



ODZIV DOZIMETRIJSKIH SUSTAVA NA OSNOVI KLOBENZENA NA PROTONE U PODRUČJU ENERGIJA 3 - 5.5 MeV

Saveta MILJANIĆ, Đuro MILJANIĆ i Saša BLAGUS

Institut "Ruđer Bošković", 10000 Zagreb, Bijenička c. 54, pp 1016

UVOD

Otopine klorbenzena (CB) u organskim otapalima posjeduju niz povoljnih dozimetrijskih svojstava. Neka od njih su:

1. mogućnost mjerenja u širokom području doza i brzina doza;
2. mogućnost mijenjanja sastava dozimetrijskih otopina što omogućuje da se odabere otopina koja po svojstvima apsorpcije energije najbolje odgovara materijalu koji se zrači;
3. mogućnost kvantitativnog određivanja radiolitički nastale HCl različitim analitičkim metodama što omogućuje izbor najpogodnije metode očitavanja za određeni slučaj.

Razvijene su dvije osnovne formulacije dozimetrijskih otopina ovog tipa:

- a) otopine klorbenzena u etanolu i trimetilpentanu (CET), optimizirane za niske doze u dozimetriji kod radijacijskih nesreća i radioterapiji (1),
- b) otopine klorbenzena u etanolu (ECB), ispitane za visoke doze u radijacijskoj tehnologiji (2).

Važan dio karakterizacije nekog kemijskog dozimetrijskog sustava uključuje istraživanja utjecaja kakvoće zračenja na radijacijsko-kemijski odziv. Ovaj rad je dio naših nastojanja u istraživanju ovisnosti radijacijsko-kemijskog prinosa, G(HCl), o LET-u obiju dozimetrijskih otopina, ECB i CET.

EKSPERIMENTALNI DIO

Ozračenja protonima obavljena su na akceleratoru Tandem Van de Graaff u Institutu "Ruđer Bošković". Istovremeno, uzorci dozimetrijskih otopina ozračivani su pod sličnim uvjetima na referencijskom izvoru gama zračenja ^{60}Co .

Upotrijebljena su dva dozimetrijska sustava:

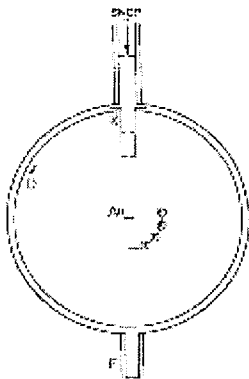
- a) ECB koji sadrži 10 vol. % CB u 96 vol. % vodenoj otopini etanola. Ova koncentracija CB je odabrana jer je približno ekvivalentna vodi za ozračenje fotonima (3).

b) CET koji sadrži CB (10 vol. %), etanol (10 vol. %) i trimetilpentan (80 vol. %).

Za ozračivanje su upotrebljavane epruvete od Pyrex stakla (vanjski promjer 1.6 cm i visina 7.5 cm) s ubrušenim čepom. Svaka epruveta sadržavala je 5 cm³ dozimetrijske otopine u ravnoteži sa zrakom. Da bi se kod ozračivanja protonima omogućilo da protoni uđu u dozimetrijsku otopinu, na epruvetama su napravljene rupe promjera 5 mm i prekrivene folijom Mylara debljine 3.5 μm. Folije su zalijepljene silikonskim ljepilom i osigurane čeličnom oprugom. Zbog visokog vakuuma u komori za ozračivanje, ubrušeni čep je također bio osiguran čeličnom žicom.

U ozračenim dozimetrijskim otopinama koncentracija iona Cl⁻ određena je merkurimetrijskom titracijom (4).

Shematski prikaz komore za raspršenje uz akcelerator Tandem Van de Graaff i raspored detektora i mete u eksperimentu prikazani su na slici 1. Držać s četiri uspravno postavljene epruvete pričvršćen je na pokretnu donju ploču. U komori su se također nalazili sustav za kolimaciju (K), poluvodički detektor (D) za detekciju protona raspršenih na zlatnoj foliji (Au), postavljen na kut od 150° prema smjeru snopa, zlatna folija (debelja 280 μg cm⁻²) u centru komore i faradejska čaša (F).



