilatora a time i efikasnost detekcije. Dioksansku smjesu prvi je upotrijebio *Bray* (1), a sastojala se od naftalena, PPO, POPOP, metanola i etilenglikola u dioksanu. Etanol i monometileteri etilenglikola mogu se upotrijebiti kao dodaci za sniženje ledišta scintilatora na bazi dioksana.

Scintilatori na osnovi toluena mogu se razrijediti različnim polarnim otapalima, kao što su etanol i metanol, da bi im se povisila sposobnost miješanja s vodom. Taj je sistem prvobitno bio namijenjen organskim otapalima, ali može se upotrijebiti i za krv, urin i biološka tkiva uz pomoć otapala (solubilisers). Tipična otapala za tkiva jesu Hyamine 10-X (Rohm & Haas), NCS (Nuclear Chicago), Bio-Solv (Beckman Instruments) i Soluene-100 (Packard Instrument). Drugi aditivi kao što je Triton X-100 omogućuju mjerenje emulzija u toluenskom sistemu (2).

Kada je uzorak netopljiv u scintilatoru ili bilo kojem prikladnom otapalu, može se raditi tehnikom stvaranja gela. To se postiže dodatkom silicijeva dioksida u obliku finog praha, nakon čega netopljiva supstanca ostaje suspendirana u otopini scintilatora.

EFEKT GAŠENJA I METODE KOREKCIJE

Smanjenje svjetlosnog izlaza scintilatora zbog nečistoća koje su prisutne u dodanom uzorku naziva se efekt gašenja (quenching effect). Posljedica toga je smanjenje visine impulsa na izlazu iz fotomultiplikatora te manja efikasnost detekcije. Kinetički su proces gašenja opisali i definirali *Ross* (3) te *Gibson* i *Gale* (4).

Kod visokoenergetskih beta-emitera efikasnost mjerenja je malo niža od 100% i efekti gašenja mali. Ako osim toga uzorci u jednom eksperimentu imaju sličan kemijski sastav, onda su međusobne razlike u efikasnosti mjerenja male te se mogu zanemariti. Međutim kod niskoenergetskih beta-emitera to nije slučaj te je potrebno uvesti korekciju zbog efekta gašenja. Tri najčešće upotrebljavane metode jesu interna standardizacija, eksterna standardizacija i metoda omjera kanala.

Interna standardizacija je direktna i najtočnija metoda korekcije. Sa stoji se u mjerenju uzorka prije i nakon dodatka malog volumena poznate količine izotopa visoke specifične aktivnosti. Ta je metoda najpouzdanija za jako gašene uzorke, ali je dugotrajna zbog mnogo pipetiranja i dvostrukog mjerenja svakog uzorka.

Eksterni standard i omjer kanala jesu metode korekcije, koje se osnivaju na istom principu. Kada u nekom uzorku dolazi do gašenja, tada se prosječna energija impulsa smanjuje te se spektar radioizotopa pomiče prema nižim energijama. Tada se broj registriranih impulsa u svakom pojedinom kanalu mijenja. Ako su dva kanala prikladno odabrana, onda će njihov omjer biti u nekoj ovisnosti o efikasnosti mjerenja. Taj način korekcije efikasnosti mjerenja radioizotopa u uzorku naziva se metoda omjera kanala (channel ratio method). Pri vanjskom standardiziranju, postavljanjem nekog standardnog izvora gama-zračenja izvan mjerne posudice za vrijeme mjerenja, događa se isti pomak spektra Comptonovih elektrona unutar posudice. Gasilo prisutno u posudici interferirat će jednako i pri prijenosu energije vanjskog izvora zračenja (tj. eksternog standarda). Brzina mjerenja eksternog standarda u odabranom dijelu njegova spektra može se korelirati s gašenjem bilo kojeg spektra u posudici. Isto tako se omjer broja impulsa eksternog standarda u dva prikladno odabrana kanala može korelirati sa stupnjem gašenja u uzorku.

HOMOGENI SISTEMI: VODENE OTOPINE, BIOLOŠKE TEKUĆINE I TKIVA, ANORGANSKI SPOJEVI

Priprema uzoraka za mjerenje radioaktivnosti trebala bi biti što kraća i jednostavnija zbog mogućih gubitaka, izotopnih efekata i uvođenja kemijskih nečistoća koje bi izazvale efekt gašenja. Način pripreme često ovisi o radioaktivnom izotopu koji se želi odrediti. Ako su to niskoenergetski beta-emiteri ^3H i ^{14}C onda često treba provesti spaljivanje uzoraka do vode ili topljivog karbonata. Iscrpan prikaz o raznim metodama oksidacije s brojnim literaturnim referencama dali su *Parmentier* (5) i *Jeffay* (6).

