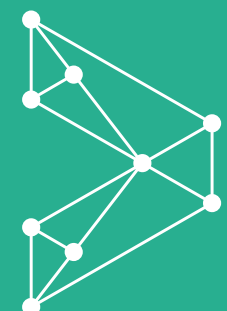
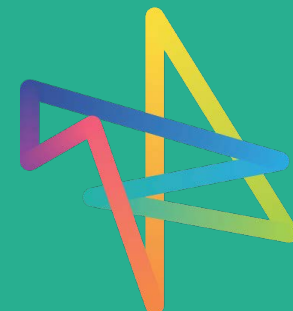




USAID
OD AMERIČKOG NARODA



Inicijativa
**Digitalna
Srbija**



ЦЕНТАР
ЗА
ПРОМОЦИЈУ
НАУКЕ

Uvod u biotehnologiju

Autori:

dr Marjana Brkić
Danijela Vučićević
dr Bojan Kenig

**PREDUZMI
IDEJU**

smisli. pokreni. ostvari.



Sadržaj

UVOD	03
1. Istorijat biotehnologije	05
2. Metode u biotehnologiji	07
3. Oblasti biotehnologije	10
4. Izazovi i buduće perspektive	22

UVOD

Od drevnih civilizacija koje su koristile fermentaciju za proizvodnju hrane i pića, pa sve do savremenih laboratorija gde se manipuliše genima radi stvaranja revolucionarnih medicinskih tretmana, biotehnologija se neprekidno razvijala i oblikovala naš svet na načine koje pre nismo mogli ni da zamislamo.

U najširem smislu, biotehnologija obuhvata tehnologije koje koriste biološke sisteme, žive organizme ili njihove delove, za razvoj različitih lekova, proizvoda ili rešenja. Ona danas integriše tradicionalna znanja i veštine sa mogućnostima najsavremenijih tehnologija. Biotehnologija (koja se često skraćeno naziva Biotech) je uz nove tehnologije, koje spajaju fizički, digitalni i biološki svet, industrija koja najbrže raste u 21. veku i igra ključnu ulogu u razvoju savremenog društva na različitim nivoima.

Napredak na polju biotehnologije otvara vrata neverovatnim mogućnostima – od biomedicine, preko održive poljoprivrede pa sve do biogoriva, biorazgradivih materijala i inovacija u prehrambenoj industriji. Biotehnologija predstavlja ključ za rešavanje mnogih izazova sa kojima se savremeno društvo suočava, poput različitih bolesti, gladi i klimatskih promena. U uslovima konstantnog prilagođavanja na klimatske promene, praćenog stalnim porastom broja stanovnika na Zemlji, brzi napredak biotehnologije ponudio je rešenje za održivu proizvodnju hrane u budućnosti, posebno u kontekstu povećanja prinosa, poboljšanja nutritivne vrednosti hrane, kao i otpornosti biljaka, kako na različite štetočine tako i na sušu.

Od izuzetne važnosti za razumevanje bioloških procesa i novih terapija, jeste da se zahvaljujući primeni novih tehnologija medicina stalno menja i ide u korak s vremenom. Biotehnologija, ne samo što potencijalno može dovesti do otkrića terapija koje se ne primenjuju u tradicionalnim metodama, već i smanjuje cenu postojećih metoda lečenja. Kompjutersko dizajniranje i modelovanje proteina, genska terapija, biološki lekovi i personalizovana medicina su samo neki od primera kako je razvoj biotehnologije uticao na unapređivanje prevencije, dijagnostike, kao i lečenja različitih oboljenja.

Dodatno, biotehnologija je našla svoju primenu i u rešavanju ekoloških problema poput zagađenja vode i vazduha, ili degradacije tla. Bioremedijacija, tj. upotreba enzima za razgradnju zagađivača i biološka kontrola štetočina su samo neke od biotehnoloških tehnika koje se već primenjuju u službi očuvanja životne sredine.

Pored bioloških znanja, okosnicu savremene biotehnologije čine i alati veštačke inteligencije (engl. Artificial Intelligence - AI), koji su ključni za razumevanje i predviđanje ponašanja bioloških sistema, jer omogućavaju simulaciju i optimizaciju procesa poput fermentacije i proizvodnje biomolekula. Analiza velikih skupova podataka (engl. Big data), generisanih sekvenciranjem gena ili analizom proteina, ključna je za otkrivanje skrivenih obrazaca i korelacija, a razvoj sofisticiranih algoritama za analizu ovih podataka je posebno važan za dalji napredak u biotehnologiji. Zahvaljujući algoritmima mašinskog i dubokog učenja (eng. Machine learning, Deep learning), računari se danas koriste ne

samo za procesiranje podataka, već i za predlaganje rešenja i novih otkrića u biološkim istraživanjima. Savremeni računarski sistemi mogu prepoznati biološke obrasce, uočiti pravilnosti i predvideti uloge i strukture proteina.

Sa većom dostupnošću i jednostavnošću biotehnoloških i matematičkih alata, oni postaju dostupni sve širem krugu istraživača i korisnika, otvarajući prilike za dalja istraživanja i razvoj novih biotehnologija. Biotehnologija ne samo da je jedna od ključnih oblasti nauke koja doprinosi rešavanju svetskih izazova, već je i pokretač inovacija koje imaju potencijal da oblikuju budućnost čovečanstva.

DEFINICIJA BIOTEHNOLOGIJE

Biotehnologija, ili skraćeno biotech, multidisciplinarna je oblast koja predstavlja spoj prirodnih nauka i inženjeringa. U biotechu se ćelijski i biomolekularni sistemi i koriste za razvoj tehnologija, tj. proizvoda, metoda i organizama u različite svrhe, od biomedicine, preko poljoprivrede do razvoja zelenih tehnologija i prehrambene industrije.



1. Istorijat biotehnologije

U svojim osnovnim principima, tradicionalna biotehnologija postoji od vremena Sumera i starih Egipćana, od pre oko 10.000 godina pre nove ere. Pretpostavlja se da je njena prva primena bila u fermentaciji. Fermentacija je prirodni proces kojim se organski molekuli, kao što su šećeri, u odsustvu kiseonika razgrađuju na druge molekule uz pomoć enzima proizvedenih od strane mikroorganizama, kao što je kvasac.

Od tih davnih vremena, fermentacija se uglavnom koristila kao sredstvo za konzervaciju hrane, ali i za proizvodnju mnogih namirnica, kao što su hleb, vino i pivo. Tada nije bilo znanj koja su mogla da objasne kako su tačno nastali ti proizvodi, niti zašto je došlo do fermentacije. Upravo zbog toga su na fermentaciju ljudi starog sveta obično gledali kao na čudo koje je poteklo od bogova. Sada znamo da neki organizmi mogu da prežive u uslovima bez ili sa malom količinom kiseonika i da je upravo fermentacija proces koji im to omogućava.

Danas se ovi procesi zasnovani na prirodnim sposobnostima mikroorganizama, smatraju „ranom“ biotehnologijom.

U isto vreme kada su počeli sa korišćenjem mikroorganizama za fermentaciju hrane, ljudi su počeli da uzgajaju različite vrste biljaka i životinja na novoformiranim staništima, čime počinje intenzivan razvoj poljoprivrede. Selektivan uzgoj i oplemenjivanje biljaka uticali su na razvoj i proizvodnju sorte useva koji su se odlikovali jedinstvenim i superiornim osobinama. Ova praksa utrla je put razvoju novih sorti biljaka sa izmenjenim osobinama, koji su donele poboljšan prinos, veću otpornost

na bolesti i bolji kvalitet hrane, što je postavilo temelj za dalji razvoj biotehnologije u poljoprivredi, medicini i drugim oblastima.

