

# **ХЕМИЈСКИ ПРЕГЛЕД**

год. 56

бр. 5 (ноембар)

YU ISSN04406826

UDC 54.011.93

# ХЕМИЈСКИ ПРЕГЛЕД CHEMICAL REVIEW



Годиште 56

број 5  
новембар

Editor-in-Chief  
RATKO M. JANKOV  
Deputy Editor-in-Chief  
DRAGICA TRIVIĆ

Volume 56  
NUMBER 5  
(November)

Publisher  
SERBIAN CHEMICAL SOCIETY  
Belgrade/Serbia, Karnegijeva 4

Издаје  
СРПСКО ХЕМИЈСКО ДРУШТВО

Телефон 3370-467

Карнегијева 4

излази двомесечно

ОДГОВОРНИ И ГЛАВНИ УРЕДНИК  
Ратко М. Јанков

ПОМОЋНИК ОДГОВОРНОГ И ГЛАВНОГ  
УРЕДНИКА  
Драгица Тривић

ЧЛАНОВИ РЕДАКЦИЈЕ

Владимир Вукотић, Бранко Дракулић, Јелена Радосављевић  
и Воин Петровић

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР

Иван Гутман, Снежана Зарић, Јован Јовановић, Славко  
Кеврешан, Драган Марковић, Владимир Павловић,  
Радомир Саичић, Живорад Чековић (председник).

Годишња чланарина, укључује часопис „Хемијски преглед”,  
за 2015. годину износи:

- за запослене..... 1.800,00  
- за професоре у основним и средњим школама..... 1.000,00  
- за пензионере, студенте, ђаке и незапослене..... 800,00  
- претплата за школе и остале институције..... 3.500,00  
- за чланове и институције из иностранства. .... € 50

Чланарину и претплату можете уплатити на рачун СХД:  
205-13815-62, позив на број 320.

Web site: <http://www.shd.org.rs/hp/>  
e-mail редакције: [hempred@chem.bg.ac.rs](mailto:hempred@chem.bg.ac.rs)

Припрема за штампу: Јелена и Зоран ДИМИЋ,  
Светозара Марковића 2, 11000 Београд

Штампа: РИЦ графичког инжењерства Технолошко-  
металуршког факултета Београд, Карнегијева 4

Насловна страна и Интернет верзија часописа:  
Слободан и Горан Ратковић, [RatkovicDesign](http://RatkovicDesign.com)  
[www.ratkovicdesign.net](http://www.ratkovicdesign.net)  
[office@ratkovicdesign.net](mailto:office@ratkovicdesign.net)

## САДРЖАЈ

Милица ВУЊАК  
*Milica VUNJAK*

ПСИХОАКТИВНЕ СУПСТАНЦЕ: ПСИЛОЦИБИН  
*PSYCHOACTIVE COMPOUNDS: PSILOCYBIN* ..... 114

Јелена ПОПОВИЋ-ЂОРЂЕВИЋ, Ивана ЈЕВТИЋ  
*Jelena POPOVIĆ-DJORDJEVIĆ, Ivana JEVTIĆ*  
ФЛАВОНОИДИ – ПРИРОДНИ ПРОИЗВОДИ БИЉНОГ  
ПОРЕКЛА КАО ФАКТОР ОЧУВАЊА ЗДРАВЉА  
*FLAVONOIDS - HEALTH-PROMOTING NATURAL PRODUCTS*  
*FROM PLANT SOURCES* ..... 119

Соња М. ЈЕВТИЋ  
*Sonja M. JEVTIĆ*  
ЕЛЕКТРОДЕ НА БАЗИ УГЉЕНИКА: МОДИФИКАЦИЈА И  
АНАЛИТИЧКА ПРИМЕНА  
*CARBON BASED ELECTRODES: MODIFICATION*  
*AND ANALYTICAL APPLICATION* ..... 123

## ВЕСТИ ИЗ/ЗА ШКОЛЕ

Катарина ПУТИЦА, Драгица ТРИВИЋ  
*Katarina PUTICA, Dragica TRIVIĆ*  
ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНИ ПРИСТУП НАСТАВИ  
ПРИРОДНИХ НАУКА  
*INTERDISCIPLINARY APPROACH TO SCIENCE TEACHING* .. 132

## ТРИБИНА

Живорад ЧЕКОВИЋ  
СРПСКА ХЕМИЈСКА ДИЈАСПОРА - НАУЧНИ И  
СОЦИЈАЛНИ ПРОБЛЕМ СРБИЈЕ ..... 138



## УВОДНИК

Као што већ добро знате *Хемијски ирејлед* у свакој години излази као 6 независних бројева. Предвиђено је да бројеви излазе тако да то одговара школским (академским) годинама. Пошто ти бројеви излазе увек истог месеца, теме у уводницима одговарајућих бројева обично одређеног месеца слични по садржају. Тако су бројеви 4 различитих година у уводницима најчешће имали неке коментаре који су се тицали почетка школске године. У месецу новембру месецу (када излази број 5), најављивали смо дане када Српско хемијско друштво обележава годишњице свог постојања и рада. (Традиција је да почетком децембра сваке године Друштво организује Свечану скупштину поводом дана свог оснивања - 15. новембра 1897. године (по старом календару). Свега тога нема у овом броју, који у излажењу касни два месеца, због тога што није стигло довољно ауторских текстова. Надам се да ће ова "осека" прилива текстова (која траје више месеци и појачава се последњих) престати. Свечана скупштина СХД одржана је почетком децембра 2015., а да овај број 5. (из новембра) до тада није изишао из штампе. Каснимо без наше кривице и жеље.

\*\*\*

Уз све похвале ауторима који и даље пишу за *Хемијски ирејлед*, дајемо вам преглед сјајних чланака које можете прочитати у овом броју. Ту је најпре чланак о психолозици **Милице ВУЋАК**, студента биохемије са Хемијског факултета, под насловом "*Психоактивне сусјетнице: њилоцидин*", у коме можете наћи много интересантних података о халуциногеним супстанцама које се у природи могу наћи у неким врстама печурака. Ове супстанце су познате и коришћене хиљадама година у различитим деловима света за религиозне, ритуалне или лековите сврхе. Познато је више од сто различитих халуциногених ("магичних") печурака. У раду ћете наћи и податке о потенцијалним штетним или пак корисним ефектима психолозицина, за које се још увек веома мало зна.

\*\*\*

Флавоноиди представљају велику групу полифенолних једињења присутних у биљкама, која испољавају антиоксидативну активност. Све већи број истраживања доказује повољан утицај флавоноида на спречавање или успоравање настајања оксидативног стреса, патофизиолошког поремећаја који се јавља као последица повећања количине слободних радикала у организму. С обзиром на то да се велики број дегенеративних обољења као што су дијабетес, кардиоваскуларне болести и канцер повезују са оксидативним стресом, намирнице богате природним антиоксидансима су веома пожељне у људској исхрани као важан фактор за очување здравља. **Јелена ПОПОВИЋ-ЂОРЂЕВИЋ** (Пољопривредни факултет Универзитета у Београду) и **Ивана ЈЕВТИЋ** (Хемијски факул-

тет Универзитета у Београду) ауторке су чланка "*Флавоноиди – њиродни њроизводи диљној њорекла као факћор очувања здравља*" у коме можете наћи бројне интересантне податке како полифенолна једињења, која су широко заступљена у биљкама и доприносе хранљивости и органолептичким особинама воћа и поврћа као што су боја, мирис и укус.

\*\*\*

**Соња М. Јевтић**, студент докторских студија са ПМФ, Одсек за хемију Универзитета у Приштини (са привременим седиштем у Косовској Митровици), написала је интересантан чланак о угљеничним материјалима који се широко примењују и у аналитичкој и у индустријској електрохемији. Предности угљеничних електрода у односу на друге електродне материјале су ниска цена, широк опсег применљивих потенцијала (електрохемијски прозор), релативна инертност и изражена електрокаталитичка активност за различите редокс реакције. О својствима ових материјала који се сваким даном све више побољшавају разојем нових угљеничних материјала наћи ћете пуно интересантних података у чланку "*Елекћироде на бази уљњеника: модификација и аналитичка њримена*".

\*\*\*

Насупрот дисциплинарном приступу настави у оквиру кога се наставници строго држе садржаја само једног наставног предмета, интердисциплинарни приступ подразумева повезивање сродних садржаја из различитих наставних предмета у логичке целине организоване око одређеног проблема или теме У раду "*Интјердисциплинарни њристћуј настјави њиродних наука*" ауторки **Катарине ПУТИЦА** и **Драгице ТРИВИЋ** (Хемијски факултет Универзитета у Београду), а који је штампан у рубрици *Хемија из/за школе*, размотрене су карактеристике интердисциплинарног приступа настави природних наука уз конкретан пример примене овог приступа приликом обраде наставне теме *Варење*.

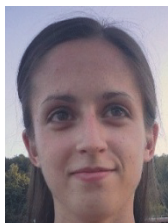
\*\*\*

За рубрику *Трибина* прилог о "*Срјској хемијској дијасћори*" као научном и социјалном проблему Србије написао је академик **Живорад Чековић**. Текст обухвата тек део списка великог броја младих, школованих и талентованих стручњака и научника, сјајних хемичара, који су током последњих четири-пет деценија отишли за стално из Србије, тј. којих се Србија "одрекла". У тексту су дати подаци до којих је дошао академик Чековић. Реални списак сјајних хемичара који су напустили Србију је знатно дужи, што значи да је ситуација још тежа. Вреди размишљати о томе (а по том нешто конкретно и учинити).

**Ратко М. Јанков**



## ЧЛАНЦИ



Милица ВУЊАК, студент биохемије, Хемијски факултет, Универзитет у Београду, Е-пошта: mivu92@gmail.com

### ПСИХОАКТИВНЕ СУПСТАНЦЕ: ПСИЛОЦИБИН

Халуциногене печурке су вековима познате човеку и коришћене најчешће у ритуалне сврхе. Међутим, хемијска својства активних супстанци из ових печурака су истражена тек пре око 60 година, а сви биохемијски иујтеви деловања активних супстанци и до данас нису познати. О иошеницијалним штејним или иак корисним ефектима псилоцибина још увек се веома мало зна.

