Antibakterijsko djelovanje fulerena

Dekić, Svjetlana

Undergraduate thesis / Završni rad

2011

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:887868

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-23**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

ANTIBAKTERIJSKO DJELOVANJE FULERENA

SEMINARSKI RAD

Svjetlana Dekić
Preddiplomski studij Znanosti o okolišu
(Undergraduate Study of Environmental Sciences)
Mentor: prof.dr.sc. Jasna Hrenović

Zagreb, 2011.

SADRŽAJ

1 Uvod 2
2 Fulereni 3
2.1 Otkriće fulerena 3
2.2 Struktura i kemijska svojstva fulerena 4
2.3 Primjena fulerena 6
2.4 Proizvodnja fulerena 7
3 Antibakterijska svojstva fulerena 8
3.1 Djelovanje fulerena na bakterije 8
3.1.1 Utjecaj inicijalnog otapala i oblika agregirajućih čestica 8
3.1.2 Utjecaj naboja fulerena 9
3.1.3 Utjecaj na rast bakterija 10
3.1.4 Utjecaj na staničnu membranu 11
3.1.5 Utjecaj na membranski potencijal bakterijske stanice 11
3.2 Odgovor bakterija na spojeve fulerena 12
3.3 Mehanizam antibakterijskog djelovanja 13
4 Zaključak 14
5 Literatura 15
6 Sažetak 17
7 Summary 17

1 Uvod

Ugljik je jedna od najčešćih supstanci na Zemlji, osim najpoznatijih formi ugljika (grafit i dijamant), postoji i treća, odnosno, fulereni. Fulereni kao grupa spojeva zahvaljujući svojim novootkrivenim svojstvima imaju brojne primjene u industriji, s porastom njihove upotrebe raste njihov prodor u okoliš i utjecaj na razne sastavnice ekosustava.

U ovom radu ću se osvrnuti na građu fulerena, njihova svojstva, primjenu i detaljnije na njihov antibakterijski učinak, jer su bakterije baza svakog ekosustava.

2 Fulereni

2.1 Otkriće fulerena

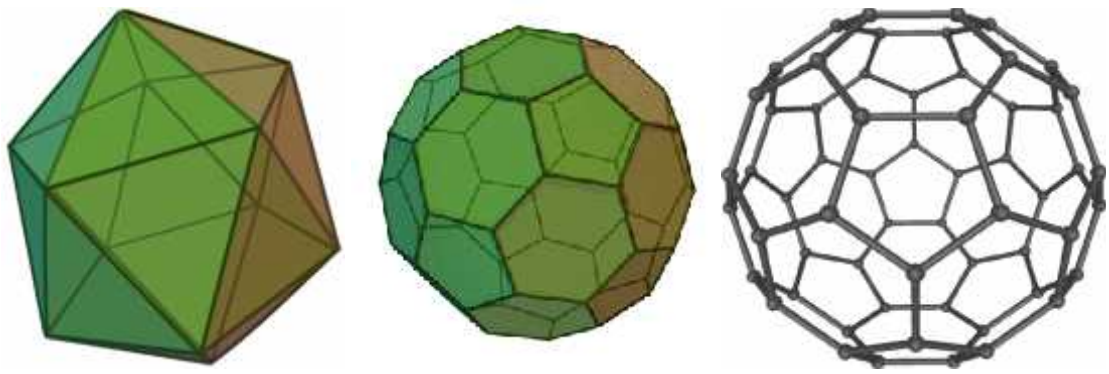
Harold W. Kroto, Robert F. Curl i Richard E. Smalley su otkrili tu novu formu ugljika 1985. godine. Pokus je bio usmjeren na simuliranje postanka ugljika u atmosferi ugljikom bogatog crvenog diva. Cilj istraživanja je bio istražiti mogućnost formiranja dugačkih molekula ugljika iz pare ugljika u prisutnosti atoma vodika i dušika. Pokus je bio uspješan, s još jednim neočekivanim produktom- fulerenom C_{60}, za to otkriće su navedeni znanstvenici 1996. dobili Nobelovu nagradu za kemiju (Yadav i sur, 2008).

Samo ime tog spoja potječe od tada poznatog arhitekta Richarda Buckminstera Fullera, koji je popularizirao oblik geodetske kupole (Slika 1) . Njemu u čast je ta grupa spojeva dobila ime fulereni, a osobito oblik C_{60} , koji se naziva buckminsterfuleren.

Slika 1. Richard Buckminster Fuller i geodetska kupola (izvor: http://relationary.files.wordpress.com/2007/08/image.jpg)

2.2 Struktura i kemijska svojstva fulerena

Fulereni su grupa kemijskih spojeva, koji imaju kružni oblik sa šupljinom u unutrašnjosti, sastoje se obično od 12 pentagonalnih prstena i različitog broja heksagonalnih prstena (20 kod C_{60}), koji čine bazu njihove ikozaedarske simetrije (Yadav i sur, 2008). Struktura im nalikuje na zakrivljeni ikozaedar s ugljikovim atomima na svakom vrhu (Slika 2).