Vreme imunizacije

Sve do 17. veka postojanje mikroorganizama nije bilo dokazano, zato što nije postojao adekvatan uređaj kojim bi se to moglo učiniti. Antoni van Levenhuk (1632–1723) je, koristeći mikroskop sopstvenog dizajna, među prvima uočio mikroorganizme i tako dao jedan od najvažnijih doprinosa biologiji. Pre Van Levenhukovog otkrića bila je misterija zašto i kako se grožđe pretvara u vino, mleko u sir i šta dovodi do kvarenja hrane. Van Levenhuk zapravo nije ustanovio povezanost ovih procesa i mikroorganizama, ali je pomoću mikroskopa utvrdio postojanje oblika života koji nisu vidljivi golim okom.

Otkriće mikroskopa i opisivanje mikroorganizama, kao i njihovo naučno povezivanje sa uzročnicima bolesti ili procesima kvarenja i raspadanja hrane i drugih organskih materija, postavili su temelje za dalja istraživanja. Ovo je period kada mikroorganizmi pronalaze primenu u različitim oblastima, od medicine do industrije, pružajući osnovu za razvoj novih tehnologija. Kako će se ispostaviti, ova otkrića su utrla put razvoju rešenja za neke od velikih izazova sa kojima se čovečanstvo do tada suočavalo.

Luj Paster (1822–1895) je dokazao da su bolesti poput kuge i infekcija



uzrokovane mikroorganizmima, postavljajući temelje za razvoj bakteriologije. On stvara prvu laboratorijski proizvedenu vakcinu – vakcinu protiv pileće kolere, i takođe uspeva da vakcinacijom izleči besnilo.

Princip proizvodnje vakcina tada se bazirao na procesu atenuacije – oslabljenju virusa ili bakterija u laboratorijskim uslovima, obično kroz seriju kultivacija u drugim organizmima. Kada se ova oslabljena verzija virusa ili bakterije unese u organizam putem vakcinacije, ona može izazvati imunski odgovor, ali ne može izazvati bolest u punom obliku.

Od tog perioda vakcinacija je postala osnovni stub javnog zdravstva širom sveta. Razvoj vakcina, kao i drugih biotehnoloških procesa i metoda i danas traje, jer svaka nova varijanta bolesti dovodi do novih istraživanja i inovacija, a sve u cilju iskorenjenja oboljenja koja izazivaju velike stope smrtnosti.

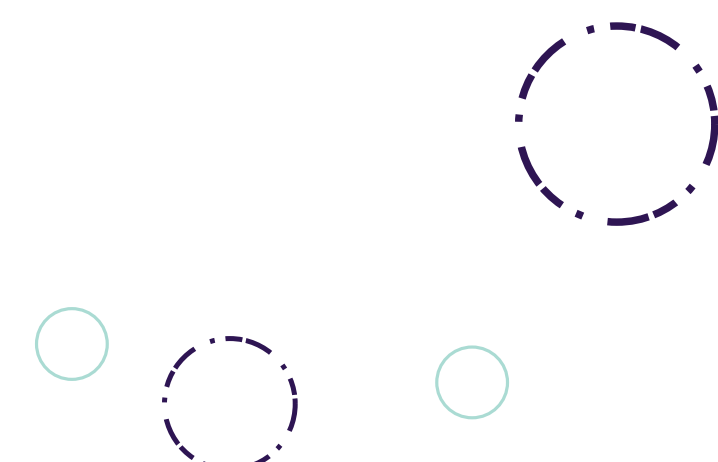
Otkriće penicilina

U jesen 1928. godine, u laboratoriji londonske bolnice „Sveta Meri“, dogodilo se nešto što će promeniti tok medicine zauvek. Doktor Aleksandar Fleming, mikrobiolog, proučavao je bakterijske kulture stafilokoka kada je primetio da se na jednoj od posuda sa bakterijama pojavila plesan oko koje se stafilokoke nisu razvijale. Shvatio je da plesan, po imenu *Penicillium notatum*, proizvodi supstancu koja inhibira rast bakterija. Ovo zapažanje predstavljalo je početak jednog od najvažnijih medicinskih otkrića u istoriji – penicilina. Ovaj antibiotik prvi put je primenjen u lečenju ljudi tokom Drugog svetskog rata, jer je pružio efikasan tretman za infekcije koje su ranije bile smrtonosne. Od tada,

penicilin je postao temelj antibiotske terapije i spasao je bezbroj života širom sveta.

Otkriće strukture DNK

Nukleinske kiseline su izolovane iz ćelija i hemijski opisane još 1869. godine, ali shodno tome da imaju svega četiri osnovna sastojka – nukleotida, smatrane su jednostavnim i ne preterano važnim. Tek sa otkrićem DNK strukture, 1953. godine, dolazi do revolucije i postavljanja temelja molekularne biologije i genetike, kao i razvoja savremenih biotehnologija. Saznanje na koji način DNK prenosi informacije omogućilo je naučnicima da uplove u oblast genetičkog inženjeringa, koja se kasnije razgranala na različita polja i uslovia pojavu velikog broja tehnologija koje se danas koriste. Računarske nauke takođe karakteriše razvoj sve kompleksnijih algoritama za brzu obradu podataka, uključujući i softvere za sekvenciranje DNK. Sve to je omogućilo nastanak bioinformatike, discipline na raskrsnici biologije i kompjuterskih nauka. Ubrzo se razvijaju i algoritmi za brzo upoređivanje DNK sekvenci, što je dovelo i do otkrića genskih mutacija i evolucionih odnosa koji do tada nisu mogli da budu uočeni.



2. Metode u biotehnologiji

Uzevši u obzir kompleksnost biotehnoloških tema, širok spektar metoda i tehnika je razvijen i kontinuirano se unapređuje u ovoj oblasti. Neke od najčešće korišćenih metoda su:

1. Sekvenciranje DNK

Sekvenciranje DNK predstavlja određivanje redosleda, tj. sekvence četiri nukleotida u molekulu DNK. Ova sekvenca nam može ukazati na vrstu genetičke informacije u određenom delu DNK. Na primer, naučnici mogu da koriste informacije o sekvenci kako bi odredili koji delovi DNK sadrže same gene, a koji delovi nose regulatorna uputstva za gene. Postoje različite metode sekvenciranja, uključujući Sangerovo, TGS (engl. Third Generation Sequencing), i NGS (engl. Next Generation Sequencing), koje su najviše u upotrebi.

Sangerovo sekvenciranje je široko korišćena metoda za određivanje sekvence fragmenata DNK i igralo je ključnu ulogu u mnogim oblastima molekularne biologije, uključujući sekvenciranje genoma, kao i istraživanje naslednih bolesti. Iako je Sangerovo sekvenciranje zamenjeno metodama sekvenciranja sledeće generacije (NGS), posebno za velike, automatizovane analize genoma, Sanger ostaje u širokoj upotrebi za analize manjeg obima i za validaciju rezultata NGS-a. Osim toga, Sangerovo sekvenciranje se i dalje aktivno koristi u inicijativama zaštite javnog zdravlja, poput sekvenciranja šiljastog (eng. spike) proteina iz SARS-CoV-2¹. Pojava tehnologije sekvenciranja sledeće generacije tokom dve hiljadite godine dodatno je pospešila napredak u oblasti biotehnologije, čineći sekvenciranje DNK i RNK bržim, jeftinijim i

dostupnijim istraživačima širom sveta. NGS je postavio osnovu za razvoj funkcionalne genomike, omogućavajući istraživačima da istraže zamršenosti genoma i transkriptoma sa dubinom i preciznošću kao nikad do tada. Istraživanja raka i personalizovane medicine, evolucione biologije i ekologije u velikoj meri su ubrzana upravo ovom tehnologijom, podstičući inovacije i unapređujući naše razumevanje života na molekularnom nivou.

Sekvenciranjem DNK očitava se veliki broj genetičkih sekvenci, što zapravo predstavlja enormnu količinu podataka. Zbog toga nam je potrebno efikasno upravljanje ovim ogromnim datotekama. Za svaki proces razvijeni su posebni algoritmi, kao što su algoritmi za paralelizaciju, algoritmi za procesiranje i algoritmi za kompresiju. Ovi pristupi zajedno omogućavaju istraživačima da upravljaju i analiziraju velike količine podataka nastale iz sekvenciranja DNK, čineći mogućim brojna značajna biološka otkrića.

