

OSVJEŽIMO ZNANJE

Uređuje: Nenad Bolf



S. Beluhan*

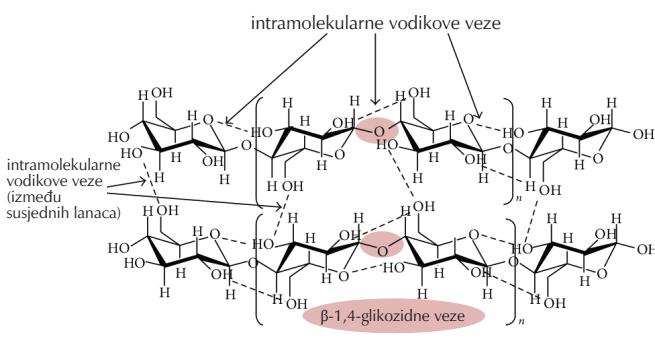
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Sveučilišta u Zagrebu
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Bakterijska nanoceluloza – mikrobično čudo ili dar prirode

Celuloza je najzastupljeniji biopolimer na zemljji, čineći oko 1,5 milijarda tona ukupno godišnje proizvedene biomase. Glavni je sastojak biljne biomase, ali i važan predstavnik mikrobnih ekstracelularnih polisaharida. Biljnu celulozu (BC) je početkom prošlog stoljeća Anselme Payen definirao kao čvrstu strukturu, odnosno glavni sastojak stanične stijenke viših biljaka, a Louis Pasteur je bakterijsku nanocelulozu (BNC) opisao kao "vlažnu, natečenu, želatinoznu i sklisku strukturu". Premda čvrsti dio strukture tog hidrogela čini oko 1 % ukupne mase, BNC je građen od gotovo potpuno čiste celuloze bez prisutnosti lignina, hemiceluloze, pektina i inulina, čije je uklanjanje dugotrajno i često ekološki upitan i ekonomski neisplativ postupak. Bakterijska nanoceluloza (BNC) pripada specifičnim proizvodima primarnog metabolizma bakterija koje pripadaju rodovima *Gluconacetobacter*, *Rhizobium*, *Agrobacterium* i *Sarcina*. Naučinkoviti proizvođač BNC-a je Gram-negativna bakterija octene kiseline vrste *Gluconacetobacter xylinus* (prema starijoj klasifikaciji *Acetobacter xylinum*), koja predstavlja modelni mikroorganizam za temeljna i primijenjena istraživanja svojstava i primjene BNC-a. Ta su istraživanja usmjerena na proučavanje strukture, mehanizma biosinteze tog visoko kristaliničnog glukoznog biopolimera, kao i na njegova svojstva koja ukazuju na svestranu praktičnu uporabu.

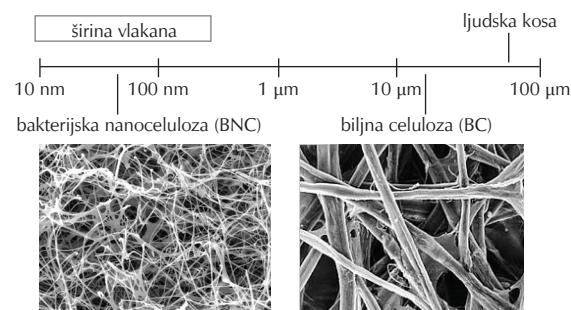
Struktura BNC-a

BNC se sastoji od vlakana građenih od β -1,4 glukanskih lanaca, jedinstvene molekulske formule kao i celuloza biljnog podrijetla, $(C_6H_{10}O_5)_n$. β -glukanski lanci međusobno su povezani inter- i intramolekulskim vodikovim vezama (slika 1). Nanofibrili BNC-a prvi put su opisani još sredinom prošlog stoljeća, kada je uočeno da su oko 100 puta manji od mikrofibrila od kojih je građen BC. Karakteristična strukturalna, fizička i mehanička svojstva BNC-a rezultat su njegove ekstruzije kroz staničnu stijenku bakterijske stanice. Izlaskom kroz pore membrane formiraju se prototifibri promjera otprilike 2 – 4 nm, koji se nakupljaju u nanofibrile veličine 80×4 nm.



Slika 1 – Struktura BNC-a

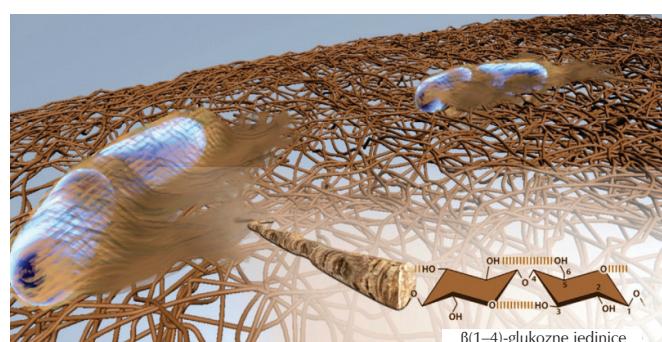
Istraživanja provedena na strukturi BNC-a pokazala su da je kemijski potpuno identičan BC-u, ali potpuno različit prema makromolekulskoj strukturi i svojstvima (slika 2). Elektronskom mikroskopijom (SEM) stanične stijenke ustanovljeno je da svaka stanica sadrži 50 – 80 pora, promjera oko 3,5 nm iz kojih se izljučuju pojedinačni celulozni lanci te se 10 – 15 usporednih lanaca udružuju i oblikuju čvrše nanofibrile, koji predstavljaju najtanja prirodno stvorena vlakna, usporediva samo s promjerima vlakana celuloze iz godova drveta (godišnjeg prstena).