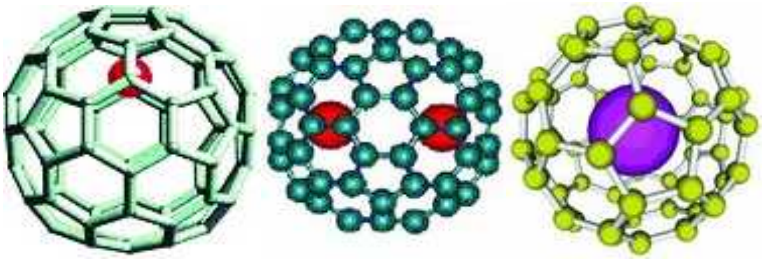


Slika 2. a) Pravilni ikozaedar b) zakrivljeni ikozaedar c) Buckminsterfuleren (izvor: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Icosahedron.svg; http://math.ucr.edu/home/baez/week79.html; http://en.wikipedia.org/wiki/File:C60a.png)

Svaki ugljikov atom je povezan s tri druga atoma ugljika i posjeduje sp^2 hibridizaciju. U C_{60} molekuli postoje dvije različite dužine veze, veze 6:6 se mogu smatrati dvostrukim vezama i kraće su nego 6:5 veze. C_{60} nije superaromatski spoj, jer nastoji izbjeći dvostruke veze u pentagonalnim prstenima, što rezultira lošom delokalizacijom elektrona. Kao rezultat svega toga C_{60} se ponaša kao aleken kojemu nedostaju elektroni i kao takav spremno reagira s elektron bogatim spojevima (Yadav i sur, 2008). Jedna od zapanjujućih svojstava C_{60} molekule je njezina visoka simetrija, postoje 120 centara simetrije oko kojih se molekula može rotirati, to činu tu molekulu jednom od najsimetričnijih molekula (Yadav i sur, 2008).
Fulereni se otapaju u organskim otapalima kao što su benzen, toluen, kloroform, viši fulereni (iznad C_{60}) imaju derivate, koji su općenito topljiviji, ali skuplji za proizvesti (Holister i sur, 2003).

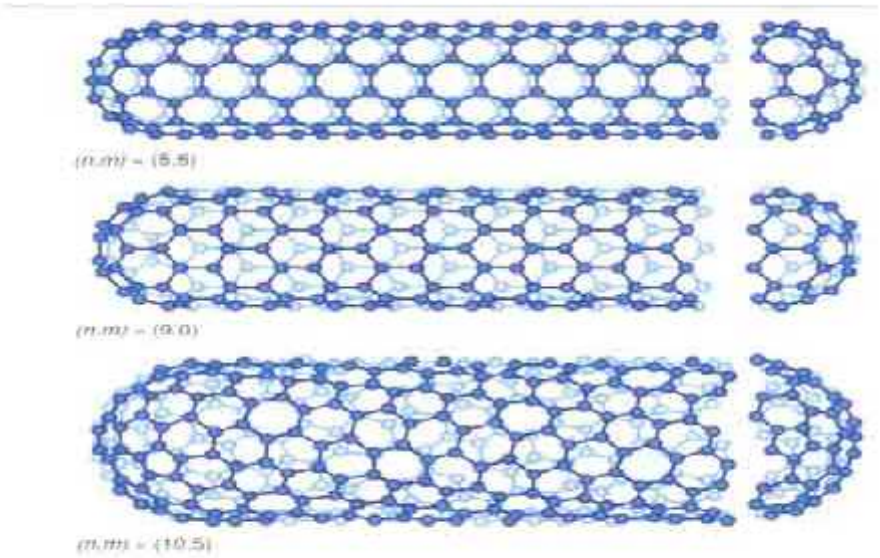
Funkcionalizacija je proces, kojim se različite kemijske grupe mogu pričvrstiti na ugljikove atome fulerena, tim procesom se dobivaju derivati fulerena s mnogobrojnim svojstvima (Holister i sur, 2003).

Posebnu vrstu fulerena predstavljaju endoedarski fulereni, to su fulereni koji unutar svog kaveza imaju atom nekog drugog elementa, kao npr. metalofulereni koji unutar svoje strukture imaju atom metala (Cvetićanin i sur, 2006), (Slika 3). Endoedarski fulereni održavaju svoju strukturu stabilnom tako da izmjenjuju elektrone između atoma metala i atoma ugljika, time se mijenjaju elektronska i magnetska svojstva fulerena (Holister i sur, 2003). C_{60} endoedarski fulereni su manje topljivi i osjetljivi na zrak, ali su relativno jeftini za proizvesti. Funkcionalizacija je omogućila bolju topljivost i stabilnost u zraku (Holister i sur, 2003). Osim spomenutih endoedarskih metalofulerena, postoje i nemetalni (Cvetićanin i sur, 2006). Pored endoedarskih fulerena, postoje i egzoedarski, koji se dobivaju procesom funkcionalizacije i predstavljaju jednu od najotpornijih vrsta fulerena (Thakral i sur, 2006).