Vodeni sistemi koji se normalno ne mogu miješati s nepolarnim otapalima kao što je toluen, mogu se dodati u scintilacijski sistem ako su prisutni neki dodaci za miješanje. Ovakvi sistemi počeli su se upotrebljavati od 1953. godine kada su *Hayes* i *Gould* opisali toluen-etanolnu smjesu te *Kinard* (cit. 7) ksilen-dioksan-etanolnu smjesu. Od tada do da-

nas opisano je mnogo različitih sustava za miješanje vodenih otopina, koji su detaljno obuhvaćeni u revijskim prikazima *Rapkina* (7) i *Parmientiera* (5). Jedan od najčešće upotrebljivanih sistema koji se miješa s vodom jest tzv. Brayova otopina, koju je autor opisao za određivanje ^3H i ^{14}C . Sistem se sastoji od scintilatora PPO, POPOP i naftalena otopljenih u dioksanu uz dodatak apsolutnog metanola i etilenglikola koji sprečava smrzavanje smjese na niskoj radnoj temperaturi. *Bruno* i *Christian* (8) modificirali su taj sistem za određivanje ^{14}C u vodenim bikarbonatnim otopinama tako što su uz PPO, POPOP i naftalen u dioksan dodali i celosolv (etilenglikol-monometileter).

Opširnu studiju o mjerenju ^3H u sistemima na osnovi toluena uz različite dodatke za miješanje (blending agents) kao što su metanol, etoksi- etanol, te na osnovi dioksana po *Brayu*, dao je *White* (9). Ograničenje u ovih sistema jest količina vodene otopine koja se može izmiješati. Isti je autor našao da dioksanska smjesa može primiti najviše 36% vode uz pad efikasnosti detekcije ^3H za 80%.

Biološke tekućine kao plazma, serum i urin mogu se miješati s opisanim sistemima izravno (10—13) ili nakon digestije s kalijevom lužinom (14). Osim KOH često se upotrebljavaju specijalna otapala (solubilizers), koja se sastoje od smjese kvarternih amonijevih baza topljivih u toluenu. Najpoznatiji je hidroksid hijamina 10-x (15—17). Loša je strana ovih otapala pojava efekta gašenja bojom, fluorescencija ili kemiluminiscencija do koje dolazi nakon miješanja s otopinom scintilatora (18—22). Da bi se to izbjeglo, može se biološki materijal prije miješanja sa scintilacijskim sistemom spaliti (mokro ili suho), te otopiti u nekoj kiselini. Tada se može tretirati kao vodena otopina ili kao anorganski spoj koji je potrebno istaložiti. Ovakav postupak dolazi u obzir pri određivanju ^{45}Ca , ^{63}Ni , ^{59}Fe , ^{55}Fe , ^{90}Sr i ostalih anorganskih radioaktivnih elemenata u biološkim uzorcima. Anorganske soli veoma je teško otopiti u organskim otapalima scintilacijskih sistema bez pojave efekta gašenja, te je zbog toga prikladnije primijeniti neki heterogeni sistem ili nanositi uzorak na papir. Ipak su mnogi uspjeli upotrebom raznih kompleksirajućih i ekstrahirajućih supstancija otopiti razne ione. Kao komplekson često se upotrebljava dibutilfosfat (23), a kao ekstrahirajuća supstancija etanol (24, 25).

HETEROGENI SISTEMI: GEL I SUSPENZIJA, EMULZIJA, UZORCI NA FILTER PAPIRU

U novije vrijeme pronađeno je nekoliko novih sistema za izravno miješanje uzoraka s otopinom scintilatora. Švi se osnivaju na principu stvaranja gela, suspenzije ili emulzije. Takvi sistemi omogućuju izravno miješanje veće količine uzorka bilo anorganske soli, biološke tekućine ili vodene otopine.

Jedan od prvih gel-sistema opisali su još 1956. godine *White* i *Helf* za određivanje ^{14}C (26). Oni su u sistem PPO-toluen dodali Thixcin, derivat

ulja za podmazivanje, koji stvara tiksotropni gel. Ovaj ima svojstvo da postaje tekućina nakon miješanja. *Helf* i sur. (27) smatraju da je metoda naročito prikladna za anorganske soli koje su uglavnom netopljive u otopinama organskih scintilatora. Kasnije se za stvaranja gela upotrebljavao Cab-O-Sil, silicijev dioksid u obliku finog praha, koji se dispergira u otopinama scintilatora i stvara optički bistar tiksotropni gel (28, 29).