2. Tehnologija rekombinantne DNK

Tehnologija rekombinantne DNK omogućava spajanje DNK fragmenata iz različitih bioloških izvora u cilju kreiranja genetički modifikovanih organizama ili rekombinantnih proteina. Ova tehnika se koristi u proizvodnji lekova, vakcina, enzima, hormona i drugih

¹ Alhamlan FS, Bakheet DM, Bohol MF, Alsanea MS, Alahideb BM, Alhadeq FM, Alsuwairi FA, Al-Abdulkareem MA, Asiri MS, Almaghrabi RS, Altamimi SA, Mutabagani MS, Althawadi SI, Al-Qahtani AA. SARS-CoV-2 spike gene Sanger sequencing methodology to identify variants of concern. Biotechniques. 2023 Feb;74(2):69-75. doi: 10.2144/btn-2021-0114. Epub 2023 Feb 16. PMID: 36794696; PMCID: PMC9937032.

biotehnoloških proizvoda. Najpoznatiji primer proizvoda baziranih na tehnologiji rekombinantne DNK je insulin za ljudsku upotrebu, za čiju se proizvodnju ljudski gen za insulin insertuje u plazmid, nakon čega se takav, rekombinantni plazmid vrati u bakteriju. Bakterije se zatim gaje u velikim fermentatorima u kojima počinju da proizvode insulin, koji se naknadno može izolovati, prečistiti i koristiti kao proizvod za ljudsku upotrebu. Dodatno, pored bakterije (*E.coli*), u ovu svrhu se koristi kvasac (*S. cervisie*), kao i različite biljke².

3. Lančana reakcija polimeraze (eng. *Polymerase chain reaction - PCR*)

Razvoj i korišćenje principa lančane reakcije polimeraze (engl. Polymerase Chain Reaction – PCR) 1983. godine, omogućili su kreiranje novih tehnika, kao i kloniranje DNK, čineći samim tim i sekvenciranje pristupačnijim. Danas se ova metoda široko koristi za brzo pravljenje miliona do milijardi kopija specifičnog DNK uzorka, omogućavajući naučnicima da u dovoljnoj meri umnože veoma mali uzorak DNK (ili njegov deo) radi detaljnijeg proučavanja.

PCR je osnova za mnoge procedure koje se koriste u genetičkom testiranju i istraživanjima, uključujući analizu drevnih uzoraka DNK i identifikaciju infektivnih agenasa. Ovo je i uobičajena i često nezamenjiva tehnika koja se koristi u medicinskim laboratorijskim istraživanjima za širok spektar primena, uključujući biomedicinska istraživanja.

PCR je važna komponenta forenzičkih analiza, i deo takozvanog identifikovanja DNK profila osobe. U forenzici se koristi pretpostavka da

svako ostavlja biološki trag, iz koga možemo izolovati DNK, i na osnovu određenih delova DNK koji su različiti kod svakog čoveka možemo identifikovati tu osobu. Jedan od vidova testiranja koji se naziva određivanje profila autozomalnih kratkih tandemskih ponovaka (engl. Short Tandem Repeats - STR), uključuje umnožavanje specifičnih regiona DNK koji sadrže STR, putem PCR-a koje je praćeno analizom DNK fragmenata. Upoređivanjem broja i veličine umnoženih STR fragmenata između individua može se utvrditi sa velikom preciznošću ko je tražena individua. Ova tehnologija se koristi u određivanju očinstva i majčinstva, kao i srodstva³.

4. RNK interferencija (eng. *RNAi*)

RNK interferencija je metoda koja se koristi za gašenje ekspresije gena putem RNK molekula koji su kreirani da specifično ciljaju i degradiraju određene RNK molekule. Ova tehnika se koristi u istraživanju funkcija gena, identifikaciji terapijskih targeta, kao i u razvoju terapija za genetičke bolesti.

Jedan od prvih lekova baziran na RNAi tehnologiji koji je odobren za korišćenje je patisiran (prodaje se pod imenom brenda Onpattro), za tretman nasledne amiloidoze posredovane transtiretinom (TTR). Amiloidoza predstavlja stvaranje amiloidnih plaka, koje nastaju agregacijom nekoliko proteina, od kojih je jedan i TTR, protein koji kodira iRNK transkript koji se proizvodi u jetri. Klinički se ova bolest manifestuje senzomotornom neuropatijom, kardiomiopatijom, aritmijom, kratkoćom daha, edemima, problemima sa bubrezima i drugim simptomima.

² McDonald C, Taylor D, Linacre A. PCR in Forensic Science: A Critical Review. *Genes (Basel)*. 2024 Mar 29;15(4):438. doi: 10.3390/genes15040438. PMID: 38674373; PMCID: PMC11049589.

³ Baeshen NA, Baeshen MN, Sheikh A, Bora RS, Ahmed MM, Ramadan HA, Saini KS, Redwan EM. Cell factories for insulin production. *Microb Cell Fact*. 2014 Oct 2;13:141. doi: 10.1186/s12934-014-0141-0. PMID: 25270715; PMCID: PMC4203937.

Patisiran pokazuje dejstvo na smanjenje TTR-a u plakama, a samim time dovodi do poboljšanja kliničke slike pacijenata. Pre nego što je bio odobren od strane američke FDA (engl. Food and Drug Administration) 2018. godine, patisiran je prošao seriju rigoroznih kliničkih ispitivanja.⁴

5. CRISPR-Cas9

Gotovo dve decenije istraživači su se bavili proučavanjem bakteriološkog imunskog sistema, pod nazivom CRISPR (engl. Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) mimo pažnje naučne zajednice i javnosti. Sve se to promenilo 2012. godine kada je otkrivena mogućnost menjanja gena, bazirana na CRISPR tehnologiji, koja je nazvana CRISPR/Cas9⁵. To je bila prekretnica u naučnoj zajednici, gde CRISPR tehnologija biva brzo usvojena, jer nova istraživanja ukazuju na rezultate njene primene, koji su vidljivi gotovo na nedeljnom nivou. Za otkriće CRISPR-Cas9, preciznog nanoalata za modifikovanje DNK, koji je izazvao revoluciju u biologiji, medicini i poljoprivredi, Emanuela Šarpentje i Dženifer Dudna dobile su 2020. godine Nobelovu nagradu iz hemije. CRISPR/Cas9 tehnologija koristi se za precizno sečenje i uređivanje genoma i omogućava naučnicima da izvrše ciljane promene u DNK sekvencama. Ona koristi odbrambeni sistem bakterija, CRISPR, i enzim Cas9 da cilja specifične DNK sekvence i izazove precizne modifikacije.

CRISPR-Cas alati trenutno su u fazi kliničkih ispitivanja ili se koriste radi popravljanja „loših” varijanti gena, najviše za monogenske bolesti, kao i različite tipove kancera.⁶ CRISPR-Cas tehnologija je i u širokoj upotrebi u poljoprivredi, gde se koristi za poboljšanje useva, za smanjenje boje plodova i cvetova određenih biljaka, odlaganje sazrevanja i produženje trajanja hrane.⁷



⁴ Traber GM, Yu AM. RNAi-Based Therapeutics and Novel RNA Bioengineering Technologies. J Pharmacol Exp Ther. 2023 Jan;384(1):133-154. doi: 10.1124/jpet.122.001234. Epub 2022 Jun 9. PMID: 35680378; PMCID: PMC9827509.

⁵ Martin Jinek et al., A Programmable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. Science 337,816-821(2012).DOI:10.1126/science.1225829

⁶ Liu W, Li L, Jiang J, Wu M, Lin P. Applications and challenges of CRISPR-Cas gene-editing to disease treatment in clinics. Precis Clin Med. 2021 Jul 10; 4(3):179-191. doi: 10.1093/pcmedi/pbab014. PMID: 34541453; PMCID: PMC8444435.

⁷ Liu Q, Yang F, Zhang J, Liu H, Rahman S, Islam S, Ma W, She M. Application of CRISPR/Cas9 in Crop Quality Improvement. Int J Mol Sci. 2021 Apr 19; 22(8):4206. doi: 10.3390/ijms22084206. PMID: 33921600; PMCID: PMC8073294.