Slika 3. Endoedarski fulereni se označavaju oznakom @, lijevo od te oznake je simbol elementa unutar kaveza a) $La@C_{82}$ b) $La_2@C_{80}$ c) $N@C_{60}$ (izvor: http://www.ifw-dresden.de/institutes/iff/research/Carbon/fullerenes/endohedral)

Ugljične nanocijevi su još jedna struktura koju fulereni mogu tvoriti, to su zapravo smotani listovi grafita, kojima su dodani pentagoni da se dobije zakrivljenost, unutar tih cijevi se također mogu nalaziti razni atomi metala. Ugljične nanocijevi spadaju pod jedne od najčvršćih i najžilavijih poznatih vlakana i posjeduju izvanredna elektronska svojstva o kojima će kasnije biti riječi (Yadav i sur, 2008), (Slika 4).



Slika 4. Ugljične nanocijevi različitog oblika (izvor: http://www.personal.reading.ac.uk/~scsharip/tubes.htm)

2.3 Primjena fulerena

Kuglice fulerena su međusobno povezane slabim van der Waalsovim silama, isto kao i slojevi grafita, zbog tog svojstva bi se mogli koristiti kao lubrikanti, osim toga imaju veliki potencijal kao katalizatori. Fulereni imaju interesantna električna svojstva, što im otvara vrata za primjenu u elektroničkoj industriji, od uređaja za pohranu podataka do solarnih ćelija. Materijali bazirani na fulerenima imaju važna optička svojstva, jer fulereni imaju veoma nelinearan optički odgovor (npr. njihova se svojstva mijenjaju kada su izloženi svjetlosti) kao takvi mogu imati razne primjene u telekomunikaciji. Istraživanja su pokazala da fulereni i njihovi derivati mogu postići superkonduktivnost, koriste se i u kvantnoj mehanici (Holister i sur, 2003).

Osim navedenih svojstava fulereni su učinkoviti u uklanjanju slobodnih radikala, koji oštećuju živo tkivo, to je dovelo do prijedloga za upotrebu u kozmetičkoj industriji, također su u mogućnosti spriječiti štetu živčanog sustava kod nekih bolesti, koja je uzrokovana slobodnim radikalima, istraživanje na štakorima je već pokazalo rezultate. Unutar loptica fulerena lijekovi se mogu prenositi do određenog mjesta u organizmu, gdje su potrebni.

Unutar fulerena se mogu zarobiti različiti elementi (endoedarski fulereni), kao što su inertni plemeniti elementi, takve spojeve možemo koristiti u magnetskoj rezonanci (MRI) (Holister i sur, 2003).

Veličina C_{60} molekule je slična kao i kod mnogih biološki aktivnih molekula, uključujući lijekove kao Prozac i steroidne hormone, to fulerenima daje potencijal da se stvori čitav niz biološki aktivnih varijanti. Fulereni blokiraju vezanje HIV proteaze na aktivno mjesto, jer imaju visok fizički i kemijski afinitet prema aktivnim mjestima i na taj način ometaju djelovanje tog enzima. Postojeći lijekovi kojima se tretira AIDS isto tako ciljaju HIV proteazu, ali svi imaju slično djelovanje, pa se u nekoj mjeri već razvila otpornost, dok kod fulerena to nije slučaj, jer oni ciljaju HIV proteazu na drugačiji način (Holister i sur, 2003).

2.4 Proizvodnja fulerena

Fulereni se prirodnim putem (požari i munje) proizvode u malim količinama. No, na umjetan način su prvi puta sasvim slučajno proizvedeni u čađi nastaloj isparavanjem grafita pomoću lasera. Postoje različite metode dobivanja fulerena, jedna od najranijih je bila pomoću lučnog pražnjenja koristeći grafitne elektrode, kasnije se prešlo na proizvodnju u plamenu benzena, zatim pirolizom, a također se neki aromatski spojevi mogu koristiti za proizvodnju fulerena (Holister i sur, 2003).