Халуциногене супстанце се у природи могу наћи у неким врстама печурака, биљака и животиња. Ове супстанце су познате и коришћене хиљадама година различитим деловима света, за религиозне, духовне или лековите сврхе. Познато је више од сто различитих халуциногенних („магичних“) печурака, али ће у овом тексту бити речи о фамилији *Strophariaceae*, односно о роду *Psilocybe*. Најпознатије халуциногене печурке овог рода су *Psilocybe cubensis*, *Psilocybe semilanceata*, *Psilocybe cyanescens*, *Psilocybe mexicana* и *Psilocybe tampanensis* (Слика 1). *Psilocybe mexicana* и *Psilocybe tampanensis* су познате и као „философски камен“. Ове печурке се визуелно могу лако заменити са нејестивим отровним печуркама које не садрже псилоцибин.<sup>[1]</sup>



Слика 1. *Psilocybe cubensis*, *Psilocybe mexicana*, *Psilocybe tampanensis* (с лева на десно)<sup>[1]</sup>

Халуциногене печурке су широко распрострањене на Земљи, највише у Јужној и Средњој Америци, пошто им је за оптималан раст потребно влажно

земљиште, мања количина светла и виша температура, што одговара областима тропских шума (слика 2). Најчешћа халуциногена печурка у централној и северној Европи (Енглеска, Немачка, Норвешка) је *Psilocybe semilanceata*, познатија као „слободна капа“.<sup>[2]</sup>

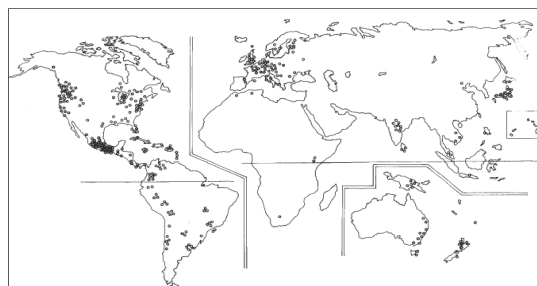


Fig. 19 - Distribution (localities) of the neurotropic species of *Psilocybe* through the world. Note the high concentration of localities in both NW and NE of U.S.A., Mexico, Caribbe, South America, Europe, India, Japan, New Guinea, eastern Australia and New Guinea.

Слика 2. Распрострањеност рода *Psilocybe* на Земљи<sup>[2]</sup>

### ИСТОРИЈАТ

Халуциногене печурке су део људске културе још од најраније забележене историје. Древне слике о људима који су јели печурке пронађене су у пећинама на северу Алжира и датирају из доба неолита од пре 5000 година п.н.е. У Централној и Јужној Америци су грађени храмови боговима печурака и прављене су камене печурке по којима су људи цртали религиозне мотиве (Слика 3).<sup>[3]</sup>

У Мексику је обожаван бог халуциногенних печурака чије слике су нађене на сачуваним украсним вазама (Слика 4). На основу сачуваних скулптура и цртежа који описују свакодневни живот тога времена, јасно је да су халуциногене печурке биле присутне у животу Маја и Астека. Астеци су поштовали божанство Ксочипила (Xochipilli), „принца цвећа“, који је по веровању бранио „цветне снеге“, како су називани халуциногени ритуали. Печурке које садрже псилоцибин су служене са медом на неким од најсветијих догађаја. Након што су Астеци поражени од стране Кортеза (Hernán Cortés) 1521. године, Европљани су забрањили конзумирање халуциногенних печурака.<sup>[4]</sup>



Слика 3. Мотиви печурака и камених скулптура печурака<sup>[4]</sup>

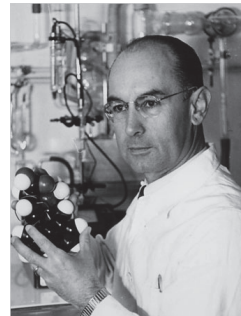
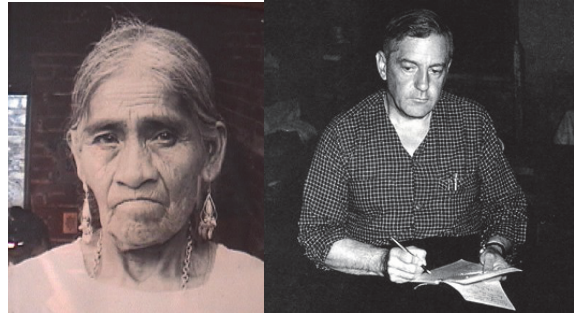


Слика 4. Мотиви печурака на вазама Маја и Астека<sup>[3]</sup>

Психоактивне печурке се и данас употребљавају у неким племенима у Мексику, као што је племе Мазатека (Mazatec). У племенским заједницама печурке су најчешће конзумирали врачеве, тзв. „шамани“, који су падали у транс и по њиховом веровању комуницирали са божанствима, у намери да сазнају како да излече одређену болест, или да предвиде судбину племена. Младићи су у одређеној доби ритуално јели халуциногене печурке, као део процеса кроз који су морали да прођу како би постали зрели мушкарци и ратници.<sup>[4]</sup>

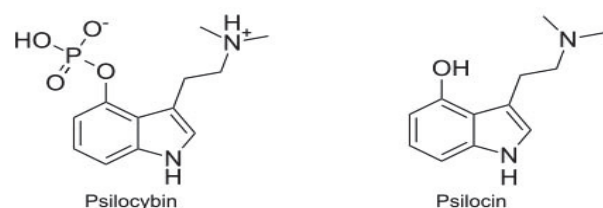
Један од последњих шамана пламена Мазатека је била Марија Сабина (María Sabina) која је живела до 1984. у јужном Мексику. Била је позната по томе што је „лечила“ људе печуркама које садрже псилоцибин, при чему је веровала да им „отвара врата ума“. Марију Сабину су посећивали људи заинтересовани за халу-

циногене печурке, између осталих и познате личности као што су Боб Дилан (Bob Dylan), Џон Ленон (John Lennon), Мик Џегер (Mick Jagger) и Кит Ричардс (Keith Richards).<sup>[4]</sup>



Слика 5. Марија Сабина, Роберт Васон и Алберт Хофман (с лева на десно)

1955. године Марију Сабину је посетио етномиколог Роберт Васон (Robert Gordon Wasson), који је и сам учествовао у халуциногеном ритуалу, након чега је понео споре халуциногених печурака у Париз и идентификовао их као *Psilocybe mexicana*. Споре су умножене у Европи, а швајцарски хемичар Алберт Хофман (Albert Hofmann, заслужан за откриће дроге LSD) је 1958. године идентификовао активне компоненте халуциногених печурака: псилоцибин и псилоцин (Слика 6). „*Psilo*“ на грчком значи огољен, а „*cybe*“, глава.<sup>[4]</sup>

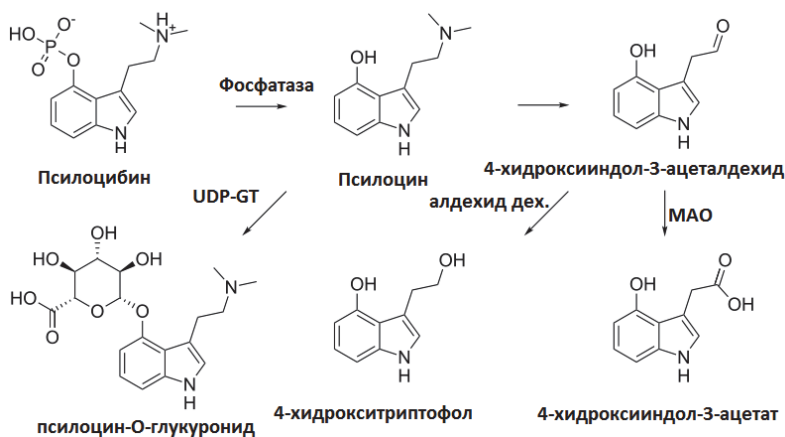


Слика 6. Структурна формула псилоцибина (лево) и псилоцина (десно) [5]

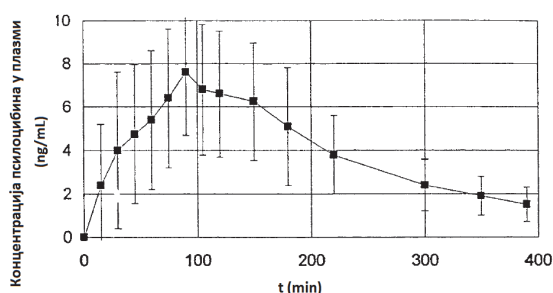
### ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКА СВОЈСТВА ПСИЛОЦИБИНА И ПСИЛОЦИНА

Псилоцибин (О-фосфорил-4-хидрокси-N,N-диметилтриптамин) и његов физиолошки активни дефосфорилувани метаболит псилоцин (4-хидрокси-N,N-диметилтриптамин) припадају групи индолалкиламина и структурно су слични неуротрансмитеру серотонину. Супституција индолног прстена на позицији четири је највероватније одговорна за халуциногене ефекте ових једињења. Псилоцибин и псилоцин

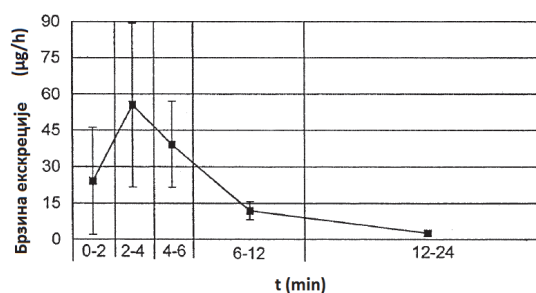
**Слика 7.** Структурна формула псилоцибина (лево) и псилоцина (десно) [5]



**Слика 7.** Метаболизам псилоцина и псилоцибина у хепатоцитима [5]



**График 1.** Промене концентрације псилоцибина у крвној плазми у зависности од времена [5]



**График 2.** Брзина излучивања псилоцибина урином након уношења 0.224 mg/kg [5]

су беле прашкасте супстанце. Псилоцибин је растворан у води, док се псилоцин боље раствара у неполарним растворачима. Оба једињења су добро растворена у метанолу и етанолу, што се користи за њихову екстракцију из сувих печурака. Оба једињења су нестабилна на светлу, а стабилна у мраку и на ниским температурама.<sup>[5]</sup>