3. Oblasti biotehnologije

Razumevanje bioloških procesa vekovima unazad uticalo je na predstavu o biotehnologiji kakvu danas poznajemo. Kombinovanjem starih i dobro poznatih praksi sa novim tehnologijama, biotehnologija nam često pruža pionirska rešenja u oblastima kao što su poljoprivreda, medicina, zaštita životne sredine i industrija.

Savremena biotehnologija integriše discipline poput matematike, inženjerstva, hemije, biologije, mašinskog učenja i veštačke inteligencije. Ovaj spoj revitalizuje tradicionalne biotehnologije, dok s druge strane ubrzava, modifikuje i prilagođava prirodne biološke procese potrebama ljudi. Iako postoje alternativni načini za podelu biotehnologije, najčešći metod je korišćenje koda u boji, gde određena boja odgovara konkretnoj oblasti.⁸

Tako govorimo o dugi koja pokriva glavne oblasti biotehnologije, koje se međusobno prepliću:

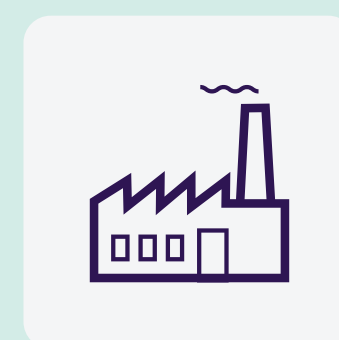
- crvena (medicinska i farmaceutska biotehnologija),
- zelena (poljoprivredna biotehnologija),
- bela (industrijska biotehnologija),
- siva (biotehnologija zaštite životne sredine),
- plava (biotehnologija mora),
- žuta (biotehnologija hrane),
- zlatna (bioinformatika),
- ljubičasta (regulativa, etička i filozofska pitanja iz oblasti biotehnologije) i
- crna (biotehnologija u bioterorizmu i biološkim oružjima)



Crvena
medicinska i
farmaceutska
biotehnologija



Zelena
poljoprivredna
biotehnologija



Bela
industrijska
biotehnologija



Siva
biotehnologija zaštite
životne sredine



Plava
biotehnologija mora



Žuta
biotehnologija
hrane



Zlatna
bioinformatika



Ljubičasta
regulativa, etička
i filozofska pitanja
iz oblasti
biotehnologije



Crna
biotehnologija u
bioterorizmu i biološkim
oružjima

⁸ DaSilva, E. (2018). The Colours of Biotechnology: Science, Development and Humankind. [online] Ejbitechnology.info. Available at: <http://www.ejbitechnology.info/index.php/ejbitechnology/article/view/1114/1496> [Accessed 25 Aug. 2018]

Crvena biotehnologija

Primena biotehnologije u dijagnostici, prevenciji i lečenju bolesti poznata je kao crvena biotehnologija ili medicinska i farmaceutska biotehnologija. Crvena biotehnologija pokriva sve teme koje se tiču ljudskog zdravlja i cilj ove grane biotehnologije je da poboljša kvalitet života ljudi. Fokus je na otkrivanju i razvoju novih lekova, vakcina, dijagnostičkih testova, usavršavanju metoda matičnih (stem) ćelija, istraživanju potencijala bioloških lekova i terapijskih proteina, kao i na personalizovanoj i regenerativnoj medicini.

Otkrivanje i razvoj lekova

Biotehnološke metode igraju ključnu ulogu u procesu otkrivanja i razvoja novih lekova. Zahvaljujući crvenoj biotehnologiji značajno je unapređeno razumevanje molekularnih osnova različitih bolesti. Ovakav pristup omogućava lakše otkrivanje potencijalnih ciljnih molekula na koje mogu da utiču novi lekovi, a samim tim i razvoj uspešnih terapija. Biotehnološke metode se koriste i u dešifrovanju 3D strukture proteina, kao i sintetisanju određenih malih molekula sa željenim karakteristikama, koji se zatim mogu i oprobati u in vitro kulturama kao potencijalni kandidati za nove lekove.

Biološki lekovi ili biofarmaceutici su farmaceutski proizvodi čija aktivna supstanca potiče iz biološkog izvora, bilo ljudskog, životinjskog, bakterija ili virusa. Biološki lekovi predstavljaju jedno od najbrže rastućih područja u farmaceutskoj industriji, a primeri bioloških lekova uključuju gensku, proteinsku i hormonsku terapiju, kao i vakcine. Za razliku od standardnih farmaceutskih lekova, biološki lekovi često imaju

složenu strukturu i specifično delovanje, što ih čini efikasnim za lečenje različitih bolesti, uključujući autoimune bolesti, rak i neurološke poremećaje. Sa druge strane, biološki lekovi su skuplji za proizvodnju, prediktabilnost reakcija pacijenata je vrlo individualna i moraju se administrirati injekcijom ili intravenozno, kao i čuvati u posebnim uslovima, što sve otežava njihovu svakodnevnu terapijsku primenu.

Neki od konkretnih primera bioloških lekova uključuju monoklonska antitela, koja su laboratorijski kreirani proteini koji mimikuju antitela prirodno proizvedena od strane našeg imunskog sistema. Monoklonska antitela već imaju široku primenu u medicini. Npr. za tretman kancera debelog creva koristi se lek avastin koji inhibira rast krvnih sudova oko tumora. Primena monoklonskih antitela je poznata i u lečenju makularne degeneracije u oku, reumatoidnog artritisa i Kronove bolesti.

Pored monoklonskih antitela, vredno je pomenuti i druge biološke lekove kao što su, enzimska terapija u slučaju nedostatka određenih enzima u organizmu, kao i genska terapija, koja između ostalog omogućava zamenu nefunkcionalnog gena, zdravim genom.

Za razliku od tradicionalnih vakcina, koje se proizvode metodom atenuacije, o čemu smo govorili ranije, savremena otkrića biotehnologije su omogućila i razvoj novih tipova vakcina, baziranih na informacionoj RNK - iRNK (eng. messenger RNA - mRNA). Sa pojavom COVID-19 prve iRNK vakcine su stavljene u upotrebu u zdravstvo. U odnosu na tradicionalni pristup, ovaj tip vakcina omogućava brz razvoj i ubranu proizvodnju. iRNK vakcine, kao što su Pfizer i Moderna COVID-19 vakcine, rade na principu „obuke“ naših ćelija kako da proizvode protein koji bi inače izazvao imunski odgovor kada bismo se inficirali.

U Srbiji, primer inovativnog preduzeća sa sličnim fokusom je SavAntiVir, spin-out Instituta za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Univerziteta u Beogradu, koji radi na razvoju novog antivirusnog agensa za zaštitu od virusa sa omotačem, kao što su HIV, HSV-1, HSV-2, SARS-CoV-2, Influenca.

Personalizovana medicina

Personalizovana medicina prikuplja i koristi informacije o genetici, životnom stilu i izloženosti pacijenta uticajima okoline, kako bi se tretman bolesti prilagodio svakom pojedincu. Korišćenjem biotehnoloških metoda, kao što su sekvenciranje genoma, analize ekspresije gena i bioinformatika, istraživači i lekari mogu da identifikuju individualne faktore rizika, kao i da odrede optimalni tretman i predvide odgovor na terapiju. Personalizovana medicina omogućava individualni pristup lečenju, a samim tim i veću efikasnost terapije, koja ima za cilj poboljšanje ishoda bolesti pacijenta, kao i smanjenje neželjenih efekata terapije.

Primer inovativne biotech kompanije razvijene u domenu personalizovane medicine je [QurAlis](#) iz SAD, koja se kroz korišćenje bioinformatičkih alata bavi targetovanjem kandidata gena, kao i kliničkih biomarkera koji mogu poslužiti za rano otkrivanje amiotrofične lateralne skleroze (ALS) i drugih neurodegenerativnih bolesti.