Slika 2 – SEM usporedni prikaz širine vlakana BNC-a i BC-a

Biosinteza BNC-a

BNC je prirodnji polimer koji sintetiziraju brojni mikroorganizmi, među kojima su bakterije octene kiseline, vrsta *G. xylinus* i *G. hansenii* najistraživани i naučinkoviti proizvođači. Te bakterije sintetiziraju BNC oksidativnom fermentacijom u kompleksnim i kemijski definiranim hranjivim podlogama i ekstracelularno izljučuju kemijski čisti β -glukan, što omogućuje njihovo preživljavanje u prirodnom okolišu s obzirom na to da su stanice vezane na površinu hranjive podloge, "uhvaćene" unutar želatinoznih, koži nalik membranama koje su građene od isprepletenih celuloznih nanofibrila (slika 3).



Slika 3 – Gusta umreženost vlakana BNC-a

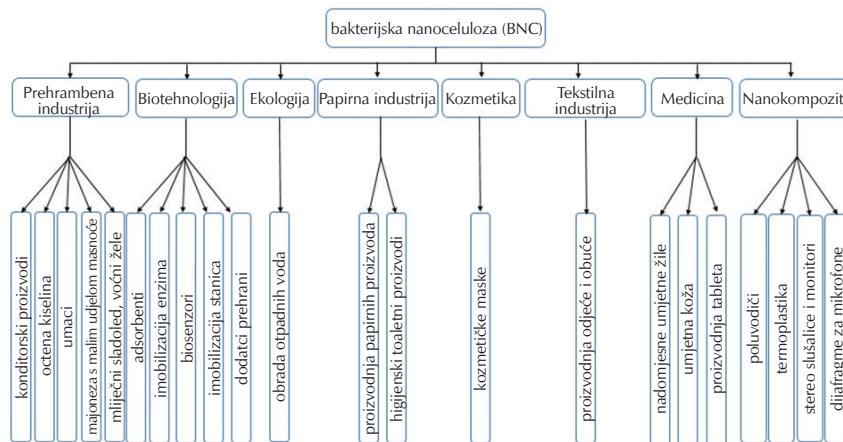
* Izv. prof. dr. sc. Sunčica Beluhan
e-pošta: sunbel@pbf.hr

Tako gusto umrežena vlakna i pripadajuće stanice mikroorganizama oblikuju plutajuću pelikulu (opnu) koja omogućuje nepo-

kretnim, striktno aerobnim bakterijama rast pri visokim koncentracijama kisika na površini hranjive podloge. Samoimobilizacija stanica omogućava učinkovit transport hranjivih tvari i kisika nužnog za preživljavanje tih obligatno aerobnih bakterija. Visok kapacitet zadržavanja vode unutar celuloznog matriksa (voda čini oko 98,5 % vlažne mase membrane) omogućava uspješno nastajanje i te bakterije štiti od nepovoljnih okolišnih uvjeta, isušivanja i UV-zračenja.

Značajke i primjena BNC-a

Jedinstvene značajke koje posjeduje BNC rezultat su prirodne biološke uloge, primjerice visoke hidrofilnosti, kristaliničnosti, čistoće i kapaciteta zadržavanja vode, mehaničke izdržljivosti i otpornosti na razgradljivost te izvrsne biokompatibilnosti i nepostojanja citoksičnosti i alergenosti. Upravo zbog tih jedinstvenih svojstava i sposobnosti bioloških, kemijskih i fizičkih modifikacija, taj prirodni biopolimer ima brojne primjene u proizvodnji različitih bioprodukata i smatra se "bio-bazom" za razvoj novih materijala u različitim područjima, kao što su proizvodnja i prehrana hrane, elektronika, proizvodnja papira, kemijska i tekstilna industrija, a svoju primjenu BNC uvelike ima u pripravi kozmetičkih pripravaka i posebice biomedicini (slika 4).



Slika 4 – Područja primjene BNC-a

BNC kao aditiv u prehrabenoj industriji

Potencijalne primjene BNC-a u prehrabenoj industriji odnose se na proizvodnju preljeva, umaka, glazura, kiselog i tučenog vrhnja, šлага i smrznutih mliječnih proizvoda. Njegova se uporaba posebice preporučuje za stabilizaciju pjene i stabilnost pH vrijednosti te održavanje željene temperature. Uporaba BNC-a dodatkom saharoze i karboksimetil-celuloze poboljšava disperziju proizvoda. Također se uporablja kao niskokalorični aditiv, zgušnjivač i stabilizator hrane. Smatra se toplinski stabilnim stabilizatorom, niske viskoznosti i niskokaloričnom zamjenom za masti. Istraživanja su pokazala da fizikalno-kemijska svojstva BNC-a djeluju pozitivno u većini prehrabbenih proizvoda, osim u hrani s niskim udjelom vlage kao što su grickalice.