Унет орално, псилоцибин се брзо дефосфорилише у мукозном ткиву, каталитичким деловањем алкалних фосфатаза и неспецифичних естераза. Након ингестије, 50% псилоцибина бива апсорбовано у дигестивном тракту, а остатак се системски преноси до органа где фосфатазама бива конвертован у псилоцин. Уколико је блокирана дефосфорилација, нпр.  $\beta$ -глицеролфосфатом, не испољавају се физиолошки ефекти псилоцибина.<sup>[5]</sup>

Ензим UDP-глукуронил-трансфераза глукуронидује псилоцин у ендоплазматичном ретикулуму хепатоцита. Настали псилоцин-О-глукуронид представља главни облик (80%) за излучивање из организма путем мокраће. Око 4% псилоцина улази у оксидативни метаболизам: деметиловањем и дезаминовањем преводи се до 4-хидроксииндол-3-ацеталдехида. Даље, алдехид дехидрогеназа и моноамин-оксидаза оксидују 4-хидроксииндол-3-ацеталдехид до 4-хидроксииндол-3-ацетатне киселине и 4-хидрокситриптофола (Слика 7).<sup>[5]</sup>

Како је псилоцин структурно веома сличан серотонину, он лако пролази крвно-моздану баријеру и може се детектовати у свим ткивима. Након оралног уношења наште, псилоцин се детектује у крви након 20 до 40 минута, а највећи ниво достиже након 80-105 минута. Уколико се уноси интравенозно, максимум концентрације у крвној плазми се детектује између 5-15 минута. Полуживот псилоцина у крвној плазми након оралног уноса је око 2,5 сата, а након интравенозног око 80 минута. Већина орално унетог псилоцибина бива елиминисана урином након 3 сата, а у потпуности након 24 сата. Период током кога се испољава физиолошки ефекат је између 4 и 6 сати. Доза која производи халуцинације код одрасле особе је 3-5 mg чисте супстанце.<sup>[5]</sup>

Највећа количина псилоцина је детектована у неокортексу, хипокампусу, екстрапирамидалном моторном систему и ретикуларној формацији мозга. Псилоцин и псилоцибин су агонисти серотонинских постсинаптичких рецептора  $5HT_{2A}$  и  $5HT_{1A}$ , за које се везују различитим афинитетима. Интеракција са  $5HT_{2A}$  рецептором се сматра узроком халуцинација. Према новијим подацима, псилоцин се везује и за допаминергичке  $D_2$  рецепторе, али само у стријатуму, без укључивања мезолимбичког система, тј. „пута награде“. Показано је да преко  $5HT_{2A}$  рецептора псилоцин инхибира активност дорзалног рафе нуклеуса.<sup>[6],[7]</sup>

## ФИЗИОЛОШКИ И ПСИХОЛОШКИ ЕФЕКТИ ПСИЛОЦИНА

Псилоцин повећава симпатичку активност, благо повећава систолни и дијастолни притисак, убрзава рад срца на 82-87 откуцаја по минути, али не утиче на температуру тела.<sup>[6]</sup> У табели 1 су дати најважнији соматски ефекти конзумирања псилоцибина, у студији са укупно 30 испитаника.

**Табела 1. Соматски симптоми након конзумирања 8-12 mg псилоцибина**<sup>[5]</sup>

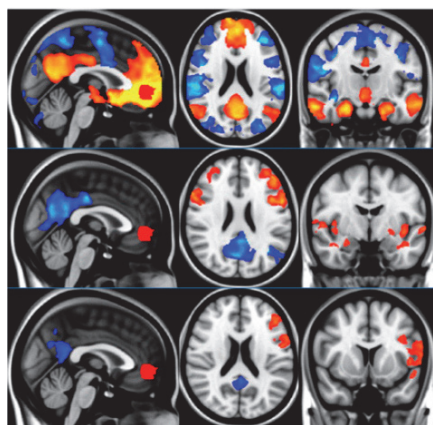
Симптом коришћења псилоцибина	% испитаника
<b>Фреквенција рада срца</b>	
Повећана	56%
Смањена	13%
Променљива	31%
<b>Артеријски крвни притисак</b>	
Хипотензија	34%
Хипертензија	28%
Нестабилан	22%
Без промене	16%
<b>Мучнина</b>	
44%	
<b>Успореност рефлекса</b>	
Повећана	80%
Смањена	6%
Без промене	13%
<b>Дисметрија</b>	
16%	
<b>Тремор</b>	25%

Најчешћи симптоми конзумирања псилоцибина су вртоглавица, слабост, тремор, мучнина, повраћање, поспаност, зевање, парестезија (осећај трњења) и замагљен вид. Псилоцин не утиче на биланс јона, ниво глукозе или концентрацију холестерола у крви, као ни на активност ензима крвне плазме (лактат дехидрогеназа, алкална фосфатаза, холинестераза и аспаргат аминотрансфераза). У мањим количинама не повећава ниво пролактина, кортизола и хормона раста, док у високим дозама повећава ниво кортикотропина и тиреотропина, при чему се концентрација ових хормона враћа на нормалан (почетни) ниво након 5 сати.<sup>[8]</sup>

Да би се одредила места деловања псилоцибина у мозгу коришћена је функционална магнетна резонантна томографија (fMRI), при чему је поређено нормално будно стање са психоделичним. Праћен је церебрални проток и оксигенација крви пре и после интравенозног уношења плацеба и псилоцибина. Највеће смањење (Слика 8) је уочено у регионима мозга где долази до укрштања великог броја нервних путева (таламус, антериорни цингуларни кортекс (ACC) и постериорни цингуларни кортекс (PCC)), као и у медијалном префронталном кортексу (mPFC). Степен смањења у вези је са интензитетом субјективног ефекта псилоцибина. Псилоцибин смањује везе између mPFC и PCC, што потврђује да физиолошки ефекат настаје због смањене активности и губљења веза у кључним деловима мозга у којима долази до укрштања великог броја нервних путева.<sup>[9],[10]</sup>

Псилоцибин узрокује стање налик спавању, промену перцепције слика, самоперцепције, илузије, халуцинације, синестезију ("уједињење чула") и дереализацију. Такође, мења перцепцију времена и простора, смањује пажњу, доводи до неубичајених идеја и мења целокупно расположење. Ређе може да проузрокује и анксиозност, нервозу, повећа емоционалну надражљивост и осетљивост читавог организма.<sup>[8],[11]</sup>

Након конзумирања псилоцибина код групе волонтера су запажене углавном позитивне психолошке промене. Волонтери који никада нису конзумирали психоделике су након конзумирања псилоцибина искуство описали као јединствено, које им је донело позитивне промене у понашању и у односу са људима. Истраживања од 1998. до 2008. године су показала да већина испитаника описује конзумирање псилоцибина као пријатно искуство. Међутим, око 8% испитаника је пријавило негативно дејство супстанце на психолошко стање.<sup>[12]</sup>



**Слика 8.** Промене функционалних веза индукваних псилоцибином у медијалном префронталном кортексу мозга (наранџасте регије показују већу, а плаве мању активност)<sup>[9]</sup>

Рађена су и испитивања могуће примене псилоцибина за лечење зависности од алкохола и лечење опсесивно-компулзивне болести (OCD). У прелиминарним студијама, један од испитаника оболео од OCD након конзумирања псилоцибина није имао симптоме болести наредних пет месеци. Такође је показано да псилоцибин има позитиван психолошки утицај на болеснике који се налазе у крајњем стадијуму карцинома.<sup>[6]</sup>

## ТОКСИЧНОСТ И ШТЕТНИ ЕФЕКТИ ПСИЛОЦИБИНА

До сада није пронађен ни један знак токсичности псилоцибина у органима пацова, мишева и зечева. Леталност псилоцибина се огледа у томе да особа услед халуцинација може да се повреди или изврши самоубиство. Студије на животињама су показале да се предозирање постиже са 19 mg чистог псилоцибина, што је многоструко већа доза од оне која производи халуциногени ефекат (3 mg или 5 mg). Међутим, претпоставља се да би услед насталих аритмија и, уопште

узив, симпатомиметичког ексцитационог синдрома могло доћи до смрти човека и при примени мањих доза.<sup>[13]</sup>

Штетни ефекти псилоцицина су истражени на великој групи од две хиљаде волонтера. Најчешћи штетни ефекти након једног конзумирања псилоцибина су анксиозост, параноја, дереализација, деперсонализација и психотичне реакције. Хронично узимање псилоцибина развија толеранцију, што смањује могућност формирања зависности. Студије на мајмунима су показале да након првог узимања псилоцибина животиње не показују тежњу да узму нову дозу. Псилоцин не изазива зависност, поштоне утиче директно на мезолимбички допаминергички пут и самим тим не активира систем "унутрашње награде" организма.<sup>[14]</sup>

Конзумирање псилоцибина повећава могућност индуковања шизофреније код особа које имају предиспозицију за ову болест, јер су повећани психосоматски симптоми као што су: сметње у перцепцији, мишљењу, емоцијама, промене у обради информација, повећана мождана активност и индукција хипер-допаминергичког стања у стријатуму. Настанак шизофреног стања се објашњава чињеницом да су атипични антипсихотици (лекови избора за лечење шизофреније) антагонисти серотонинских рецептора, док псилоцибин има агонистички ефекат. Такође, настанак шизофреније се повезује и са агонистичким дејством псилоцибина на допаминергичке рецепторе у стријатуму. Рађена су истраживања у којима је показано да се радиоактивно обележени раклоприд, антагонист допаминергичких рецептора, у присуству псилоцибина мање везује за рецепторе у стријатуму. Ово указује да псилоцибин утиче на повећање садржаја допамина у стријатуму, што се повезује са настанком психоза и шизофреније.<sup>[6],[15]</sup>

## ЗАКЉУЧАК

Халуциногене супстанце пореклом из гљива су људима познате вековима, а једна од најдуже коришћених је псилоцибин. Откриће структуре псилоцибина и активног метаболита псилоцицина расветлило је многе путеве њиховог физиолошког дејства. Ипак, највећи број механизма везаних за физиолошко деловање у мозгу није разјашњен. Псилоцин припада групи најпотентнијих халуциногенних супстанци, при чему конзумирање изгледа не узрокује настанак зависности. Могућа примена псилоцибина за лечење опсеивно-компулзивних поремећаја је предмет контраверзи, због његовог потентног халуциногеног ефекта чију јачину није могуће (ис)контролисати. Иако нису показани токсични ефекти псилоцибина на експерименталним животињама, потребно је у будућности спровести подробније студије. Да би била озбиљно разматрана употреба псилоцибина као медикамента, потребна су опсежна испитивања евт. везе између употребе псилоцибина/псилоцицина и настанка психичких поремећаја, пре свега шизофреније. Даља истраживања су потребна и да би се на молекулском ни-

воу разјаснили сви биохемијских путеви деловања ових супстанци.