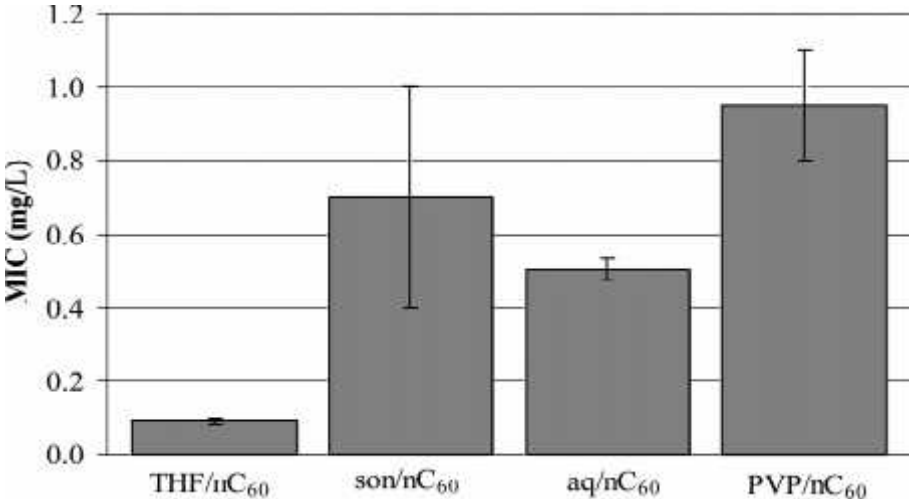
3 Antibakterijska svojstva fulerena

U krutom obliku C_{60}, s topljivosti manjoj od 9-10 mg/L, je skoro netopljiv u vodi i kao takav ne pokazuje nikakvu antibakterijsku aktivnost (Lyon i sur, 2006). Da bi iskazivao antibakterijska svojstva fulereni se moraju otopiti u vodi. To se postiže na taj način da se npr. C_{60} prah otapa u nekom organskom otapalu (npr. benzen, kloroform, toulen) uz dodavanje vode i postepeno micanje tog inicijalnog otapala. Molekule C_{60} agregiraju stvarajući nakupine okružene molekulama vode, koje ih stabiliziraju. Dobivene vodene suspenzije fulerena (FWS) se označavaju s formulom nC_{60} (Lyon i sur, 2006).

3.1 Djelovanje fulerena na bakterije

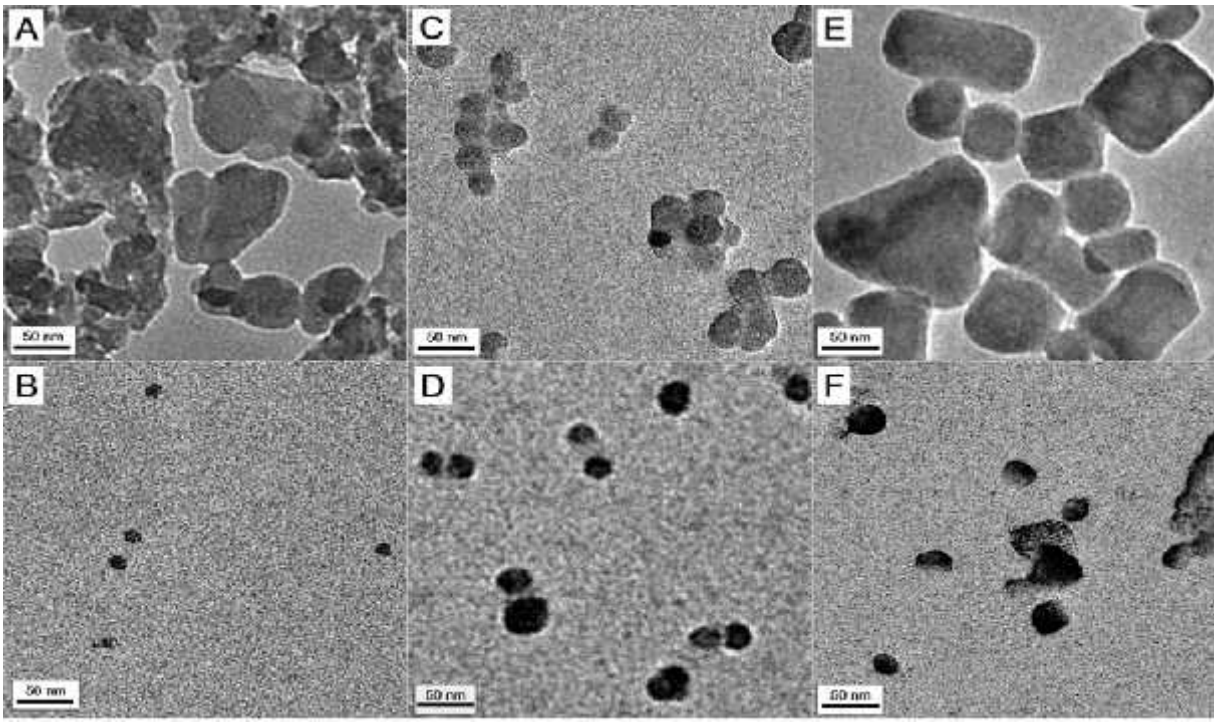
3.1.1 Utjecaj inicijalnog otapala i oblika agregirajućih čestica

Prema Lyonu i suradnicima (2006) na antibakterijsku aktivnost uvelike utječe inicijalno organsko otapalo, koje je u tragovima ostalo pri pripremi vodenih suspenzija fulerena. Oni su koristili otopine fulerena pripremljene pomoću tetrahidrofurana (THF/nC_{60}), koristeći zvuk i toluen (son/C_{60}), koristeći otapajući agens (PVP/C_{60}) i miješajući prah C_{60} u vodi (aq/C_{60}). Sve četiri pripremljene otopine su pokazale antibakterijsku aktivnost prema Gram pozitivnoj bakteriji *Bacillus subtilis*, uočena je povećana antibakterijska aktivnost kod otopine s tetrahidrofuranom, jer se minimalna inhibitorna koncentracija smanjila (MIC), (Slika 5).