Nova mogućnost izravnog miješanja biološkog materijala s toluenskim sistemom pojavila se kada su *Meade* i *Stiglitz* (cit. 2) upotrijebili neionski detergent tipa oktil-fenol-poliglikol eter, Triton X-100, za stvaranje suspenzije malih količina tkiva. Kasnije su ga *Patterson* i *Greene* (2) primijenili za stvaranje emulzije toluenskog sistema s vodom. Metoda se od tada često upotrebljava za stvaranje emulzije bioloških tekućina (30—32), te vode i vodenih otopina (33—36) u toluenskoj otopini scintilatora. Ispitivanjem svojstava i usporedbom nekoliko različitih detergenata nađeno je da Triton X-100 spada među najbolje s obzirom na efikasnost detekcije ^3H u vodi (36, 37). Osim toga nađeno je da sistem toluen: triton u omjeru 2 : 1 djeluje kao otapalo za vodu. Tek povećanjem količine vode u sistemu iznad 18% od viška vode stvara se emulzija (38).

Za izravno miješanje vode, vodenih otopina ili bioloških tekućina postoji još mogućnost upotrebe tvorničkih priređenih otopina scintilatora u raznim otapalima, koje imaju sposobnost primanja velikih volumena ispitivanih tekućina uz visoku efikasnost detekcije. Miješanjem manjih količina vode stvara se otopina, a miješanjem većih količina (iznad 40%) stvara se stabilni gel. Te otopine scintilatora prodaju se na tržištu pod nazivima: Insta-Gel (Packard), Unisolve-1 (Koch-Light), Scintigel (Roth), NE 221 (Nuclear Enterprises) i Aquasol (New England Nuclear). U literaturi je opisana primjena Insta-Gel scintilacijske otopine za mjerenje ^3H u urinu (39), u tkivnim homogenatima (40), te za mjerenje ^{45}Ca u solno kiselim vodenim otopinama i biološkim tekućinama (41). Primjenu Insta-Gel za određivanje ^{14}C , ^3H , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{144}Ce , ^{139}Ba i ^{36}Cl u vodenim otopinama opisali su *Handler* i *Romberger* (42), a Aquasol je opisan za određivanje ^3H i ^{14}C u biološkim tkivima (43).

Manji volumeni (5—100 μl) ispitivanog uzorka mogu se nanositi na različite krute nosače te uroniti u bilo koju otopinu scintilatora. Kao nosači mogu služiti različite vrste filter-papira ili materijali koji se upotrebljavaju u kromatografiji i elektroforezi (44—46). Naneseni uzorak mora biti lako topljiv ili potpuno netopljiv u otopini scintilatora. Ako je uzorak topljiv, onda se radioaktivnost mjeri nakon određenog vremena koje je potrebno za potpunu ekstrakciju uzorka, s nosača u otopinu (47). Kod netopljivih uzoraka, nosač s nanesenim uzorkom mora biti osušen prije uranjanja u otopinu scintilatora. Iz ovako priređenih uzoraka, a nakon izvršenog mjerenja, otopina scintilatora može se regenerirati. Tehnika nanošenja na kruti nosač primijenjena je za određivanje ^3H i ^{14}C u biološkom materijalu bez prethodne pripreme biološkog uzorka (13) i u

raznim organskim spojevima (48). Stroncij-89 je tom metodom određen u biološkom materijalu uz efikasnost od 65% (49), a ^{45}Ca u spaljenom štakorskom karkasu (50), te u urinu i plazmi (51) uz efikasnost od 80 do 97%.

Navedeni primjeri priređivanja uzoraka homogenog ili heterogenog sastava samo su neki tipični slučajevi opisani u literaturi posljednjih desetak godina. Budući da u praksi dolaze u obzir za mjerenje radioaktivnosti uzorci različitog kemijskog sastava i specifične aktivnosti, a broj otopina scintilatora je također velik, ne postoje standardizirani propisi o načinu pripreme pojedinih vrsta uzoraka. Izbor najprikladnije metode prepušten je stoga samom eksperimentatoru.