## Abstract

### PSYCHOACTIVE COMPOUNDS: PSILOCYBIN

**Milica VUNJAK**, Student of Biochemistry, Faculty of chemistry, University of Belgrade

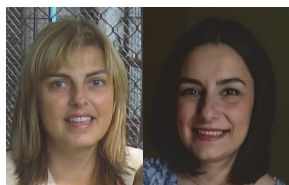
Compounds inducing hallucinogenic effects could be found in plants, animals and some species of the mushrooms. These compounds are known and used by humans in the spiritual, religious or remedial purposes for centuries. One of the most potent hallucinogen found in the mushrooms is psilocybin. Its active metabolite psilocin induces decreased neural connections in the brain and thus decreases brain activity, which causes numerous physiological effects. All biochemical pathways and mechanisms in the brain affected by psilocybin are still not known. Consequently, further investigations are warranted.

## ЛИТЕРАТУРА

1. John W. Allen and Prakitsin Sihononth, 2012. Ethnomycological Journals: Sacred mushroom studies., Seattle, Washington, U.S.A.: MAPS.
2. Gaston Guzman, John W. Allen and Jochen Gartz, G.G., 1998. A worldwide geographical distribution of neurotrophic fungi, an analysis and discussion. *Arch. Rep.*, 14, 189-280.
3. Gaston Guzman, AA, 2008. Hallucinogenic Mushrooms in Mexico: An Overview. *Economic Botany*, 62(3), 404-412.
4. John W. Allen, 1977. Magic Mushrooms Third World Countrie, Washington, USA, *PsillyPublications*.
5. Torsten Passie, Juergen Seifert, Udo Schneider & Hinderk M. Emrich, 2002. INVITED REVIEW: The pharmacology of psilocybin. *Addiction Biology*, 7, 357-364.
6. Filip Tylš, Tomáš Páleníčka, Jiří Horáček, 2014. REVIEW Psilocybin – Summary of knowledge and new perspectives. *European Neuropsychopharmacology*, 24, 342-356.
7. Olivia L Carter, John D Pettigrew, Felix Hasler, Guy M Wallis, Guang B Liu, Daniel Hell and Franz X Vollenweider, 2005. Modulating the Rate and Rhythmicity of Perceptual Rivalry Alterations with the Mixed 5-HT<sub>2A</sub> and 5-HT<sub>1A</sub> Agonist Psilocybin. *Neuropsychopharmacology*, 30, 1154-1162.
8. Erich Studerus, Michael Kometer, Felix Hasler and Franz X Vollenweider, 2010. Acute, subacute and long-term subjective effects of psilocybin in healthy humans: a pooled analysis of experimental studies. *Journal of Psychopharmacology*, 25, 1434-1452.
9. Robin L. Carhart-Harris, David Erritzoea, Tim Williams, James M. Stone, Laurence J. Reeda, Alessandro Colasanta, Robin J. Tyacke, Robert Leech, Andrea L. Malizia, Kevin Murphye, Peter Hobden, John Evans, Amanda Feilding, Richard G. Wise, and David J. Nutt, 2012. Neural correlates of the psychedelic state as determined by fMRI studies with psilocybin. *PNAS*, 109, 2138-2143.
10. R. L. Carhart-Harris, R. Leech, T. M. Williams, D. Erritzoe, N. Abbasi, T. Bargiotas, P. Hobden, D. J. Sharp, J. Evans, A. Feilding, R. G. Wise and D. J. Nutt, 2012. Implications for psychedelic-assisted psychotherapy: a functional magnetic resonance imaging study with psilocybin. *The British Journal of Psychiatry*, 3, 1-7.
11. Marc Wittmann, Olivia Carter, Felix Hasler, B. Rael Cahn, Ulrike Grimberg, Philipp Spring, Daniel Hell, Hans Flohr, Franz X. Vollenweider, 2007. Effects of



- psilocybin on time perception and temporal control of behaviour in humans. *Journal of Psychopharmacology*, 21, 50-64.
12. R. R. Griffiths & W. A. Richards & U. McCann & R. Jesse, 2006. Psilocybin can occasion mystical-type experiences having substantial and sustained personal meaning and spiritual significance. *Psychopharmacology*, 187, 268-283.
  13. Jan van Amsterdam, Antoon Opperhuizen, Wim van den Brink, 2011. Harm potential of magic mushroom use: A review. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 59, 423-429.
  14. Marie-Laure Espiard, Laurent Lecardeur, Pascale Abadie, Isabelle Halbecq, Sonia Dollfus, 2005. Hallucinogen persisting perception disorder after psilocybin consumption: a case study. *European Psychiatry*, 20, 458-460.
  15. Franz X. Vollenweider, Peter Vontobel, Daniel Hell, and Klaus L. Leenders, 1999. 5-HT Modulation of Dopamine Release in Basal Ganglia in Psilocybin-Induced Psychosis in Man: A PET Study with [<sup>11</sup>C]raclopride. *Neuropsychopharmacology*, 20, 422-233.



Јелена ПОПОВИЋ-ЂОРЂЕВИЋ<sup>1</sup>, Ивана ЈЕВТИЋ<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду, Немањина 6, 11080, Београд, Србија, <sup>2</sup>Хемијски факултет, Универзитет у Београду, Студентски трг 12-16, 11000, Београд, Србија, Е-пошта: [jelenadj@agrif.bg.ac.rs](mailto:jelenadj@agrif.bg.ac.rs)

## ФЛАВОНОИДИ – ПРИРОДНИ ПРОИЗВОДИ БИЉНОГ ПОРЕКЛА КАО ФАКТОР ОЧУВАЊА ЗДРАВЉА

Флавоноиди представљају велику групу полифенолних једињења присујних у биљкама, која испољавају антиоксидативну активност. Све већи број истраживања доказује повећан утицај флавоноида на спречавање или успоравање настајања оксидативног стреса, физиолошкој поремећаја који се јавља као последица повећања количине слободних радикала у организму. С обзиром на то да се велики број дегенеративних обољења као што су дијабетес, кардиоваскуларне болести и канцер повезују са оксидативним стресом, намирнице боље природним антиоксидансима су веома пожељне у људској исхрани као важан фактор за очување здравља.

### ПОЛИФЕНОЛНА ЈЕДИЊЕЊА И ОКСИДАТИВНИ СТРЕС

Савремено друштво се одликује многим нездравим навикама у исхрани. Конзумирање брзе хране, пуне масти и шећера, као и недовољан унос здравих намирница, доводи до неравнотеже у исхрани. Неизбалансирана исхрана окидач је за настајање различитих болести. Стога је од виталног значаја да се установи састав и хранљиве вредности намирница. Последњих деценија, епидемиолошке и биохемијске студије су показале јасну и значајну повезаност између уноса природних прехранбених производа и смањења појаве гојазности, дијабетеса, болести срца, канцера и других дегенеративних болести. Резултати многих истраживања доводе ове болести у везу са поремећајем који се зове "оксидативни стрес", који настаје када се у организму повећају количине оксиданата. [1-3] Оксиданти су активне кисеоничне и азотне врсте (супероксидни радикал, хидроксил-радикал, перокси-радикал, азотоксидни радикал) који настају нормално у малим количинама као производ аеробног метаболизма. [4-8] Оксиданти такође настају посредством различитих

врста зрачења (X - зрачење, УВ, микроталасно зрачење). Активне кисеоничне и азотне врсте су у већим количинама штетне за ћелије, али у организму постоје антиоксидативни механизми који ниво оксиданата држе под контролом. Сви еукариотски организми поседују моћне ензиме-антиоксидансе. Три велике класе ензима-антиоксиданаса су: супероксид-дисмутазе, каталазе и глутатион-пероксидаза. Додатно, постоји велики број специфичних ензима-антиоксиданаса који реагују са оксидационим једињењима за детоксификацију. Познати су и неензимски механизми који подржавају учешће антиоксидативних витамина као што су аскорбинска киселина (витамин Ц), α-токоферол (витамин Е) и β-каротен (провитамин А) али и других фитохемикалија које имају антиоксидативно дејство. [9-11] Под одређеним патофизиолошким условима, а који могу бити последица неуравнотежене исхране, или последица старења организма, количина оксиданата у ћелијама се повећава и долази до "оксидативног стреса". Коришћење намирница биљног порекла, које су богате природним антиоксидансима, спречава или успорава настајање оксидативног стреса, а самим тим смањује вероватноћу настајања различитих дегенеративних поремећаја, поменутих раније.

Новије студије указују да су полифенолне супстанце, главне фитохемикалије са антиоксидативним својствима, изоловане из виших биљака. [12] Унос полифенолних једињења представља важан фактор за заштиту здравља. Ова биоактивна једињења успоравају и/или спречавају аутооксидацију масти тако што делују као "чистачи" радикала па су због тога најважнији антиоксиданси који спречавају ширење оксидативног ланца. Експерименти урађени на животињским и људским ћелијским линијама показали су да полифеноли могу имати улогу у спречавању настајања канцера и кардиоваскуларних болести, уколико се

свакодневно уносе у одговарајућим количинама. [12-18]

Полифенолна једињења су широко заступљена у биљкама и доприносе хранљивости и органолептичким особинама воћа и поврћа као што су боја, мирис и укус (најчешће дају горак и опор укус биљкама због интеракције фенола и гликопротеина из плувачке). [12] Састав полифенола у биљкама варира од сорте до сорте и зависи од различитих фактора као што су степен зрелости, изложеност сунчевој светлости, температура, минерална прихрана итд. Фенолни профил биљке важан је параметар за разликовање (карактеризацију) различитих делова воћа и поврћа.