Slika 5. Minimalne inhibitorne koncentracije za razne otopine fulerena (izvor: Lyon Y.D., Adams K.L., Falkner C.J., Alvarez J.J.P. (2006): Antibacterial Activity of fullerene Water Suspensions: Effects of Preparation Method and Particle Size. Environmental Science & Technology, 40, 4360-4366)

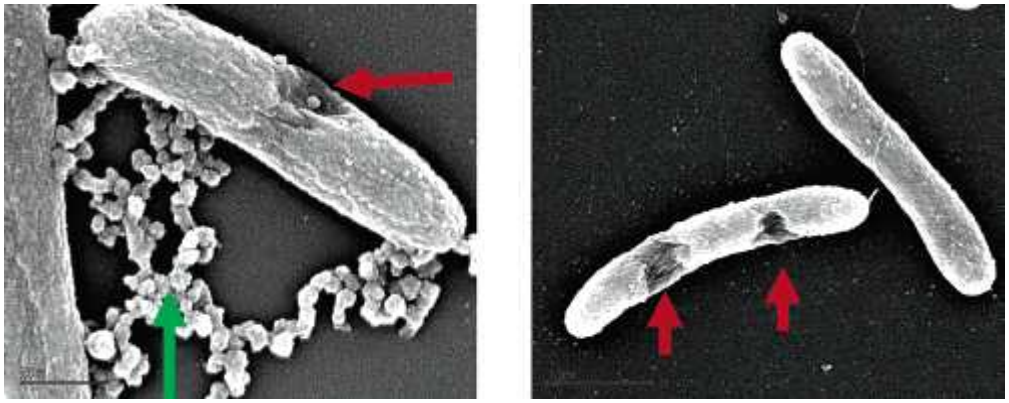
Lyon i suradnici (2006) su također doveli u korelaciju veličinu agregirajućih čestica nC_{60} i površine tih čestica koja može biti pravilna ili amorfna (Slika 6). Zaključili su da manje čestice amorfne strukture iskazuju veću antibakterijsku aktivnost.



Slika 6. TEM snimke agregirajućih čestica nC_{60}: a) velike aq/C_{60} b) male aq/C_{60} c) velike son/C_{60} d) male son/C_{60} e) velike THF/nC_{60} f) male THF/nC_{60} (izvor: Lyon Y.D., Adams K.L., Falkner C.J., Alvarez J.J.P. (2006): Antibacterial Activity of fullerene Water Suspensions: Effects of Preparation Method and Particle Size. Environmental Science & Technology, 40, 4360-4366)

3.1.2 Utjecaj naboja fulerena

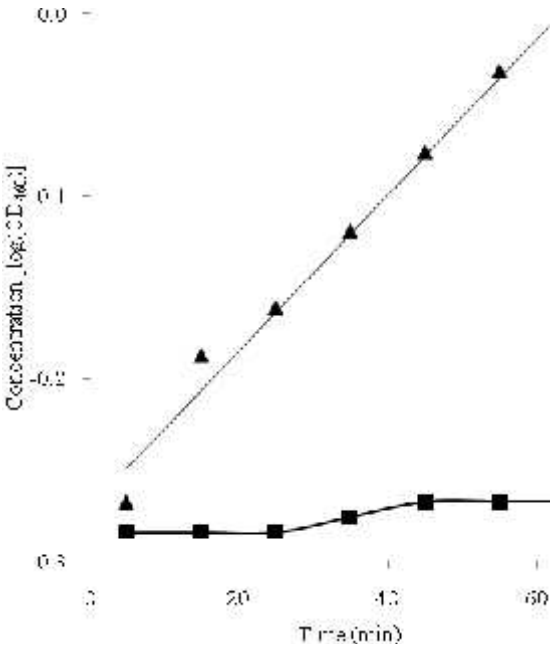
Tang i suradnici (2007) su proučavali utjecaj, koji pozitivno nabijeni C_{60}-NH_2, neutralan C_{60} i C_{60}-OH i negativno nabijeni C_{60}-COOH imaju na bakterije. Otkrili su da, generalno gledajući, negativno nabijeni i neutralni fulereni imaju najmanji utjecaj na bakterije, posebno Gram negativne kao što je *Escherichia coli*, dok kationski spojevi fulerena, poput C_{60}-NH_2, pokazuju visoku antibakterijsku aktivnost (Slika 7), zbog negativnih naboja na samoj bakterijskoj površini, koji su odgovorni za snažnu adsorpciju pozitivnih čestica i njihovu interakciju s površinom stanice.



Slika 7. SEM snimke bakterije *Shewanella oneidensis* uslijed izlaganja pozitivno nabijenom spoju C_{60}-NH_2 (izvor: Tang J.Y., Ashcroft M.J., Chen D., Min G., Kim C., Murkhejee B., Larabell C., Keasling D.J., Chen F.F., (2007): Charge-Associated Effects of Fulerene Derivatives on Microbial Structural Integrity and Central Metabolism. Nano Letters, 7, 754-760)