Literatura

1. Bray, G. A.: A Simple Efficient Liquid Scintillator for Counting Aqueous Solutions in a Liquid Scintillation Counter, *Anal. Biochem.*, 1 (1960) 279.
2. Patterson, M. S., Greene, R. C.: Measurement of Low Energy Beta-Emitters in Aqueous Solution by Liquid Scintillation Counting of Emulsions, *Anal. Chem.*, 37 (1965) 854.
3. Ross, H. H.: Theoretical and Experimental Aspects of Quenching Variables from Biomedical Samples in Liquid Scintillator Systems, IAEA, SM-61/38, Symposium on Radioisotope Sample Measurement Techniques in Medicine and Biology, Vienna, 1965.
4. Gibson, J. A. B., Gale, H. J.: A Fundamental Approach to Quenching in Liquid Scintillators, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 18 (1967) 681.
5. Paramentier, J. H., Ten Haaf, F. E. L.: Developments in Liquid Scintillation Counting since 1963, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 20 (1969) 305.
6. Jeffay, H.: Oxidation Techniques for Preparation of Liquid Scintillation Samples, Packard Technical Bulletin No. 10, October, 1962.
7. Rapkin, E.: Liquid Scintillation Counting 1957—1963: A Review, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 15 (1964) 69.
8. Bruno, G. A., Christian, J. E.: Determination of Carbon-14 in Aqueous Bicarbonate Solutions by Liquid Scintillation Counting Techniques. Application to Biological Fluids. *Anal. Chem.*, 33 (1961) 1216.
9. White, D. R.: The Evaluation of Liquid Scintillation Mixtures of Aqueous Samples, Beckman Summer School, Liquid Scintillation Counting, 1967.
10. Langham, W. H., Eversole, W. J., Hayes, F. N., Trujillo, T. T.: Assay of Tritium Activity in Body Fluids with Use of a Liquid Scintillation System, *J. Lab. Clin. Med.*, 47 (1956) 819.
11. Francis, G. E., Hawkins, J. D.: Liquid Scintillation Counting of Aqueous H^3 - and C^{14} -Protein Solutions at Room Temperature, *J. Appl. Radiat. Isotopes*, 18 (1967) 223.
12. Kumar, I., Berger, E. Y.: Preparation of Samples for Liquid Scintillation Analysis of Tritiated Water in Biological Material, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 19 (1968) 805.
13. Apelgot, S., Chemama, R., Frilley, M.: Eine Methode zur Messung von Kohlenstoff-14 oder Tritium in biologischen Flüssigkeiten, *Monatshefte für Chemie*, 102 (1971) 985.
14. Gjone, E., Vance, H. G., Turner, D. A.: Direct Liquid Scintillation Counting of Plasma and Tissues, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 8 (1960) 95.
15. Herberg, R. J.: Determination of Carbon-14 and Tritium in Blood and other Whole Tissues, *Anal. Chem.*, 32 (1960) 42.
16. Rapkin, E.: Hydroxide of Hymine 10-X, Packard Technical Bulletin, No 3, June (1961).