Под именом полифеноли, подразумева се велика група структурно разноврсних фенолних једињења, секундарних метаболита биљака, који имају значајну улогу у биљном метаболизму. Такође имају и структурну улогу у одређеним ткивима. До сада је из виших биљака изоловано и окарактерисано преко 8000 различитих фенолних једињења. Заједничко за све њих је да поседују ароматични прстен, једну или више хидроксилних група а њихова структура може обухватати једињења са једним фенолним језгром до комплексних полимера са великом молекулском масом. [19] Од броја и положаја хидроксилне групе као и природе супституената на ароматичним језгрима зависи антиоксидативна активност полифенола. У природи се ова једињења најчешће јављају удружена са моно и полисахаридима који су повезани преко једне или више фенолних група. Фенолне киселине, пре свега бензоева и циметна, као и флавоноиди најзаступљенији су полифеноли у исхрани са 30 од 60%. [20]

У људску исхрану, полифенолна једињења најчешће долазе из воћа, поврћа и напитака (сокови, вина или чајеви). Количина и квалитет ових једињења разликује се код различитих сорти, а зависи и од начина обраде и чувања. Осим природних, у прехранбеној индустрији се још увек користе синтетички полифеноли као што су бутиловани хидроксианизол (БХА), бутиловани хидрокситолуен (БХТ) и терц-бутилхидрохинон (ТБХХ). Употреба ових једињења је све мања јер се у први план коришћења стављају природни антиоксиданси због њихове веће безбедности.

## ХЕМИЈСКА СТРУКТУРА И БИОЛОШКА АКТИВНОСТ

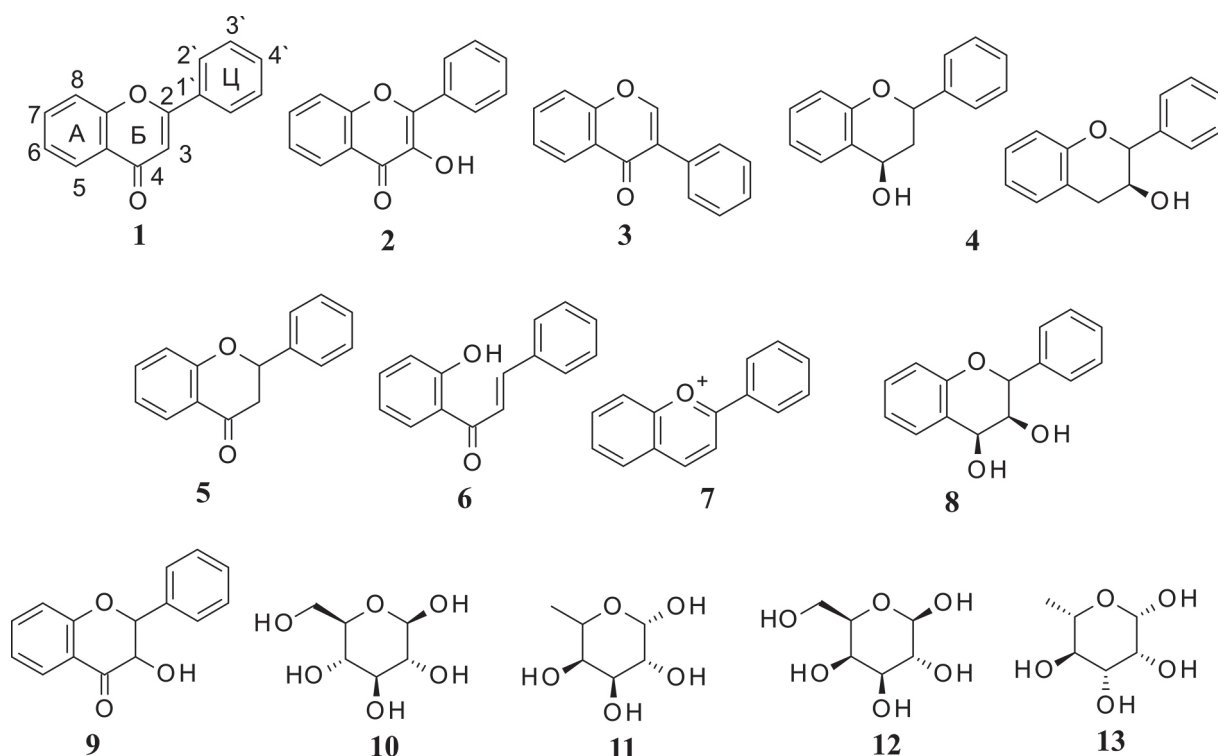
Флавоноиди представљају велику групу структурно сродних једињења са хроманским скелетом и фенил супституентима у положају Ц-2 или Ц-3. У положајима 3, 5, 7, 3', 4' или 5' често садрже хидрокси, метокси или ацетилокси групе. У биљкама се најчешће јављају као О-гликозиди, са шећерном компонентом везаном за хидроксилну групу агликона у положају 3 или 7. Ц-гликозиди су ређи и они поседују шећерну компоненту везану за положај Ц-6 или Ц-8 агликона. По начину супституисања Ц-прстена и по способности оксидације, разликују се поједине класе флавоноида. Основне класе флавоноида као и структуре мо-

носахарида који најчешће граде гликозиде са њима, приказане су на **слици 1**.

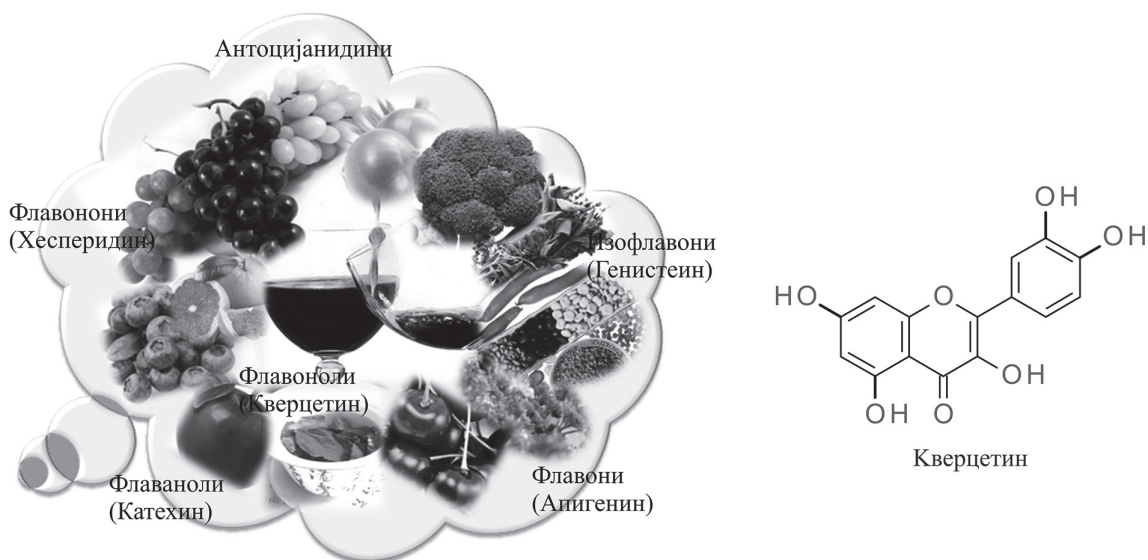
Флавоноиди су пигменти који доприносе плавим, љубичастим и наранџастим бојама лишћа, цвећа и воћа. [21] Осим у различитим врстама воћа и поврћа, флавоноиди се налазе и у семенкама, зрнељу, зачинском и лековитим биљу, затим у напцима добијеним ферментацијом или екстракцијом биљних сировина, као што су вино, пиво и чај. [22] Сви флавоноиди се у биљкама синтетишу из ароматичних аминокиселина, фенилаланина и тирозина, и малонил-коензима А, преко општег фенилпропаноидног пута (**шема 1**). [22] Биосинтеза флавоноида је сложен процес који се одвија у цитоплазми и у ком учествује мултиензимски комплекс познат као флавоноидни метаболон. [23] Сви интермедијери који настају на биосинтетичком путу флавоноида, прекурсори су различитих флавоноидних структура у оквиру одређене класе.

Улога флавоноида у биљкама је разноврсна и односи се на њихова органолептичка и антиоксидативна својства. Мирисом и бојама које дају биљкама, привлаче инсекте и потпомажу опрашивање, а на исти начин одбијају непожељне инсекте који оштећују биљку. Флавоноиди су катализатори светле фазе фотосинтезе и регулатори канала гвожђа које учествује у фосфорилацији. Својим антиоксидативним способностима штите биљку од слободних радикала који настају у процесу фотосинтезе или под дејством УВ зрачења. Неке од биљних намирница које садрже различите флавоноиде приказане су на **слици 2**.