Inženjering tkiva i regenerativna medicina

Inženjering tkiva i regenerativna medicina koriste biotehnološke metode za razvoj veštačkih tkiva, organa, kao i terapija koje mogu zameniti oštećena ili bolesna tkiva i organe u ljudskom telu. Sve ovo omogućava

kreiranje novih mogućnosti za lečenje povreda i otvara put ka razvoju personalizovanih terapija i transplantacija tkiva i organa.

Ove tehnologije se uglavnom zasnivaju na uzgoju ćelija u laboratorijskim uslovima, kao i na 3D bioprintingu, koji omogućava da se od biomaterijala i bioaktivnih komponenti naprave matrice za rast ćelija i formiranje organa. Do sada, ove tehnike su već uspešno primenjene u štampanju kože, srčanih i skeletnih mišića, hrskavice i koštanog tkiva.

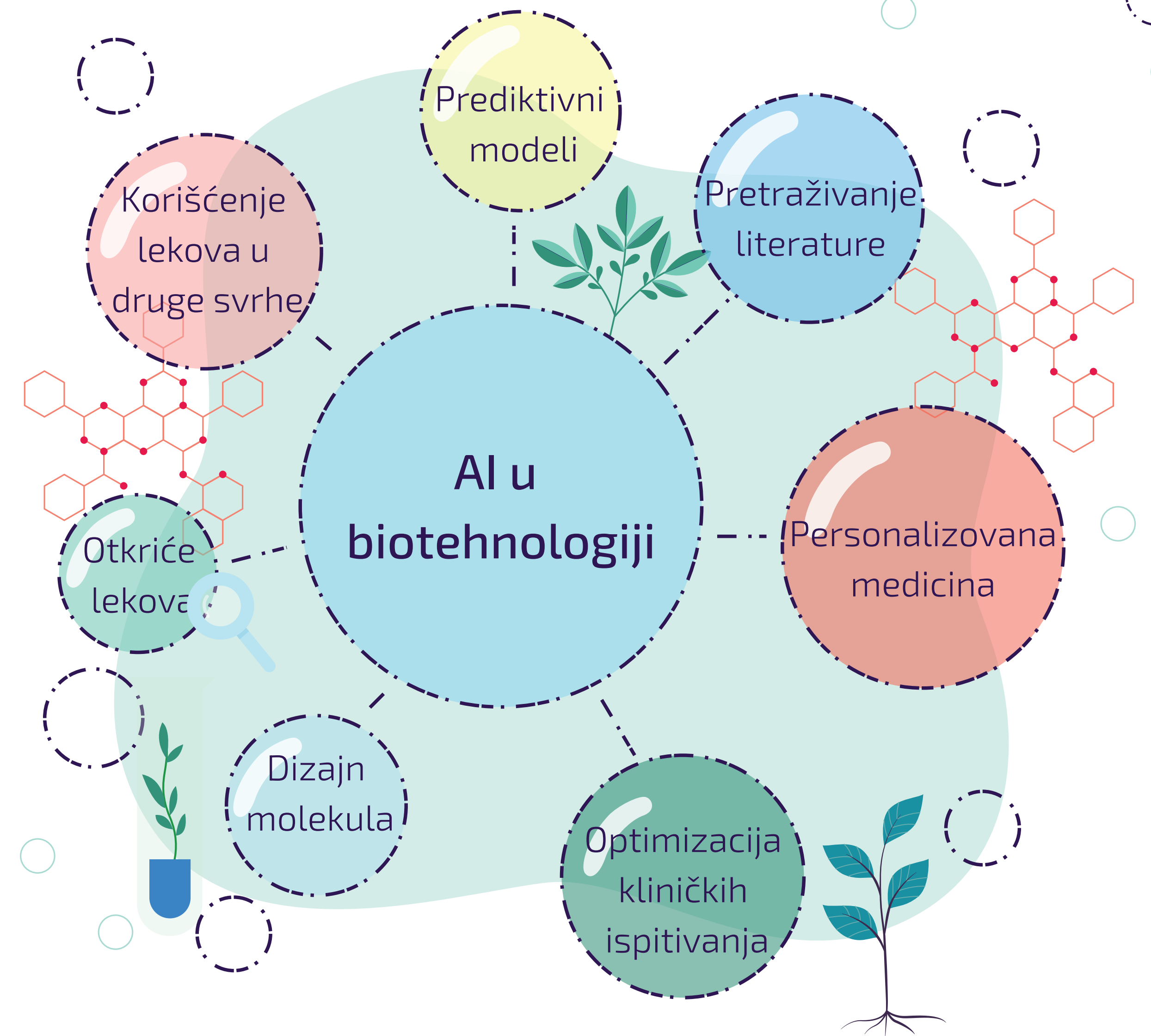
[Lattice Medical](#) je primer inovativne kompanije iz Francuske, koja se specijalizuje za razvoj rešenja za implante grudi u cilju regeneracije tkiva kod pacijenata prethodno obolelih od raka dojke. Za razliku od tradicionalnih rešenja baziranih na silikonu, njihova inovativnost se ogleda u korišćenju 3D štampanih proteza na bazi materijala koje telo lako apsorbuju i koji nemaju potencijalnih negativnih nuspojava kao što je odbijanje implanta ili razvoj infekcija.

Korišćenje veštačke inteligencije u crvenoj biotehnologiji

Smatra se da će uvezivanje metoda veštačke inteligencije sa istraživanjima u oblasti biotehnologije dovesti do revolucije u ovoj oblasti i ubrzanog otkrića novih lekova. Veštačka inteligencija će skratiti vreme i podići produktivnost istraživanja. Broj biotech kompanija koje koriste AI za otkriće novih lekova raste svakodnevno.

AI je našao primenu na mnogo načina u biotehnologiji:

- **Dizajn molekula** - AI pomaže u dizajniranju novih molekula sa željenim karakteristikama.
- **Prediktivni modeli** - AI daje predikcije potencijalnih reakcija pacijenata na određene tretmane.
- **Otkriće lekova** - AI efikasnije identifikuje potencijalne terapijske kandidate
- **Personalizovana medicina** - AI predlaže lečenje na osnovu individualnih karakteristika pacijenata.
- **Optimizacija kliničkih ispitivanja** - AI optimizuje i kreira predloge dizajna kliničkih studija i pomaže pri izboru kandidata pacijenata koji ulaze u studije.
- **Korišćenje lekova u druge svrhe** - AI pomaže pri pronalaženju novih terapijskih mogućnosti za postojeće lekove.
- **Pretraživanje literature** - NLP (eng. Natural Language Processing) tehnika AI se već koristi za prikupljanje adekvatnih informacija iz naučne literature, koje mogu skratiti vreme naučnicima pri analizi postojećih podataka za otkriće novih lekova.



Grafikon 1: Primena Veštačke inteligencije u biotehnologiji

Zelena biotehnologija

Shodno porastu broja stanovnika na planeti, razvoj održive poljoprivrede predstavlja jedan od ključnih zadataka nauke i inovacija, a važna uloga u ovom procesu pripada zelenoj biotehnologiji, poznatijoj kao poljoprivredna ili agrobiotehnologija. U okviru ove oblasti radi se posebno na razvoju semena i biljaka koje stvaraju više prinosa, zahtevaju manje đubriva i vode, otpornije su na štetočine, mogu da izdrže promene temperature i okruženja, otpornije su na sušu i ekstremne temperature. Tehnologija i procesi koje se posebno razvijaju u ovoj oblasti su biođubriva, biopesticidi, selekcija i oplemenjivanje kultura. Takođe, biotehnologija igra ključnu ulogu u razvoju održivih poljoprivrednih praksi u kontekstu zaštite životne sredine i socijalne pravde, kao i očuvanja planete za buduće generacije.

Poboljšanje prinosa useva

Povećanje prinosa useva je jedan od ključnih izazova u savremenoj poljoprivredi, jer se dovodi u vezu sa zadovoljavanjem rastućih globalnih potreba za hranom. Biotehnologija kroz različite pristupe utiče na poboljšanje prinosa useva, poput selekcije gena koji utiču na rast, razvoj i produktivnost biljaka, kao i optimizaciju procesa fotosinteze i iskorišćenja hranljivih materija, ali i kroz različite primene GMO-a.