17. Bloom, P. M., Nelp, W. B.: A Method for Beta Counting of Large Samples of Plasma by Liquid Scintillation, *J. Lab. Clin. Med.*, 65 (1965) 1030.
18. Herberg, R. J.: Phosphorescence in Liquid Scintillation Counting of Proteins, *Science*, 128 (1958) 199.
19. Kalbhen, D. A.: Problems of Chemoluminescence in Liquid Scintillation Counting using the Hydroxide of Hyamine 10-X, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 18 (1967) 655.
20. Scales, B.: Liquid Scintillation Counting: The Determination of Background Counts of Samples Containing Quenching Substances, *Anal. Biochem.* 5 (1963) 489.
21. Dunn, A.: Interference of Tissue Solubilizers with Liquid Scintillation Counting Fluors, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 22 (1971) 212.
22. Wetter, L. R., Dyck, J.: The Utilization of Commercial Tissue Solubilizers in Liquid Scintillation Counting, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 24 (1973) 430.
23. Hardcastle, J. E., Hannapel, R. J., Fuller, W. H.: A Liquid-Scintillation Technique for the Radioassay of Calcium-45, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 18 (1967) 193.
24. Carr, T. E. F., Parsons, B. J.: A Method for the Assay of Calcium-45 Liquid Scintillation Counting, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 13 (1962) 57.
25. Sarnat, M., Jeffay, H.: Determination of Radioactive Calcium by Liquid Scintillation Counting, *Anal. Chem.*, 34 (1962) 643.
26. White, C. G., Helf, S.: Suspension Counting in Scintillating Gels, *Nucleonics*, 14 (1956) 46.
27. Helf, S., White, C. G., Shelley, R. N.: Radioassay of Finely Divided Solids by Suspension in a Gel Scintillator, *Anal. Chem.* 32 (1960) 238.
28. Gordon, C. F., Wolfe, A. L.: Liquid Scintillation of Aqueous Samples, *Anal. Chem.* 32 (1960) 574.
29. Turpin, R. A., Bethune, J. E.: Simplified Method for Determination of Radioactive Calcium-45 in Biological Material by Gel Scintillation Counting, *Anal. Chem.*, 39 (1967) 362.
30. Varrone, E., Albert, S. N.: A Stable Liquifluor Solution for Counting ³⁵S Protein-free Solution Prepared from Plasma Samples, *J. Nucl. Med.*, 10 (1969) 263.
31. Sheppard, G., Marlow, C. G.: The Simultaneous Measurement of ⁵¹Cr and ¹⁴C by Liquid Scintillation Counting, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 22 (1971) 125.
32. Chapman, D. I., Marcroft, J.: The Use of Triton X-100 in the Liquid Scintillation Counting of Carbon-14 with Particular Reference to Plasma and Urine, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 22 (1971) 371.
33. Turner, J. C.: Triton X-100 Scintillant for Carbon-14 Labelled Materials, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 19 (1968) 557.
34. Turner, J. C.: Tritium Counting with the Triton X-100 Scintillant, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 20 (1969) 499.
35. Mostafa, I. Y., Fallin, E., Fang, S. C.: Comparative Studies of Liquid Scintillation Counting of Aqueous ¹⁴C Samples, *Anal. Biochem.*, 36 (1970) 238.
36. Lupica, A. B.: Polyethoxylated Nonionic Surfactants in Toluene for Liquid Scintillation Counting of Tritium in Aqueous Samples, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 21 (1970) 487.
37. Lieberman, R., Moghissi, A. A.: Low-Level Counting by Liquid Scintillation — II Applications of Emulsions in Tritium Counting, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 51 (1970) 319.
38. Benson, R. H.: Limitations of Tritium Measurements by Liquid Scintillation Counting of Emulsions, *Anal. Chem.*, 38 (1966) 1353.
39. Wetterau, L. W., Heubotter, R. J.: Rapid Urine Assay for Tritium, *Health. Phys.*, 19 (1970) 449.
40. Bohne, F.: Difficulties in Measuring the Tritium-Activity of Tissue Homogenates by the New Scintillator Insta-Gel, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 22 (1971) 384.

41. *Blanuša, M., Kaštelan, M.*: Insta-Gell Scintillant for Calcium-45 Counting in Biological Samples, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 22 (1971) 723.
42. *Handler, L. H., Romberger, J. A.*: The Use of a Solubiliser-Scintillator Mixture for Counting Aqueous Systems Containing High- and Low-Energy Radionuclides, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 24 (1973) 129.
43. *Wiebe, L. I., Stevens, A., Noujain, A. A., Ediss, C.*: Use of Aquasol Scintillator Mixture for Liquid Scintillation Counting of Beta Radioactivity in Biological Tissue, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 22 (1971) 663.
44. *Bransome, E. D., Grower, M. F.*: Liquid Scintillation Counting of (³H) and (¹⁴C) on Solid Supports: A Warning, *Anal. Biochem.*, 38 (1970) 401.
45. *Blasius, E., Spannhake, N.*: Flüssigszintillationsmessung höherenergetischer β -Strahler auf Chromatogramm- und Pherogrammausschnitten, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 24 (1973) 301.
46. *Buchtela, K., Tschurlovits, M.*: Ein Beitrag zur Flüssigszintillationsmessung von Filtermaterialien, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 24 (1973) 531.
47. *Apelgot, S., Chemama, R., Frilley, M.*: A Technique for the Direct Counting of Carbon¹⁴ or Tritium in Biological Fluids, 17 (1972) 715.
48. *Gill, D. M.*: Liquid Scintillation Counting of Tritiated Compounds Supported by Solid Filters, 18 (1967) 393.
49. *Creger, C. R., Ansari, M. N. A., Couch, J. R., Colvin, L. B.*: The Determination of Sr⁹⁰ in Biological Samples, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 18 (1967) 71.
50. *Cramer, C. F., Ross, B. H.*: Liquid-Scintillation Assay of ⁴⁵Ca in Bone and Other Biological Tissue, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 21 (1970) 237.
51. *Hutchinson, F.*: Assay of ⁴⁵Ca in Biological Materials by Liquid Scintillation Counting, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 18 (1967) 136.

Summary

LIQUID SCINTILLATION COUNTING

The paper deals with the principles of the liquid scintillation counting method, the most commonly used scintillators and solvents and the methods of quenching correction. An attempt has been made to briefly review the literature in the field of homogeneous and heterogeneous sample preparation techniques.

*Institute for Medical Research
and Occupational Health, Yugoslav
Academy of Sciences and Arts,
Zagreb*

*Received for publication
February 4, 1974*