У последње време велики број истраживања бави се уделом флавоноида у заштитној улози воћа, поврћа и другог конзумног биља, на људски организам. [24-30] Обимна „*in vitro*“ истраживања показала су ефикасност флавоноида као антиоксиданаса, као и везу антиоксидативне активности флавоноида и њихове структуре. [31] Неколико „*in vitro*“, „*ex vivo*“ и проучавања на животињама, показало је да њихова антиоксидативна активност може бити веома значајна и за здравље животиња. [32] Нажалост, докази о деловању на људе су ограничени и повремено контроверзни. [33] Податке о биолошким маркерима као нпр. ниво флавоноида и њихових метаболита у крви није увек могуће сакупити, што отежава одређивање посебне и комбиноване улоге флавоноида и осталих антиоксиданаса. Недавно је доказано да се флавоноиди из хране у мањој мери апсорбују или у облику гликозида или као агликони. Оба апсорбована облика показују антиоксидативну активност у „*in vivo*“ експериментима. На њихову апсорпцију утичу остали састојци хране. Протени се везују за полифеноле, и тако смањују њихову апсорптивност. Масти и алкохол је повећавају. Обзиром да се флавоноиди већим делом разграђују до фенолних киселина, у људском дигестивном тракту и тако излучују, дозвољен унос је прилично висок, (50-800 мг/дан), у односу на нпр. витамин Ц (70 мг/дан). [34] У више епидемиолошких студија, доказан је повољан утицај флавоноида на плућне и кардиоваскуларне болести. [35] Испитаници су конзумирали воће,



**Слика 1.** Основне класе флавоноида (А) и структуре моносахарида (Б) са којима граде гликозиде у биљкама: (А) 1. флавон; 2. флавонол; 3. изофлавонол; 4. флаванон; 5. флаванон; 6. калкон; 7. антоцијанидин; 8. флавандиол; 9. флаванонол; (Б) 10.  $\beta$ -Д-глюкоза; 11. Л-арабиноза; 12.  $\beta$ -Д-галактоза; 13. Л-рамноза.



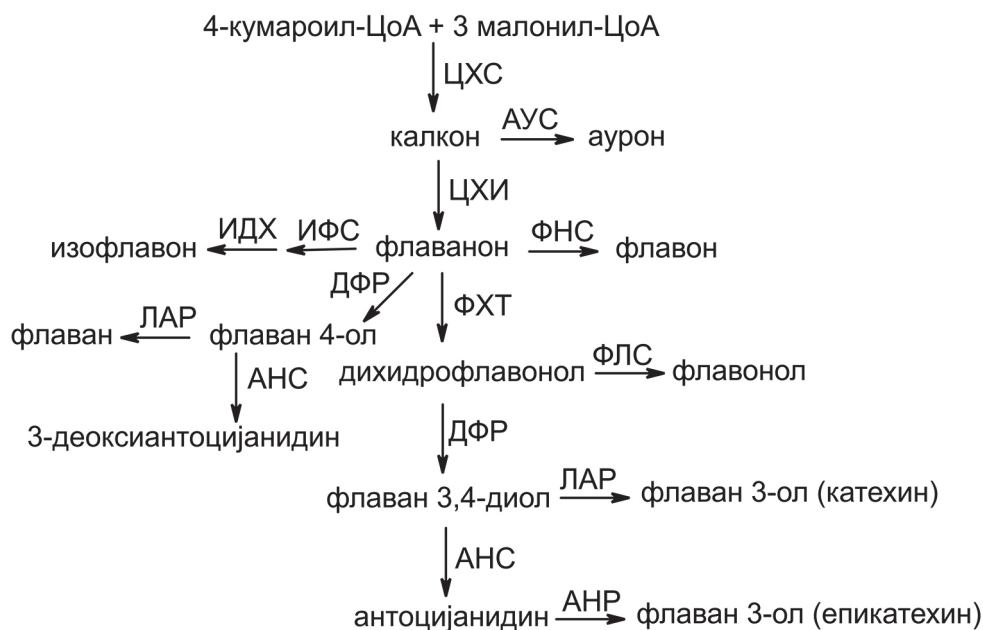
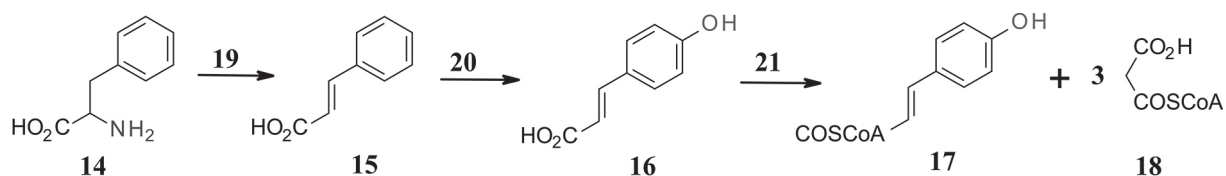
**Слика 2.** Намирнице богате појединим флавоноидима; кверцетин (флавонол) веома је заступљен у грозђу и вину

поврће, чајеви и вино, богате флавоноидима и студије су показале смањењу смртност у случају ових болести.[36,37]

### МЕТОДЕ ЗА АНАЛИЗУ ФЕНОЛНИХ ЈЕДИЊЕЊА У БИЉНИМ УЗОРЦИМА

Анализа фенолних једињења у биљним узорцима је компликована због њихове велике структурне раз-

ноликости и недостатка одговарајућих стандарда. Методе за изоловање флавоноида зависе од количине и врсте материјала који се испитује (биљни узорци, храна, пиће) и од врсте флавоноидних једињења која се испитују. [38] Погодним методама флавоноиди се екстрахују из полазног материјала и пречишћавају, а затим се даље квалитативно и квантитативно испитују инструменталним методама: колориметријске мето-



**Шема 1.** Фенилпропаноидни пут: синтеза флавоноида из фенилаланина и малонил-ЦоА, уз помоћ мултиензимског комоплекса: **14.** фенилаланин; **15.** циметна киселина; **16.** п-кумаринска киселина; **17.** 4-кумароил-ЦоА; **18.** малонил-ЦоА; **19.** ПАЛ, фенил амонијак-лијаза; **20.** Ц4Х, цинамат 4-хидроксилаза; **21.** 4ЦЛ, 4-кумароил ЦоА-лигаза; ЦХС, калкон синтаза; ЦХИ, калкон изомераза; АУС, аурон синтаза; ФНС, флавонон синтаза; ИФС, 2-хидроксиизофлаванон синтаза; ИДХ, 2-хидроксиизофлаванон дехидратаза; ДФР, дихидрофлавонол 4-редуктаза; ФХТ, флаванон 3-хидроксилаза; ФЛС, флавонол синтаза; ЛАР, леукоантоцијанидин редуктаза; АНС, антоцијанидин синтаза; АНР, антоцијанидин редуктаза.

де, [39-43] УВ/ВИС и луминисцентна спектрофотометија, течна хроматографија или (ЛЦ, ЛЦ-МС, ЛЦ-МС/МС), гасна хроматографија (ГЦ), капиларна електрофореза. [44]

## ЗАКЉУЧАК

Флавоноиди, природни антиоксиданси, представљају велику групу једињења сродне структуре, са хроманским скелетом и фенил супституентима у положају Ц-2 или Ц-3. У биљкама осим што доприносе органолептичким особинама, имају структурну и метаболичку улогу као антиоксиданси. Резултати “*in vitro*” и “*in vivo*” истраживања говоре у прилог тврдњи да антиоксидативна активност флавоноида, знатно доприноси одбрани организма људи од штетног дејства слободних радикала као што су супероксидни, хидроксили и пероксидни, као и азот-оксидни радикали. Садржај флавоноида у намирницама биљног порекла одређује се инструменталним методама. Конзумирање намирница биљног порекла богатих антиоксидансима, доприноси правилном начину исхране и очувању здравља.

## Abstract

FLAVONOIDS - HEALTH-PROMOTING NATURAL PRODUCTS FROM PLANT SOURCES

Jelena POPOVIĆ-DJORDJEVIĆ<sup>1</sup>, Faculty of Agriculture, University of Belgrade

Ivana JEVTIĆ<sup>2</sup>, Faculty of Chemistry, University of Belgrade

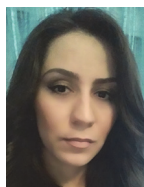
Flavonoids are a large group of polyphenolic compounds, present in plants, which exhibit antioxidant activity. Many recent studies show beneficial effect of flavonoids on preventing or slowing the formation of oxidative stress, pathophysiological disorders that occur as a result of increasing amounts of free radicals in the body. Given that a large number of degenerative diseases such as diabetes, cardiovascular disease and cancer are associated with oxidative stress, foods rich in natural antioxidants represent an important factor in human nutrition and health.

This paper was written as a part of the project No.172032 of Ministry of Education, Science and Technological Development of Republic of Serbia.

Рај је написан у оквиру пројекта др. 172032 Министарства просвете, науке и технолошкој развоја Републике Србије.