3.1.3 Utjecaj na rast bakterija

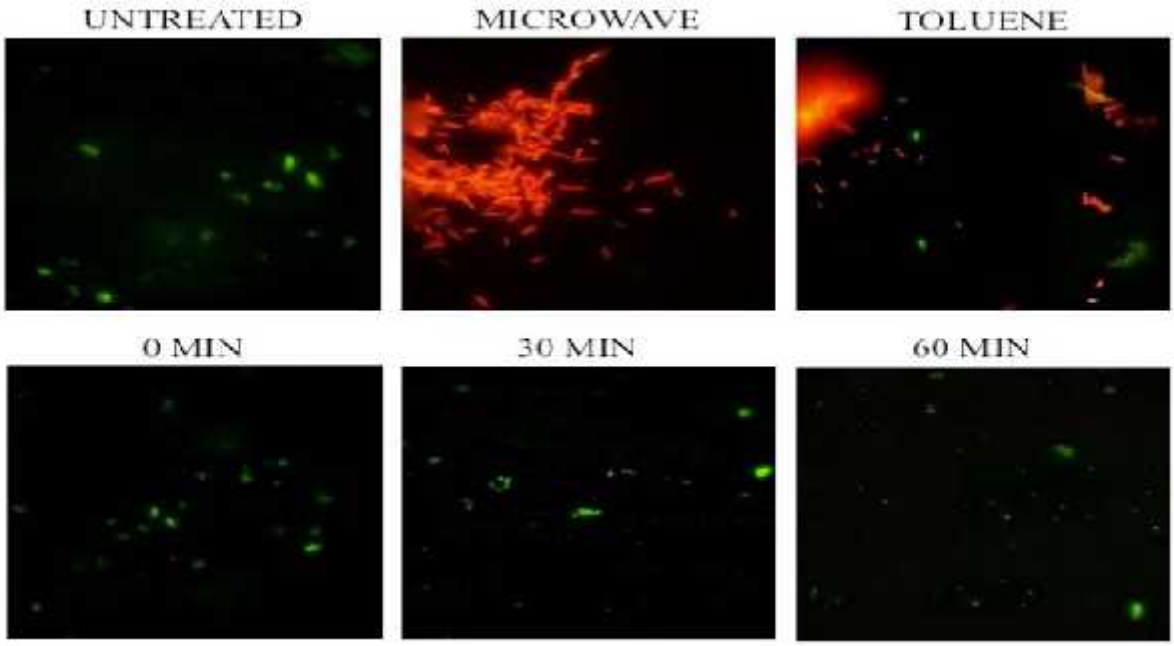
Aquino i suradnici (2010) su u svojim istraživanjima dokazali da je rast bakterija snažno inhibiran pri koncentraciji nC_{60} od 1.0 mg/L u usporedbi s kontrolnom kulturom (Slika 8).



Slika 8. Utjecaj fulerena na rast *E.coli*, ▲ kontrolne bakterije, ■ bakterije izložene koncentraciji nC_{60} od 1.0 mg/L (izvor: Aquino A., Chan J., Giolma K., Loh M., (2010): The Effect of a Fullerene Water Suspension on the Growth, Cell Viability, and Membrane Integrity of *Escherichia coli* B23. Journal of Experimental Microbiology and Immunology, 14, 13-20)

3.1.4 Utjecaj na staničnu membranu

Antibakterijsko djelovanje fulerena nije posljedica djelovanja na staničnu membranu, prema Aquinu i suradnicima (2010), agregirajuće čestice nC_{60} ne mogu prodrijeti kroz lipidni dvosloj ili to mogu napraviti bez da učine pretjeranu štetu, koja bi uzrokovala smrt stanice. Svoju teoriju su potvrdili fluorescentnim bojenjem stanica, koje su bile izložene fulerenu, mikrovalnom zračenju i toluenu, jedino kod fulerena nije uočena perforacija stanica (Slika 9).

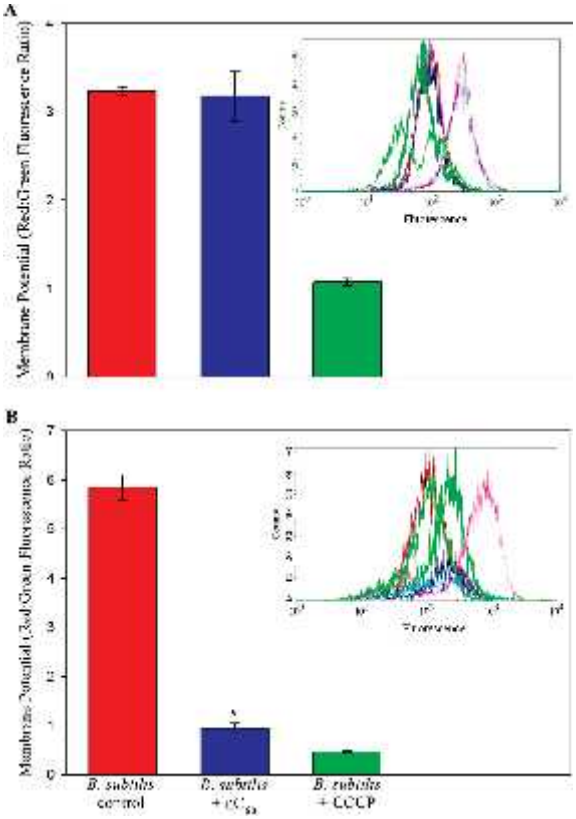


Slika 9. Fluorescentno bojenje i vizualizacija *E. coli* kroz određeni period, crveno obojene stanice su perforirane dok su zelene netaknute, zadnji red se odnosi na stanice tretirane fulerenom koncentracije 1.0 mg/L (izvor: Aquino A., Chan J., Giolma K., Loh M., (2010): The Effect of a Fullerene Water Suspension on the Growth, Cell Viability, and Membrane Integrity of *Escherichia coli* B23. Journal of Experimental Microbiology and Immunology, 14, 13-20)