Somatska hibridizacija je još jedna od tehnika koja se koristi u poljoprivredi, a omogućava manipulaciju genomima kombinujući ćelije iz različitih vrsta biljaka, čime se stvaraju hibridi sa poželjnim karakteristikama, kao što je poboljšan nutritivan sadržaj ili otpornost na bolesti.

Genetička modifikacija useva je tehnologija koja omogućava direktnu manipulaciju genetičkog materijala biljaka radi unapređenja njihovih karakteristika. Ovakvim vidom manipulacije organizmom možemo dodavati gene koji kodiraju željene osobine, kao što su otpornost na štetočine ili bolesti, tolerantnost na sušu ili poboljšanje kvaliteta i nutritivne vrednosti plodova.

Primer ovakvih useva je Bt pamuk, koji je genetički modifikovan ubacivanjem gena iz bakterije *Bacillus thuringiensis*, koja se uobičajeno može naći u zemljištu. Ovaj gen nosi informaciju o proizvodnji proteina sa toksičnim dejstvom na određene insekte, posebno na gusenice koje predstavljaju velike štetočine za useve pamuka. Prvi Bt pamuk je proizvela kompanija **Monsanto** (kupio ju je Bayer 2018. godine), kako bi se kontrolisale štetočine koje je veoma teško i skupo kontrolisati tradicionalnim insekticidima. Ovakva primena ne samo da smanjuje troškove i angažman radne snage, već može smanjiti i negativan uticaj na životnu sredinu koji potiče od poljoprivredne proizvodnje.

Usevi se takođe modifikuju unošenjem gena koji povećavaju količinu određenih nutrijenata, kao što je slučaj kod **zlatnog pirinča**, koji je genetičkim inženjeringom izmenjen kako bi se u zrnu pirinča našao beta-karoten, koji se inače može naći u biljci, ali ga nema u zrnu. Genetičkim inženjeringom dodati su geni za dva enzima, koja omogućavaju da proizvedeni beta-karoten bude isti kao npr. u šargarepi, ili u različitim vitaminskim suplementima. Ovakav pirinač omogućava da se smanji nedostatak vitamina A, što je od posebne važnosti u regionima gde je izazov obezbediti dovoljne količine ovog vitamina kroz hranu, što dovodi do pojave različitih zdravstvenih problema.

Biopesticidi su velika tema zelene biotehnologije, jer su veoma važni za

zaštitu životne sredine i zdravu ishranu. Kanadski startup *Bee Vectoring Technologies* gaji komercijalno pčele, koje koriste kao „transportno sredstvo“ za ciljano raspršavanje biopesticida. Njihovi biopesticidi su bazirani na gljivama koje prirodno postoje i rastu na različitim biljkama, a posebno su efikasne u borbi protiv patogena kao što su Botrytis i Sclerotinia. Dodatno, ovakvi biopesticidi ne nanose štetu pčelama, biljkama, i bezopasni su za ljude. Cilj ove tehnologije je povećanje prinosa kod različitih biljaka, kao što su jagode, suncokret i jabuke.

PLAVA BIOTEHNOLOGIJA

Sa fokusom na istraživanje resursa iz sveta okeana, plava biotehnologija nalazi nove načine da zadovolji globalnu potražnju za hranom, energijom i lekovima. Ogromno prostranstvo mora i okeana, kao i varijabilnost vrsta koje žive na ovim staništima, podstakli su istraživanja u smeru otkrića novih bioaktivnih supstanci koje bi mogle biti ekstrahovane iz ovih organizama i primenjene u industrijskim procesima. Od proizvodnje biogoriva, preko fermentacije makro i mikroalgi, do ekstrakcije enzima za kozmetičku i prehrambenu industriju, kao i industriju papira, tekstila i deterdženata.

ŽUTA BIOTEHNOLOGIJA

Termin žuta biotehnologija se u literaturi povezuje sa primenom insekata u medicini, poljoprivredi i industriji. Fokus ove grane biotehnologije je kontrola aktivnosti štetnih insekata, kao i karakterizacija i korišćenje aktivnih supstanci i gena insekata u istraživanju i inovacijama. Insekti su najbrojnija klasa životinja na zemlji i imaju značajne uloge u ekosistemima, od toga da su polinatori, proizvode različite proizvode kao što su, med i svila, učestvuju u razgradnji plastike, ali mogu biti i prenosnici različitih oboljenja i biti štetočine.

Bela biotehnologija

Ova oblast biotehnologije je, najjednostavnije rečeno, nastavak razvoja tradicionalne biotehnologije u domenu primene enzima, ćelijskih ekstrakata ili celih mikroorganizama u industrijskim procesima koji dovode do proizvodnje širokog spektra proizvoda, kao što su gorivo, sastojci hrane i hemijska jedinjenja.

Širi cilj bele ili industrijske biotehnologije je smanjena upotreba resursa u

tradicionalnim industrijskim procesima. Smatra se da će bela biotehnologija imati važnu ulogu u budućnosti razvoja ekonomije, zbog upotrebe biomase kao alternative fosilnim gorivima. Takođe, ona otvara put ka održivijim industrijskim procesima pretvaranjem obnovljivih sirovina u proizvode sa vrednošću, na energetski efikasan način, uz smanjenje otpada i emisija CO₂.

Deo bele biotehnologije koji se fokusira na industriju hrane i pića se uglavnom bavi pitanjima očuvanja i bezbednosti hrane, nutritivnog obogaćivanja hrane, kao i poboljšanja ukusa i aroma.

Očuvanje i bezbednost hrane

Biotehnološki procesi igraju ključnu ulogu kako bi se osigurala bezbednost hrane, kroz njeno produženo trajanje i očuvanje kvaliteta. Različiti mikroorganizmi se koriste kako bi produžili rok trajanja proizvoda. Npr. fermentacija i probiotici mogu da inhibiraju rast patogenih mikroorganizama, kroz proizvodnju različitih enzima, peptida i organskih kiselina, čime se automatski i produžava rok hrane.

Foodberry startup iz Bostona pravi proizvode koji produžavaju život hrane kroz proizvodnju prirodnih zaštitnih opni, koje funkcionišu kao „kora” na povrću i voću, koristeći molekule koji se prirodno nalaze u kori ili opni voća ili povrća.

Takođe, pasterizacija i sterilizacija se koriste kao tehnike za eliminaciju neželjenih mikroorganizama iz hrane, čime se osigurava njena bezbednost i sprečava pojava bolesti izazvanih hranom.

Dodatno, potrošači su danas vrlo svesni štetnih uticaja različitih

hemijskih procesa na zdravlje ljudi, tako da je sve veća potražnja za prirodnim ili organskim proizvodima. Biotehnologija nudi pronalaženje alternativa za ove sintetičke proizvode, čime se i kvalitet hrane poboljšava.

HIRA VET

HIRA VET, spin-out Instituta za molekularnu genetiku i genetičko inženjerstvo Univerziteta u Beogradu, proizvodi probiotik na osnovu kombinacije bakterija koje deluju na teško izlečive patogene bakterije, i tako deluje kao zamena za upotrebu antibiotika u prevenciji i lečenju teško izlečivih crevnih infekcija kod životinja.

Siva biotehnologija

Siva ili biotehnologija zaštite životne sredine je oblast biotehnologije koja se odnosi na primenu bioloških sistema i procesa u tretiranju i upravljanju otpadom, kao i u procesima zaštite i obnavljanja kvaliteta životne sredine. Zaštita prirodnih ekosistema i očuvanje ugroženih vrsta su jedan od ključnih primena biotehnologije koje bi trebalo da doprinesu smanjenju negativnog uticaja čoveka na prirodu. Primene uključuju upotrebu genetički modifikovanih organizama za kontrolu invazivnih vrsta, razvoj efikasnijih metoda za monitoring biodiverziteta, kao i za upotrebu bioloških sredstava za zaštitu biljaka od štetočina.