## ЛИТЕРАТУРА

1. D. Blake, P. G. Winyard, *Immunopharmacology of Free Radical Species*; Academic Press, San Diego, 1995.
2. D. J. Harman, *Gerontology*, **11**, (1956), 289.
3. B. Halliwell, J. M. C. Gutteridge, *Free Radicals in Biology and Medicine*, Oxford University Press, Oxford, 1998.
4. H. Sies, *Oxidative stress, introductory remarks: Oxidative Stress*, Academic Press, London, 1985.
5. H. Sies, *Angewandte Chemie*, International Edition in English, **25**, (1986), 1058.
6. H. Sies, *Oxidative stress, introduction: Oxidative Stress: Oxidants and Antioxidants*, Academic Press, London, 1991.
7. H. Sies, *European Journal of Biochemistry*, **215**, (1993), 213.
8. H. Sies, *Strategies of antioxidant defense, relations to oxidative stress: Signalling Mechanisms from Transcription Factors to Oxidative Stress*, Springer Verlag, Berlin, 1995.
9. M. G. Traber, H. Sies, *Annual Reviews in Nutrition*, **16**, (1996), 321.
10. K. Briviba, H. Sies, *Nonenzymatic antioxidant defense systems: Natural Antioxidants in Human Health and Disease*, Academic Press, Orlando, FL, USA, 1994.
11. W. Stahl, H. Sies, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, **336**, (1996), 1.
12. D. Jin, R.J. Mumper, *Molecules*, **15**, (2010), 7313.
13. H.H. Wijngaard, C. Röble, N. Brunton, *Food Chemistry*, **116**, (2009), 202.
14. A.T. Hoye, J.E. Davoren, P. Wipf, M.P. Fink, V.E. Kagan, *Accounts of Chemical Research*, **41**, (2008), 87.
15. W.R. Sawadogo, A. Maciuk, J.T. Banzouzi, P. Champy, B. Figadere, I.P. Guissou, O.G. Nacoulma, *Natural Products Research*, **26**, (2012), 575.
16. C.A. Pieme, V.N. Penlap, J. Ngogang, M. Costache, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **29**, (2010), 223.
17. S. Ramos, *Molecular Nutrition and Food Research*, **52**, (2008), 507.
18. V. Slivova, G. Zaloga, S.J. DeMichele, P. Mukerji, Y.S. Huang, R. Siddiqui, K. Harvey, T. Valachovicova, D. Sliva, *Nutrition and Cancer*, **52**, (2005), 66.
19. L. Bravo, *Nutrition Reviews*, **56**, (1998), 317.
20. A. King, G. Young, *Journal of the American Dietetic Association*, **99**, (1999), 213.
21. R. Brouillard, A. Cheminat, *Progress in Clinical and Biological Research*, **280**, (1988), 93.
22. G. Forkmann, W. Heller, *Biosynthesis of flavonoids: Comprehensive Natural Products Chemistry*, Elsevier: Oxford, UK, 1999.
23. J. Kuhnau, *World Review of Nutrition and Dietetics*, **24**, (1976), 117.
24. D. Ingram, K. Sanders, M. Kolybaba, M. Lopez, *Lancet*, **983**, (1997), 990.
25. G. Block, B. Patterson, A. Subar, *Nutrition and Cancer*, **17**, (1992), 1.
26. B. C. Frei, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **35**, (1995), 83.
27. K. F. Gei, *Journal of Nutritional Biochemistry*, **6**, (1995), 206.
28. M. W. Gillman, L. A. Cupples, D. Gagnon, B. M. Posner, C. Ellison, W. P. Castelli, P. Wolf, *Journal of the American Medical Association*, **273**, (1995), 1113.
29. A. R. Ness, J. W. Powles, *International Journal of Epidemiology*, **6**, (1997), 1.
30. J. Peterson, J. Dwyer, *Nutrition Research*, **12**, (1998), 1995.
31. P.-G. Pietta, *Journal of Natural Products*, **63**, (2000), 1035.
32. S. Gorinstein, E. Barnitkowska, G. Kulasek, M. Zemser, S. Trachtenberg, *Journal of Nutrition*, **128**, (1998), 2023.
33. W. Wang, M. T. Goodman, *Nutrition Research*, **19**, (1999), 191.
34. R. A. Larson, *Phytochemistry*, **27**, (1988), 969.
35. M. G. L. Hertog, M. B. Katan, *Flavonoids in Health and Disease*, Marcel Dekker: New York, 1998.
36. P. Knekt, R. Jarvinen, A. Reunanen, J. Maatela, *British Medical Journal*, **312**, (1996), 478.
37. E. B. Rimm, M. B. Katan, A. Ascherio, M. Stampfer, W. C. Willet, *Annals of Internal Medicine*, **125**, (1996), 384.
38. E. de Rijke, P. Out, W. M.A. Niessen, F. Ariese, C. Gooijer, U. A.Th. Brinkman, *Journal of Chromatography A*, **1112**, (2006), 31.
39. R. G. Woisky, A. Salatino, *Journal of Apicultural Research*, **37**, (1998), 99.
40. F. Pourmorad, S. J. Hosseinimehr, N. Shahabimajd, *African Journal of Biotechnology*, **5** (2006), 1142.
41. J. Zhishen, T. Mengcheng, W. Jianming, *Food Chemistry*, **64**, (1999), 555.
42. M. Nagy, D. Grancai, *Pharmazie*, **51**, (1996), 100.
43. V. L. Singleton, J. A. Rossi, Jr. *American Journal of Enology and Viticulture*, **16**, (1965), 144.
44. E. de Rijke, A. Z.-G'omez, F. Ariese, U.A.Th. Brinkman, C. Gooijer, *Journal of Chromatography A*, **932**, (2001), 55.



Soňa M. JEVTIČ, *студент докторских студија*, ПМФ, Одсек за хемију Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, e-mail: jevticsonja88mail.com

## ЕЛЕКТРОДЕ НА БАЗИ УГЉЕНИКА: МОДИФИКАЦИЈА И АНАЛИТИЧКА ПРИМЕНА

Угљеник је петнаести најраспрострањенији елемент у Земљиној кори, четврти по распрострањености у свемиру [1]. Фасцинантан је број различитих кристалографских и алотропских облика које угљеникови атоми формирају међусобно се везујући на раз-

личите начине. Разноврсна структура за последицу има разноврсне физичке, хемијске и друге особине што их чини применљивим у најразличитијим областима науке и технологије: активни угаљ се користи за процишћавање воде и ваздуха, чађ за производњу гу-

ме, угљенична влакна за производњу ултралакних делова спортске опреме и авиона; угљеничне пене користе се за изолацију од ватре, нафтни кокс за производњу графитне електроде за рециклажу гвожђа и челика итд. [2]. Од прве примене графитних електрода за електрохемијско добијање алкалних метала [3], угљенични материјали се широко примењују и у аналитичкој и у индустријској електрохемији. Предности угљеничних електрода у односу на друге електродне материјале су ниска цена, широк опсег применљивих потенцијала (електрохемијски прозор), релативна инертност и изражена електрокаталитичка активност за различите редокс реакције. Ова својства се сваки даном све више побољшавају развојем нових угљеничних материјала, често и нано димензија, које се употребљавају за израду електрода, али и материјала за превлачење електродне површине (такозваних модификатора) који омогућавају, с једне стране, смањење контаминације електродне површине ометајућим супстанцама, а са друге стране, осетљивије одређивање и вишеструко снижавање границе детекције анализа који се у траговима налази у раствору.

## ПОЈАМ И ВРСТЕ ЕЛЕКТРОДЕА

Електрода је фазна граница металног и електролитичког проводника, кроз коју је захваљујући електродној реакцији оксидације или редукције, могућ пренос електрона из метала или другог проводног материјала у електролит или обрнуто. Треба имати на уму да је електродна реакција у хемијском смислу само једна од две комплементарне полуреакције. Стога једна електрода не може самостално да се користи за било каква електрохемијска мерења, него искључиво у пару са другом електродом. Електрода на којој се врши процес редукције негативно је наелектрисана и к себи привлачи катјоне па се назива катода. Анода је позитивна, привлачи ањоне и на њој се одвија процес оксидације.

Електроде могу бити реверзибилне и иреверзибилне, зависно од тога да ли раде реверзибилно или не. При промени смера електричне струје, код реверзибилних (повратних) електрода тече иста реакција али супротног смера од почетног, а код иреверзибилних (неповратних) тече нека друга реакција.

У зависности од тога да ли је метална фаза електроде један од реактаната или не, електроде се могу поделити на оне са учешћем метала као реактанта и оне у чијим електродним реакцијама учествују само неметалне компоненте. Унутар ове опште поделе, опет у зависности од природе реактаната, електроде се даље деле на подтипове.

Металним електродама називају се електроде у чијим електродним реакцијама као реактант учествује метал. Обично тај исти метал има и функцију електричног извода електроде. По начину рада и састава деле се на електроде првог, електроде другог и електроде трећег реда.

У многим електродним реакцијама не учествују металне фазе. Стога у овом случају као посредник у

размени електрона између оксидоване и редуковане врсте, и као електрични извод електроде, обавезно мора да се користи неки хемијски инертан метал (платина, злато) или други добар електронски проводник (графит). Овде спадају оксидоредукционе електроде и гасне електроде.

Данас су веома популарне јон-селективне (мембранске) електроде. Оне се обично деле зависно од састава мембране. До данас пронађено је много материјала за производњу мембрана и сви су они карактеристични по томе да имају јоноизмењивачке и проводне особине. Могу бити кристалне, некристалне, полимерне и на бази (неког) биоматеријала, углавном ензима (биосензори) [4].

Посебна врста јон-селективних електрода (ISE) су хемијски модификоване електроде (chemically modified electrodes - CME) које су нашле примену у амперометријским, волтаметријским, потенциометријским и фарадејским (електрон трансфер) основним или експерименталним мерењима. CME електроде садрже танак филм (дебљине од једног слоја молекула до вишеслојних микрометарских димензија) од изабраних хемијски везаних или механички нанесених хемијских врста са циљем да се унапреде хемијске, електрохемијске, оптичке, електричне, транспортне и друге пожељне особине електроде [5].

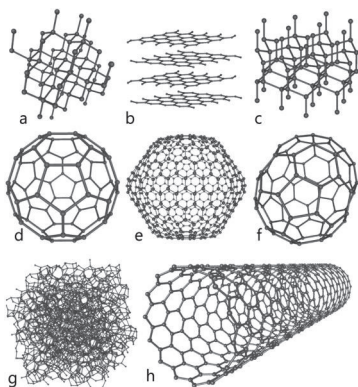
По Јупаковој (IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry) номенклатури хемијски модификоване електроде су дефинисане као електроде направљене од проводних или полупроводних материјала обложене одређеним мономолекуларним, мултимолекуларним, јонским или полимерним филмом хемијског модификатора са циљем да се побољшају хемијске, електрохемијске и оптичке особине. Електроде су саставни део електрохемијских уређаја, система за квалитативну и квантитативну анализу, конверзију и складиштење енергије, заштиту од корозије као и система за електро-органске синтезе [5].

## МАТЕРИЈАЛИ И ЕЛЕКТРОДЕ НА БАЗИ УГЉЕНИКА

Својства материјала на бази угљеника потичу од структуре, тј. начина на који су повезани атоми угљеника у простору. Најпознатије алотропске модификације угљеника су графит, графен, дијамант, аморфни угљеник, угљенична влакна, фулерени, лонсдалит и угљеничне наноцеви (слика 1.) и о свакој од њих ће на даље бити речи.

Графен је дводимезионална структура угљеника дебљине једног атома. Потпуно је порозан, али и толико густ да ни најмањи атоми гаса не могу проћи кроз њега и одличан је проводник електричне струје попут бакра. Много је јачи од челика а може се истегнути и до 20%. С обзиром на то да је и најтањи и најјачи познати материјал постао је предмет интереса бројних подручја науке [6]. Као модификатор наноси се на површину електроде или се меша са угљеничном пастом [7]. Може се рећи да се структура графита састоји од слојева "графена" међусобно повезаних slabим Ван-

дер-Валсовим (Van der Waals) силама. Дијамант се састоји у потпуности од  $sp^3$  хибридованих атома угљеника који заузимају структуру правилног тетраедра. У електрохемијским применама дијамант најчешће садржи неки „допанат“. Допанат или допинг средство је потпуно чиста супстанца која се убацује у другу супстанцу у веома малим количинама да би изменила њене проводне или оптичке особине. Додатком допаната (на пример бора) дијамант, који је иначе изолатор, постаје добар проводник електричне струје [3].