Slika 1. Shematski prikaz komore za raspršenje uz akcelerator Tandem Van de Graaff i raspored detektora i mete u eksperimentu

Ozračivanja su se obavljala na sljedeći način: za svaku pojedinu energiju najprije se držać epruveta postavljao izvan snopa tako da je snop protona bombardirao tanku zlatnu metu i zaustavljao se u faradejskoj čaši na kojoj se mjerio ukupni naboj donijet snopom. U isto vrijeme je poluvodički detektor detektirao protone odbijene od mete procesom raderfordskog raspršenja. Na taj način se utvrdio omjer broja raspršenih protona prema broju onih koji su došli u faradejsku čašu (tj. približno jednakom broju upadnih protona). U sljedećem koraku vrtnjom donje ploče prva epruveta je postavljena u putanju snopa, ali iza zlatne mete. Sada se protonski snop nakon prolaska kroz zlato i mylarski prozor epruvete zaustavljao u tekućini. Poluvodičkim detektorom su i dalje detektirani

protoni odbijeni od zlatnog listića i tako je indirektno određena ukupna deponirana energija. Poluvodički detektor nije “vidio” mylarski prozor i tekućinu, pa tako do njega nisu dolazili protoni raspršeni na njima. Iz broja detektiranih protona i prethodno određenog omjera bilo je moguće računati ukupnu dozu (uzimajući u obzir gubitke energije protona do ulaska u tekućinu).

Za svaku otopinu koja se ispitivala mjereno je odziv za pet različitih energija protona u području od 3 do 5.5 MeV. Za svaku energiju bilo je nekoliko jednakih uzoraka izloženih različitim dozama u području od 250 do 2000 Gy.

Radijacijsko-kemijski prinos klorida, $G(Cl)$ (mol J⁻¹) za dano polje zračenja “i” računat je prema izrazu:

$$G(Cl^-)_i = \frac{[Cl^-]_i}{(D_d)_i \cdot \rho} \quad //$$

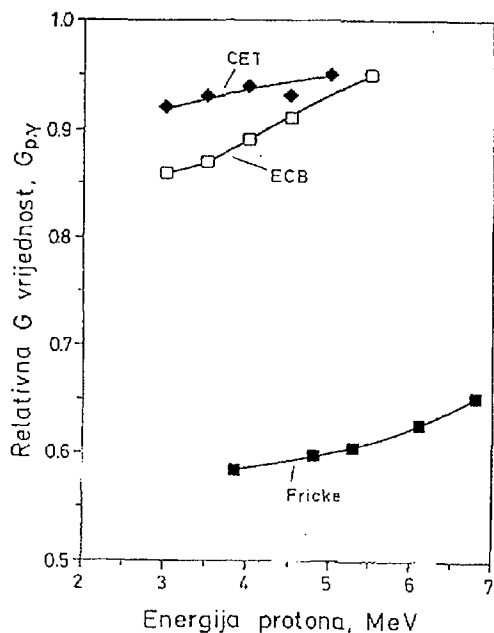
gdje je $[Cl^-]_i$ koncentracija iona Cl⁻ (mol m⁻³) nastala uz danu dozu $(D_d)_i$ (Gy) apsorbiranu u dozimetrijskoj otopini gustoće ρ (kg m⁻³).

REZULTATI I RASPRAVA

Rezultati prikazani u obliku omjera radijacijsko-kemijskog prinosa, $G(Cl)$, za protone i gama zračenje ⁶⁰Co, $G(Cl)_{p,\gamma}$, dani su na slici 2. Rezultati za otopine ECB i CET uspoređeni su s rezultatima koji su dobiveni za dobro poznati Frickeov dozimetar u približno istom području energija (5).

Kako se energija protona smanjuje, vrijednosti $G(Cl)$ i $G(Fe^{3+})$ za Frickeovu otopinu se također smanjuju. Promjena je najmanja za otopinu CET, a najveća za Frickeovu otopinu. Za otopinu CET u području energija protona od 5.0 do 3.0 MeV vrijednosti $G(Cl)_{p,\gamma}$ su od 0.95 do 0.92 tj. utjecaj LET-a za otopinu CET u području od oko 0.3 keV/μm (⁶⁰Co) do 9.4 keV/μm (protoni od 3.0 MeV) je relativno mali.

Radiolitički produkt koji se mjeri u dozimetrijskim sustavima na osnovi klorbenzena, klorid ion, stvara se u vrlo ranom stadiju procesa radiolize i zatim stabilizira bez sudjelovanja slobodnih radikala (6). Brza ionska reakcija manje je osjetljiva na faktore kao što su doza, brzina doze, LET, energija, temperatura, te utjecaj organskih onečišćenja nego reakcije slobodnih radikala. To objašnjava manji utjecaj LET-a u otopinama ECB i CET u usporedbi s Frickeovim dozimetrom. Također, za Frickeov dozimetar, reakcije inducirane zračenjem koje vode stvaranju Fe³⁺, uključuju potrošnju kisika otopljenog u otopini te je tijekom ozračivanja protonima neizbježno miješanje otopine. U slučaju otopina ECB i CET količina klorid iona stvorena radiolizom, za apsorbiranu dozu u području 1 kGy, zanemariva je u odnosu na ukupni broj atoma klora u ozračenom dijelu otopine i radi toga nema potrebe za miješanjem otopine tijekom ozračivanja. To je potvrđeno linearnim odzivom dozimetara u mjerenom području doza.