Bioremedijacija i uklanjanje zagađivača

Bioremedijacija predstavlja korišćenje živih organizama ili njihovih enzima u svrhu čišćenja i obnove kontaminirane životne sredine. Korišćenje mikroorganizama u odnosu na tradicionalne metode se pokazalo kao efikasnije, jeftinije i prirodnije rešenje, a posebno je zanimljivo što ovaj vid prečišćavanja životne sredine dovodi do potpune degradacije ili transformacije opasnih zagađivača u bezopasne proizvode.

U bioremedijaciji se uglavnom koriste mikroorganizmi za detoksikaciju zemljišta, vode i vazduha, i to čvrstog, tečnog i gasovitog otpada od štetnih supstanci, kao i od organskih zagađivača, kao što su nafta, pesticidi, deterdženti, veštačka đubriva, teški metali i drugi toksični elementi i jedinjenja. Npr. otkriveno je da određene morske bakterije imaju posebne metaboličke sposobnosti da razgrade zagađivače životne sredine, recimo naftne mrlje i plastični otpad, a genetički inženjering je otvorio mogućnosti konstruisanja genetički modifikovanih mikroorganizama sa biodegradacionim karakteristikama koji se nazivaju „super mikrobima“.

Pored mikroorganizama, primećeno je da i određene biljke mogu da igraju ulogu u procesu bioremedijacije. Taj proces se naziva fitoremedijacija. Neke vrste biljaka koje se koriste u ovom procesu imaju prirodne osobine hiperakumulacije, te nakupljanjem određenih vrsta štetnih hemikalija u sebi zapravo pomažu u smanjenju zagađenja zemljišta. Iako ova metoda čišćenja životne sredine može biti veoma spora, što zavisi od biljaka koje se upotrebljavaju, dodatna prednost je što korenski sistem sprečava eroziju, a na taj način smanjuje mogućnost

širenja zagađenja. Takođe, određene vrste algi se mogu koristiti za uklanjanje zagađujućih supstanci iz vazduha i vode.

Tretiranje otpadnih voda

Tehnološki napredak i povećanje broja ljudi na planeti uvećavaju upotrebu pijaće vode, ali dovode i do povećanja količine otpadnih voda, kao i do zagađenja voda u prirodnim ekosistemima. Zagađene vode sa jedne strane predstavljaju opasnost po zdravlje kako ljudi tako i ostalih živih organizama i stoga je važno naći prirodna rešenja za tretman otpadnih voda.

Biotehnologija otpadnih voda se fokusira na prečišćavanje komunalnih otpadnih voda i otpadnih voda iz prehrambene i biotehnološke proizvodnje. Glavni postupak uključuje uklanjanje lako biorazgradive organske materije pomoću mikroorganizama, uz dodatne postupke pripreme i završne obrade otpadnih voda. Ova tehnologija zahteva multidisciplinarni pristup i široko znanje iz oblasti biotehnologije radi efikasnog tretmana otpadnih voda.

Istraživači sa Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu, kroz projekat DANUBEcare na inovativnom rešenju za preradu i korišćenje ljuštore invazivne vrste boljobradi rak, kao bioadsorbenta za uklanjanje zagađujućih materija iz rečne vode i otpadnih voda.

Razvoj biogoriva i biodegradabilnih materijala

Neophodno je pomenuti i da je u cilju očuvanja životne sredine i održive budućnosti pronalaženje alternativnih izvora energije jedan od najvećih izazova današnjice. Biotehnologija nudi rešenja, kao što su biogoriva, koja su poreklom iz algi ili biljne biomase.

Postoji veliki broj startapa i inovativnih kompanija koji se bave temom biogoriva širom sveta. Celtic Renewables iz Škotske razvija biobutanol kao alternativu fosilnim gorivima, koji je visokog energetskog potencijala i sa drastično manjim emisijama štetnih gasova, a u slučaju izlivanja, smanjena je verovatnoća za kontaminaciju podvodnih voda zbog svojstva nemešljivosti sa vodom. Njihov proizvod se zasniva na fermentaciji baziranoj na bakterijama, kao i na procesu termalne hidrolize koja pretvara određene šećere u biobutanol.

U Srbiji, na Institutu za multidisciplinarna istraživanja se rade istraživanja biomase u kontekstu njenog potencijalnog korišćenja kao biogoriva. Konkretno, ispituje se optimizacija metoda za procenu kvaliteta biomase poreklom od poljoprivrednog otpada, ili drveća.

Bioplastika, kao zelena alternativa konvencionalnoj plastici, rešava ozbiljan problem nerazgradivosti plastičnih materijala nastalih preradom fosilnih goriva. Pošto je proizvedena iz obnovljivih resursa, samim tim smanjuje upotrebu fosilnih goriva. Biorazgradivost bioplastike sprečava nagomilavanje plastičnog otpada koji ugrožava ekosisteme, čineći je idealnom za medicinske proizvode zbog svoje biokompatibilnosti i netoksičnosti. Mikroorganizmi poput bakterija mogu da sintetišu bioplastiku, koja može biti održiva alternativa

današnjoj petrohemijskoj plastici. Dodatno, bakterije mogu koristiti različiti otpad bogat ugljenikom poput otpadnog ulja, glicerola, ili čak pretretiranog plastičnog otpada za proizvodnju bioplastike putem fermentacije, čineći proces održivijim i ekonomski povoljnijim.

U Srbij grupa istraživača sa Univerziteta u Kragujevcu i Univerziteta u Beogradu radi na projektu POLYGREEN, kroz koji pokušavaju da sintetišu nezasićene poliestarske smole isključivo na bazi bioobnovljivih sirovina. Nezasićene poliestarske smole imaju široku primenu u transportnoj, građevinskoj industriji, elektroindustriji, ali i u proizvodnji nameštaja i obuće.



ZLATNA BIOTEHNOLOGIJA

Pod zlatnom biotehnologijom se podrazumeva relativno nov spektar biotehnologije koji čine oblasti kao što su bioinformatika, nanotehnologija i sistemska biologija. Oblast bioinformatike i njena primena i razvoj su direktno vezani za pojavu velike količine podataka nastale usled otkrića NGS tipa sekvenciranja. Ova oblast povezuje teorijsko i praktično znanje iz različitih oblasti, na primer matematike, statistike, inženjrstva, programiranja i biologije, kako bi se analizirali i interpretirali podaci in silico radi budućih primena, uglavnom u personalizovanoj medicini i otkriću novih lekova ili terapijskih targeta.

Nanotehnologija uključuje istraživanje i primenu na nano, atomskom i supramolekularnom nivou. Razvoj ove relativno nove oblasti je omogućen tek pojavom novih mikroskopskih metoda i istraživanje se uglavnom fokusira na strukturu i interakcije pojedinačnih molekula. Primena nanotehnologije je najšira u oblasti dizajna i sinteze različitih materijala i uređaja u nano dimenzijama.

Sistemska biologija ima u fokusu kompleksne interakcije unutar bioloških sistema i jedan od glavnih ciljeva ove naučne oblasti je razvoj modela i otkrivanje karakteristika funkcionisanja organizma kao sistema. Uglavnom se u ove vrhe koriste različita računarska modelovanja kako bi se testirale hipoteze za razvoj modela interakcije sistema.

Ljubičasta biotehnologija

Pod ovim terminom podrazumeva se čitav pravni, regulatorni, etički i filozofski aspekt biotehnologije. U ovom domenu obrađuju se posebno i pitanja patenata i zaštite intelektualne svojine, kao i etički uticaj biotehnologija na društvo, kao što je biosigurnost.

Shodno brzom razvoju biotehnologije i njenom uticaju na društvo i životnu sredinu, neophodno je detaljno razmotriti etičke i regulatorne aspekte koji neizbežno prate njen napredak, kako bi se osigurale bezbednost, pravednost, transparentnost i odgovornost u primeni biotehnoloških inovacija.