3.1.5 Utjecaj na membranski potencijal bakterijske stanice

Membranski potencijal je esencijalan za energetsku transdukciju tijekom respiracije, Lyon i suradnici (2008, b) su otkrili da se membranski potencijal bakterijske stanice mijenja u interakciji s fulerenom pogotovo kod Gram pozitivne bakterije *B. subtilis*, dok je kod Gram negativne bakterije *E. coli* došlo do beznačajne promjene (Slika 10), vjerojatno uslijed različite građe stanične stijenke kod Gram pozitivnih i Gram negativnih bakterija. Također su

otkrili da se aktivnost bakterijske reduktaze, koja je indikator normalnog prijenosa elektrona, smanjila.



Slika 10. Membranski potencijali a) *E. coli* i b) *B. subtilis*, zeleni histogram je kontrolna skupina, kojoj je namjerno smanjen membranski potencijal (izvor: Lyon Y.D., Alvarez J.J.P., (2008) b: Fullerene Water Suspension (nC) Exerts Antibacterial Effect via ROS-Independent Protein Oxidation. Environmental Science & Technology, 42, 8127-8132)

3.2 Odgovor bakterija na spojeve fulerena

Općenito Gram negativne bakterije (*Pseudomonas putida*) reagiraju na organska otapala tako što mijenjaju omjer i dužinu lanca zasićenih i nezasićenih masnih kiselina i tako što povećavaju biosintezu masnih trans kiselina kroz cis-trans izomerizaciju nezasićenih masnih kiselina (Fang i sur, 2007). Kod Gram pozitivnih bakterija (*B. subtilis*) je primijećeno uravnoteženo smanjenje nezasićenih cis masnih kiselina i njihova konverzija u ciklopropansku masnu kiselinu (Fang i sur, 2007). Smatra se da su to mehanizmi, kojima se bakterija pokušava zaštititi od oksidacije fulerenom.

3.3 Mehanizam antibakterijskog djelovanja

Rana istraživanja idu u prilog tome da su citotoksična svojstva fulerena rezultat njegove sposobnosti da generira ROS (reactive oxygen species), spojeve, koji nastaju u prisutnosti kisika i svjetlosti. Prisutnost povišenih koncentracija ROS-a u staničnom okolišu uzrokuje težak oksidativni stres kroz oštećenje vitalnih staničnih struktura kao što su DNA, proteini i lipidi (Aguino i sur, 2010). Sama činjenica da fulereni pokazuju antibakterijska svojstva i u anaerobnim, fermentativnim uvjetima bez prisutstva svjetlosti (Lyon i sur, 2006), kontradiktorni eksperimentalni podaci i nepouzdani testovi su nagnali znanstvenike da istraže alternativne mehanizme.

Otkriće da je nC_{60} sposoban djelovati kao tvar, koja oksidira proteine je potaknulo formuliranje nove hipoteze o citotoksičnosti fulerena (Lyon i sur, 2008, a). Premda fulereni ne iskazuju toksičnost tako da direktno oštećuju membranu (Aguino i sur, 2010), dokazano je da uzrokuju oksidaciju proteina, koji sudjeluju u transportu elektrona (Lyon i sur, 2008, b). Oksidacija tih proteina utječe na stvaranje ATP-a tako ograničavajući rast bakterija i u konačnici uzrokujući smrt stanice. Oksidacija membranskih proteina se može dogoditi bez narušavanja membrane, nC_{60} bi samo trebao doći u kontakt s proteinima ili od površine ili unutar lipidnog dvosloja (Aguino i sur, 2010).

Osim navedenog mehanizma dokazano je da inicijalno otapalo, koje je služilo za pripremu nC_{60} uvelike ima utjecaj na antibakterijsku aktivnost otopine, jer neka organska otapala npr. THF ostaju vezani uz agregirajuće čestice, čak i nakon što je otapalo isparilo (Lyon i sur, 2006).

4 Zaključak

Fulereni su grupa spojeva brojnih svojstava i široke primjene. U krutom stanju ne pokazuju nikakvu toksičnost, dok se ona manifestira u vodenim suspenzijama fulerena. Fuleren na bakterije utječe tako što im mijenja membranski potencijal i uzrokuje stvaranje masnih trans kiselina kod Gram negativnih i ciklopropanskih masnih kiselina kod Gram pozitivnih.