Slika 2. Relativne vrijednosti radijacijsko-kemijskog prinosa, $G_{p,\gamma}$, u odnosu na energiju protona za otopine CET, ECB (10 vol. % CB) i Frickeovu dozimetrijsku otopinu.

ZAKLJUČAK

Rezultati ozračivanja protonima dozimetrijskih otopina na osnovi klorbenzena daju bolji uvid u ovisnost odziva dozimetara o LET-u, te uz ranije dobivene i objavljene rezultate omogućuju predviđanje odziva u različitim poljima zračenja. Također, kalibracija dozimetara na ozračenje protonima je od važnosti u dozimetriji za terapiju zračenjem protonima koja se zbog povoljnih svojstava u odnosu na klasične metode terapije fotonima i elektronima sve više uvodi u medicinsku praksu (7,8). Relativno mali utjecaj na smanjenje vrijednosti $G(\text{HCl})$ za protone u opsegu energija od 3.0 do 5.5 MeV u usporedbi s gama zračenjem ^{60}Co pokazuje da bi dozimetri na osnovi klorbenzena mogli dobro poslužiti i za ovu terapijsku dozimetriju.

Zahvala - Autori zahvaljuju na pomoći pri izvođenju eksperimenata M. Bogovcu, A. Gajskom, M. Jakšiću, M. Kukecu, S. Stokoviću i M. Zadri.

POPIS LITERATURE

1. Ražem D, Miljanić S, Dvornik I. Chemical Dosimetry. U: Ionizing Radiation: Protection and Dosimetry (Edited by Paić G.). Boca Raton, FL: CRC Press, 1988.
2. Standard practice for use of the ethanol-chlorobenzene dosimetry system. E 1538-93. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 12.02, p. 874. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, U.S.A. 1993.
3. Miljanić S, Ražem D, Dvornik I. Energy independence of the radiation chemical yield, $G(Cl)$, of ethanol-chlorobenzene dosimeter solutions for ionizing photon irradiations. *Int J Appl Radiat Isot* 1993;44:711-718.
4. Dvornik I. The ethanol-chlorobenzene dosimeter. In *Manual on Radiation Dosimetry* (Holm N.W. and Berry R. J., eds). Marcel Dekker, New York, 1970.
5. Anderson AR, Hart EJ. Molecular product and free radical yields in the decomposition of water by protons, deuterons, and helium ions. *Radiat Res* 1961;14:689-704.
6. Ražem D, Dvornik I. Scavenging of electron prior to thermalization in ethanol. *J Phys Chem* 1980;84:3577-3581.
7. Miller DW. A review of proton beam radiation therapy. *Med Phys* 1995;22:1943-1954.
8. Prelec K. Ions and ion accelerators for cancer treatment. *Fizika* 1997;4:177-208.

RESPONSE OF THE CHLOROBENZENE-BASED DOSIMETRY SYSTEMS TO PROTONS IN THE ENERGY RANGE 3 - 5.5 MeV

Saveta MILJANIĆ, Đuro MILJANIĆ and Saša BLAGUS

Ruđer Bošković Institute, 10000 Zagreb, Bijenička c. 54, P.O. Box 1016, Croatia

The radiation chemical yield, $G(\text{HCl})$, was evaluated for chlorobenzene-based dosimetry systems irradiated by low-energy protons (3 - 5.5 MeV) and ^{60}Co gamma radiation under similar irradiation conditions. The irradiations were done with the Tandem Van de Graaff accelerator and the reference ^{60}Co gamma source. Two dosimetry systems were used in the measurements: the ECB solutions containing 10 vol. % chlorobenzene in aqueous 96 vol. % ethanol, and the CET dosimetry system containing 10 vol. % chlorobenzene, 10 vol. % ethanol and 80 vol. % trimethylpentane. The results show that the values of radiation chemical yield of hydrochloric acid, $G(\text{HCl})$, values for protons are lower than those for gammas. With the decrease of proton energy, the linear energy transfer (LET) increases and the reduction of $G(\text{HCl})$ becomes more pronounced: from lower by 5% (5.5 MeV) to lower by 14% (3.0 MeV) for the ECB system and from lower by 5% (5.0 MeV) to lower by 8% (3.0 MeV) for the CET system.