Društvene implikacije biotehnoloških inovacija pokrivaju širok spektar, od ekonomskih, preko socijalnih, kulturnih i političkih domena, i zato je podsticanje javnog dijaloga i učešće građana u donošenju odluka i vezi sa biotehnološkim pitanjima od suštinske važnosti. Tu spadaju i

podizanje svesti potrošača, posebno u kontekstu GMO-a. Kao primer možemo uzeti označavanje proizvoda koji sadrže GMO sastojke, što predstavlja važno pitanje, jer doprinosi transparentnosti i omogućava potrošačima da donose informisane odluke. Za sada je ovo pitanje različito regulisano od zemlje do zemlje. U Srbiji je zabranjena proizvodnja i distribucija GMO biljaka. Međutim, zbog zasićenja globalnog tržišta GMO biljkama, postoji rizik od kontaminacije i domaćih privrednih kultura.

Grupa istraživača sa Instituta BioSens u Novom Sadu, u okviru projekta LABOUR, radi na razvoju inovativnog uređaja za brzu i jednostavnu detekciju GMO biljaka (soje, kukuruza, pšenice i uljane repice) direktno na polju. Detekcija se vrši prenosnim biosenzorima, koji su bazirani na principima molekularne biologije i nanotehnologije za analizu DNK biljaka.

Sa druge strane, edukacija potrošača o prednostima i rizicima GMO-a je takođe neophodna, kako bi došlo do šireg prihvatanja ove biotehnoške inovacije. Kao što je gore pomenuto na primeru Bt pamuka i zlatnog pirinča, ovakve primene GMO-a nam omogućavaju bolje prinose i poboljšanje kvaliteta i nutritivne vrednosti biljaka i smanjenje štetnog uticaja na životnu sredinu.

Bezbednost proizvoda i tehnologija koje se razvijaju je zapravo pitanje broj jedan sa etičkih i regulatornih aspekata. Razvoj novih proizvoda i njihova primena je neminovnost, ali s obzirom na to da nije do kraja poznat njihov uticaj na čoveka i druge organizme, kao ni na životnu okolinu, neophodno je da postoje strogi standardi za procenu bezbednosti novih proizvoda. Za to su globalno zadužena razna

regulatorna tela, koja vrše testiranje na toksičnost, alergenost, ekološke efekte, i druge potencijalne rizike. Takođe osiguravaju da su biotehnoški proizvodi jasno označeni i obeleženi, vrše proveru kontrole kvaliteta i daju dozvole za upotrebu, ali kasnije i nadziru primenu ovih proizvoda.

U Srbiji, Stručni savet za biološku sigurnost okoji je osnovalo Ministarstvo poljoprivrede, kao i samo ministarstvo, daje stručna mišljenja koja se odnose na GMO.

Što se tiče primene biotehnologije u medicini i farmaciji, s obzirom na to da različite biotehnoške inovacije u ovoj oblasti često uključuju prikupljanje i analizu velikih količina podataka, kako genetičkih i medicinskih tako i ličnih, prva stavka je neophodnost da se osigura etičan i odgovoran način korišćenja, skladištenja i čuvanja ovih podataka, uz poštovanje privatnosti pojedinaca.

Drugo etičko pitanje se tiče dostupnosti inovacija u oblasti crvene biotehnologije. Naime, ako se uzme u obzir trenutna cena razvoja novih proizvoda i terapija baziranih na biotehnologiji, kao i njihovoj geografskoj distribuciji, nejednakost u njihovoj dostupnosti može dodatno produbiti postojeći jaz u društvu i onemogućiti jednako pravo na zdravstvenu zaštitu. Zbog toga je neophodno razviti politike koje osiguravaju pravedan pristup biotehnoškim inovacijama. Dodatno, kako biotehnoške inovacije često podležu zaštiti prava intelektualne svojine, postavlja se pitanje ko ima pravo pristupa, korišćenja i uzimanja dobiti od razvijenih biotehnoških inovacija. Zato je važno, pogotovu kada su u pitanju lekovi i terapije, balansirati zaštitu prava intelektualne svojine sa javnim interesom.

CRNA BIOTEHNOLOGIJA

Biotehnologija nam pruža do skora nezamislive mogućnosti za poboljšanje kvaliteta naših života, kao i za održivi razvoj na planeti, ali sa druge strane otvara vrata tehnologijama i korišćenju tehnologija na potencijalno veoma opasne načine koji mogu voditi raznim vidovima destrukcija. Još 2002. godine u laboratoriji na Državnom Univerzitetu u Nju Jorku, naučnici su pokazali da uspešno mogu da sintetišu poliovirus od nule, dakle isključivo od gradivnih elemenata, baznih parova.⁹ Ovo otkriće je omogućilo da se jedan virus, a potencijalno i bilo koji veći organizam može "sastaviti" isključivo od gradivnih jedinica. Iako je ovo otkriće značajno, posebno u domenu kreiranja novih vakcina, pokazuje da bilo ko, sa adekvatnom opremom može da kreira bilo koji virus u laboratorijskim uslovima, kao što je antraks ili čak velike boginje. Biološko oružje podrazumeva korišćenje mikroorganizama ili toksina mikrobiološkog, biljnog ili životinjskog porekla, kako bi se izazvala bolest kod ljudi, stoke ili useva. Biološko oružje je u okviru bioterorizma posebno opasno iz perspektive da se teško može detektovati rutinskim sigurnostim sistemima i lako je prenosivo sa

jedne lokacije na drugu, kao i relativno jeftino za proizvodnju. Shodno visoko destruktivnim potencijalima novih tehnologija, osiguravanje preventivnih i protektivnih globalnih strategija je od krucijalne važnosti. To je polje koje mahom pokriva ljubičasta biotehnologija, i u ovom kontekstu pomenućemo **Konvenciju o biološkom i toksičnom oružju**, koja je incijalno potpisana još 1972. godine, i kojom se osigurava kreiranje adekvatnih mera, procesa monitoringa i verifikacije protokola, kako bi se smanjile, i potpuno uklonile bioterorističke pretnje i razvoj biološkog oružja.



⁹ Cello J, Paul AV, Wimmer E. Chemical synthesis of poliovirus cDNA: generation of infectious virus in the absence of natural template. Science. 2002 Aug 9;297(5583):1016-8. doi: 10.1126/science.1072266. Epub 2002 Jul 11. PMID: 12114528.

4. Izazovi i buduće perspektive

Biotehnološki sektor često je predmet široke debate i interesovanja javnosti zbog potencijalnih implikacija koje može imati na društvo, životnu sredinu i individualna prava. Javno mišljenje i prihvatanje igraju ključnu ulogu u oblikovanju politika, regulativa i budućnosti biotehnološke industrije.

Spektar stavova je širok, od entuzijazma i podrške do zabrinutosti i skepticizma. Komunikacija sa javnošću, edukacija i transparentnost su ključni za izgradnju poverenja i pozitivnog odnosa prema biotehnološkim inovacijama.

Iako sektor biotehnologije ima ogroman potencijal da doprinese održivom razvoju, isto tako izaziva i zabrinutost zbog mogućih negativnih uticaja na životnu sredinu, biodiverzitet i socijalnu pravdu. Stoga je važno da biotehnološke kompanije razumeju potencijalne negativne implikacije i preduzmu adekvatne korake kako bi osigurale da su principi održivosti utkani u njihovo poslovanje.

Pionirska inicijativa započeta je krajem 2023. godine kao deo koraka koje Svetski ekonomski forum preduzima u pravcu održivog razvoja i ekonomske transformacije. [Centar za četvrtu industrijsku revoluciju](#), koji je osnovala Vlada Republike Srbije i Svetski ekonomski forum, jedan je od ključnih pokretača i vođa ove inicijative, koja će poslužiti kao temelj za unapređenje biotehnologije i bioekonomije na globalnom nivou.

Cilj inicijative jeste da podstakne dijalog, saradnju i inovacije u oblasti

industrije i ekonomije, kao i da prepozna važnost otključavanja i povećanja komercijalnog, ekonomskog i ekološkog potencijala bioekonomije.

Biotehnologija neminovno otvara nove mogućnosti za rešavanje kompleksnih problema u oblastima zdravstva, poljoprivrede, energetike i zaštite životne sredine, i samim time kreira nove prilike za inovacije, investicije i saradnju između nauke i industrije širom sveta.





www.preduzmi.rs