Dokazano je da agregirajuće čestice fulerena djeluju kao jaki oksidanti proteina, pogotovo onih vezanih uz transport elektrona i tako remete stvaranje ATP-a. Osim oksidativnog stresa koji fulereni uzrokuju bakterijama, na njegovu toksičnost utječe i inicijalno otapalo, koje je u tragovima ostalo nakon pripreme vodenih suspenzija. Antibakterijski mehanizam fulerena nije još u potpunosti razjašnjen, jer se smatra da osim navedenih mehanizama na bakteriju utječu i brojni drugi čimbenici, koji zajedno djelujući dovode do smrti stanice.

5 Literatura

Aquino A., Chan J., Giolma K., Loh M., (2010): The Effect of a Fullerene Water Suspension on the Growth, Cell Viability, and Membrane Integrity of *Escherichia coli* B23. Journal of Experimental Microbiology and Immunology, 14, 13-20

Cvetićanin J., Djustebek J., Veljković M., Veličković S., Djordjević V., Nešković O., (2006): Endohedral fullerens of different elements. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 8, 1892-1894

Holister P., Roman C., Harper T. (2003): Fullerens. Cientifica, Technology White Papers nr. 7

Fang J., Lyon Y.D., Wiesner R.M., Dong J., Alverez J.J.P., (2007): Effect of a Fullerene Water Suspension on Bacterial Phospholipids and Membrane Phase Behavior. Environmental Science & Technology, 41, 2632-2642

Lyon Y.D., Brunet L., Hinkal W.G., Wiesner R.M., Alvarez J.J.P., (2008) a: Antibacterial Activity of Fullerene Water Suspensions (nC_{60}) Is Not Due to ROS-Mediated Damage. Nano Letters, 8, 1539-1543

Lyon Y.D., Alvarez J.J.P., (2008) b: Fullerene Water Suspension (nC) Exerts Antibacterial Effect via ROS-Independent Protein Oxidation. Environmental Science & Technology, 42, 8127-8132

Lyon Y.D., Adams K.L., Falkner C.J., Alvarez J.J.P. (2006): Antibacterial Activity of fullerene Water Suspensions: Effects of Preparation Method and Particle Size. Environmental Science & Technology, 40, 4360-4366

Tang J.Y., Ashcroft M.J., Chen D., Min G., Kim C., Murkhejee B., Larabell C., Keasling D.J., Chen F.F., (2007): Charge-Associated Effects of Fulerene Derivatives on Microbial Structural Integrity and Central Metabolism. Nano Letters, 7, 754-760

Thakral S, Mehta RM. (2006): Fullerenes: An introduction and overview of their biological properties. Indian Journal of Pharmaceutical Sciences, 68,13-9

Yadav B.C., Kumar R. (2008): Structure, properties and applications of fullerens. International Journal of Nanotechnology and Applications, 2,15-24

http://en.wikipedia.org/wiki/File:C60a.png

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Icosahedron.svg

http://www.ifw-dresden.de/institutes/iff/research/Carbon/fullerenes/endohedral

http://math.ucr.edu/home/baez/week79.html

http://www.personal.reading.ac.uk/~scsharip/tubes.htm

http://relationary.files.wordpress.com/2007/08/image.jpg

6 Sažetak

Fulereni su grupa spojeva slučajno otkrivenih 1985. godine. Struktura im je nalik na zakrivljeni ikozaedar s ugljikovim atomima na svakom vrhu. Posjeduju 12 pentagonalnih i različit broj heksagonalnih prstena. U kemijskim reakcijama se ponašaju kao alkeni, zbog toga reagiraju s elektron bogatim spojevima. Fulereni imaju brojne derivate kao što su endoedarski, egzoedarski fulereni i nanocijevi, zbog toga posjeduju brojne primjene od superkonduktora do biološki korisnih molekula. U krutom obliku fulereni ne iskazuju antibakterijsku aktivnost, nego jedino u obliku vodenih suspenzija. Na bakterijama se uočavaju promjene u membranskom potencijalu i u stvaranju ATP-a, jer fulereni djeluju kao oksidanti tih proteina. Povećava se udio masnih trans kiselina i ciklopropanske kiseline, jer se na taj način bakterije pokušavaju zaštititi. Fulereni ne perforiraju stanicu niti oštećuju staničnu membranu. Smatra se da inicijalno otapalo, koje je služilo za pripremu vodene suspenzije fulerena pridonosi antibakterijskom djelovanju.

7 Summary

Fullerens are a group of compounds accidentally discovered in 1985. Their structure is like a curved icosahedron with carbon atoms at every top. They have 12 pentagonal and a different number of hexagonal rings. In chemical reactions they act like alkenes, because of that they react with electron rich compounds. Fullerens have a large number of derivatives like endohedral, exohedral fullerens and nanotubes, because of that they have many applications, from superconductors to biologicaly useful molecules. In solid form fullerens do not exibit antibacterial activity, but only in a form of fullerene water suspensions. Bacteria show changes in membrane potential and in creation of ATP, because fullerens are strong oxidants of these proteins. The amount of fatty trans acids and cyclopropane fatty acids increases, because that is a bacterial defense mechanism. Fullerens do not perforate the cell nor do they damage the cell membrane. It is considered that the initial solvent, which was used for the preparation of fullerene water suspensions contributes to the antibacterial effect.