BNC u biomedicini

Otkako je prepoznat kao visoko biokompatibilni hidrogel, BNC je postao predmetom opsežnih istraživanja njegovih jedinstvenih svojstava u polju biomedicinskih znanosti. Mnogi znanstvenici smatraju ga izvrsnom alternativom sintetičkim polimerima, koji i dalje, unatoč različitim neupitnim prednostima, kao što su kontrolirana poroznost, biorazgradljivost, jednostavnost proizvod-

je i modifikacije, uzrokuju prekomjerni imunološki odgovor i kod dugotrajnih primjena često ne ispunjavaju na odgovarajući način svoju ulogu. BNC, kao prirodni biopolimer izvrsne kemijske čistoće, s vremenom je postao konkurentnim proizvodom, uspješno primijenjenim u medicini za rekonstrukciju i regeneraciju tkiva. BNC odlikuju različita svojstva koja imaju učinak na njegova strukturalna svojstva i čine ga vrlo atraktivnim materijalom s medicinskog gledišta. Najvažnija svojstva su: ultrafina mrežna struktura, koja djeluje izrazito kristalinično, kao i jednoosna orijentacija celuloznih subfibrila, ekstremna netopljivost, velika elastičnost i prozirnost (nakon pročišćavanja), kao rezultat nano debljine vlakana, hidrofilna svojstva eksplizirana brojnim porama, svojstva nalik hidrogelu, jer najmanje 98 % njegove ukupne mase čini voda, koja većinom nije vezana na polimer i može se istisnuti laganim pritiskom, izvanredna kemijska čistoća, te biokompatibilnost zbog visoke čistoće materijala i nedostatka toksičnih učinaka na živa tkiva. BNC ima velik potencijal za primjenu u zacjeljivanju rana i opeklina kao hidrirani ili nikad osušeni pokrov koji ubrzava proces zarastanja, omogućava prijenos lijeka u ranu i služi kao učinkovita fizička prepreka protiv vanjske infekcije te smanjuje stvaranje i ublažava izgled već postojećih ožljaka. S druge strane veličina šupljih prostora (niša) unutar nanocelulozne mreže i mogućnost bubrenja odgovaraju potrebama za unutarnju primjenu tog biomaterijala u organizmu. Široko područje istraživanja u posljednjih 15 godina u primjenama BNC-a *in vivo* ukazuje na potrebu daljnjih proučavanja vezanih uz njegovu primjenu u rekonstrukcijskoj kirurgiji.

Ostale primjene BNC-a

Već navedena svojstva ubrzala su primjenu BNC-a u proizvodnji široke palete proizvoda, uključujući membrane za slušalice, dijafagme za elektrostatične vodiče, optički transparentne filmove, visoko-kvalitetan papir, jastučice za šminku, a posebice u području netkanog tekstila i obuće. Fragmentirani BNC ima potencijalnu primjenu kao vezivno sredstvo u proizvodnji papira, posebice savitljivog/izdržljivog papira i papira s visokim udjelom punila, što se pokazalo idealnim za tiskanje novčanica. Primjena BNC-a u tekstilnom području još uvijek nije dosegla zadovoljavajuću industrijsku razinu. Međutim, potencijalna budućnost primjene BNC-a u proizvodnji odjeće i obuće nadilazi postojeću primjenu, posebice ako se istraživanjima mogu razviti postupci za proizvodnju u velikim mjerilima iz jeftinih sirovina ili upotrebom poljoprivredno-industrijskog otpada. Uz ekonomski potencijal tog biotehnološkog polimera, ulaganjem u istraživanja i industrijski interes za proizvodnju BNC-a s visokom dodanom vrijednošću smanjiti će se ne samo zbrinjavanje nusproizvoda ponovnom uporabom industrijskog otpada, nego i zaustaviti globalno krčenje šuma, koje predstavlja ekološki neprihvratljiv način proizvodnje nanoceluloze iz biljnih izvora.

Literatura

- N. Reddy, Y. Yang, Innovative Biofibers from Renewable Resources, Springer Verlag Berlin Heidenberg, 2015.
- J. Huang, X. Ma, G. Yang, A. Dufresne, Introduction of NanoCellulose, J. Huanf, A. Dufresne, N. Lin (ur.) u NanoCellulose: From Fundamentals to Advanced Materials, Wiley – VCH Verlag GMBH & Co. KGaA, 2019., str. 1–20.
- Bacterial NanoCellulose: From Biotechnology to Bio-Economy, M. Gama, F. Dourado, S. Bielecki (ur.), Elsevier B. V. 2016.
- Bacterial NanoCellulose: A Sophisticated Multifunctional Material, A. Gama, P. Catenholm, D. Klemm (ur.), CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013.