**Слика 1.** Неке од модификација угљеника: а) дијамант, б) графит, с) лонсдалит, д, е, ф) фулерен ( $C_{60}$ ,  $C_{540}$ ,  $C_{70}$ ), г) аморфни угљеник, х) угљеничне наноцеве [8]

Структурно веома сличан дијаманту је лонсдалит, алотропска модификација угљеника са хексагоналном кристалном решетком познат и као хексагонални дијамант (слика 1с). Аморфни угљеник је угљенични материјал без кристалне макроструктуре, који садржи и  $sp^2$  и  $sp^3$  хибридоване угљеникове атоме. Фулере-ни имају структуру сличну графиту, са разликом да уместо чисто хексагоналног распореда атома, они садрже и пентагоне или пак хептагоне, који затим формирају сфере, елипсе или цилиндри (наноцеве). Најчешће коришћени облици фулерена у електрохемији су једнозидне и вишезидне угљеничне наноцеве, састављене од слојева графитних листова тако да они формирају тубе са различитим пречником, дужином и терминацијом (појам терминација у овом раду означава завршетак, крај неке угљеничне структуре).

Угљенични материјали се могу добити и вештачким путем. У зависности од полазног материјала и начина њиховог третирања добијају се веома слични или пак потпуно различити облици у односу на оне нађене у природи. Неке од могућности добијања вештачких угљеничних материјала су приказане на слици 2.

Без обзира на опсежна истраживања угљеничних материјала у прошлости, и данас се појављују фундаменталне иновације у овој области. Бором доповани дијамант, стакласти угљеник, фулере-ни, угљенични филмови, микрофабриковане угљеничне наноструктуре, композити на бази угљеничних материјала и различите модификације тих материјала пружају различита својства у поређењу са графитом, који је био најчешће коришћени електродни материјал до деведе-

сетих година прошлог века и омогућавају нове примене у аналитичкој хемији, електрокатализи и електронизи [3].



**Слика 2.** Неке могућности добијања вештачких угљеничних материјала

## ЕЛЕКТРОДЕ ОД УГЉЕНИЧНЕ ПАСТЕ (SP-CARBON PASTE ELECTRODES)

У општем случају СРЕ су електрохемијски сензори састављени од електропроводног материјала постављеног у течни или чврст матрикс. Прва СРЕ је била представљена од стране Адамса (Ralph Norman Adams) и његових сарадника крајем 50-их година 20. века, као алтернатива капљућој живиној електроди. Врхунац своје популарности СРЕ је достигла 25 година касније након успешне модификације пасте, која је резултовала у значајно повећаној селективности и осетљивости електроде. И данас СРЕ држи истакнуто место у изради електрохемијских биосензора и употреби у електрохемијским студијама.

Класичне СРЕ, направљене од графитног праха и инертних течних везивних супстанци (као што су минерално или силиконско уље, нујол, бензен) чине највише коришћену групу сензора на бази угљеничних паста. Постоје и СРЕ са електроактивним везивним супстанцама, нпр. неорганским електролитима као што су концентровани раствори минералних киселина или алкалних хидроксида. На конзистенцију СРЕ утиче садржај везивне супстанце и разликују се "суве" и "влажне" СРЕ. Затим следе чврсте СРЕ које се састоје од мешавине угљеника и лако топљиве везивне супстанце (нпр. фенантрен или парафински восак). Могу бити немодификоване (од графитног праха и везивне супстанце) и модификоване (од оригиналних бинарних смеша којима се додају једна или више компоненти као модификатори) СРЕ. Према својствима модификатора, модификоване СРЕ се даље могу делити на хемијски модификоване и биолошки модификоване електроде (СР-биосензори).

Већина бинарних (немодификованих) угљеничних паста се припрема од комерцијално доступног графитног праха.

Осим спектроскопског графитног праха, у новије време користе се и други савременији проводни угљенични материјали, као што су:

- специјалани прахови стакластог угљеника,

- једнозидне и вишезидне наноцеви на бази угљеника,
- угљенична нановлакна,
- дијамантски прах,
- чађ, ђумур и др.

Основни захтеви за везивне течности које се користе у припремању пасте су практична нерастворљивост у анализираном раствору (обично воденом), чиме се спречава дезинтеграција материјала од којег је направљена електрода; низак напон паре да би се обезбедила механичка стабилност електроде на дужи период и електрохемијска инертност у испитиваном интервалу потенцијала, да би се спречила висока резидуална струја и променљивост састава електродног материјала у волтаметријским мерењима.

Најзначајнија карактеристика и јединственост електрода од угљеничне пасте огледа се у могућности њене лаке и брзе модификације директном инкорпорацијом хемијских и биолошких супстанци у матрикс пасте. Такође, једна од важнијих карактеристика угљеничних пасте у електрохемијским мерењима је њихова висока проводност. Ово је посебно битно својство у потенциометрији, с обзиром на стабилан и брз одзив који се захтева од индикаторске електроде.

Током мерења, смеше угљеничних пасте испољавају обично три карактеристична периода, који се могу приписати ефектима старења. Постоје: нестабилан или чак непродуктиван одзив свеже направљених угљеничних пасте током периода од неколико до 48 сати; релативно стабилан сигнал у интервалу од две-три недеље до неколико месеци, и најзад постепено погоршавање одзива због почетка сушења. Из овога се може закључити да је крајњи употребни век уско повезан са квалитетом везивне супстанце и у неким случајевима са односом угљеничног праха и везивне течности.

Најважнија физичко-хемијска особина која има велики утицај на резултујуће електрохемијско понашање СРЕ је липофилно својство материјала угљеничне пасте. Хидрофобност се огледа у ефекту одбијања јона и молекула на површини угљеничне пасте, као и у специфичним интеракцијама са неким супстанцама у модификованим угљеничним пастама [3].

Ниска резидуална струја угљеничних пасте је једна од њихових значајних погодности. Позадинске струје код СРЕ често не прелазе вредности од 1  $\mu\text{A}$ , осим у неким специјалним експериментима који се односе на врло сложене матриксе. Специјалном обрадом површине електроде резидуална струја може се смањити и до  $\text{nA}$  нивоа.

Поларизационе могућности СРЕ одређује практичну применљивост електрода у мерењима фарадејске струје. Опсег потенцијала поларизације уобичајених угљеничних пасте направљених од спектроскопског графита и парафина или силиконских уља може се поредити са истим код графитних електрода. Овај опсег зависи од састава помоћног електролита, пре свега од његове укупне киселости. Катодна и анодна граница зависе првенствено од типа графитног праха. На пример, графитне честице импрегнисане церезинским воском могу дати угљеничну пасту са

значајно проширеним прозором потенцијала у анодном интервалу.

Једна од најкарактеристичнијих особина липофилних везивних течности је њихов утицај на реакције преноса наелектрисања. Овај ефекат је од самог почетка био од примарног значаја у електрохемијским лабораторијама. Атипична кинетика на СРЕ често потиче од способности везивне супстанце да успорава бројне фарадејске процесе у близини активних места угљеничног материјала. Стога, реверзибилни редокс-процеси на електродама од компактних материјала, као што су стакласти угљеник, платина и злато, постају квази-реверзибилни процеси на СРЕ [3].

### ЕЛЕКТРОДЕ ОД СТАКЛАСТОГ УГЉЕНИКА (GCE-GLASSY CARBON ELECTRODES)

Стакласти угљеник је постао популаран електродни материјал пре свега због његових изванредних особина и то: екстремна чврстоћа, добре електричне особине, широк напонски прозор, хемијска инертност, репродуктивност особина, непропустљивост за гасове и за разлику од племенитих метала употребљивост при негативном потенцијалу у киселим срединама [7]. Електроде од стакластог угљеника различитих величина дате су на слици 3.



Слика 3. Електроде од стакластог угљеника [9]

Стакласти угљеник се прави контролисаним загревањем полимерских смола у инертној атмосфери. Процес карбонизације се изводи у температурској области од 300–1200  $^{\circ}\text{C}$ , веома споро да би се обезбедила елиминација кисеоника, азота и водоника. Структура стакластог угљеника укључује танке, међусобно испреплетане траке угљеника. Новија истраживања доказују и постојање фулеренских структура у том материјалу. Због велике густине и малих димензија пора, након процеса карбонизације нема потребе за импрегнацијом. Међутим, припрема површине је често потребна да би се добила активна и репродуктивна СРЕ. То се најчешће постиже полирањем (до огледалског сјаја) суспензијом  $\text{Al}_2\text{O}_3$  уз узастопно смањење честица средства за полирање све до 0,05 $\mu\text{m}$ . Електроду је потребно опрати (по могућству и у ултразвучном купатилу) у дејонизованој води пре употребе. Побољшана електрон-трансфер реактивност је вероватно последица уклањања површинских нечистоћа, откривања свежих угљеничних ивица и повећања густине површинских функционалних група са кисеоником, које функционишу као површински медијатори [3].

Главни недостатак СРЕ електроде је екстремна крхост и обавезно механичко полирање до сјаја огледала. За побољшање перформанси може се применити активациони предtretман електрохемијским, хемијским, топлотним или ласерским путем. У пракси се ко-



ристи као немодификована електрода, или као модификована након наношења погодног модификатора на њену површину [6].

Релативно нов тип модификације GCE је наношење филма од бизмута (BiFE- bismuth film electrode). Први рад из ове области се појавио пре 15 година. Већ у првим радовима је истакнут велики значај те електроде, пре свега из угла заштите животне средине. BiFE је представљена као алтернатива деценијама примењеној капљућој живиној електроди (и електроди на бази филма од живе) за одређивање трагова метала. Ускоро након тога се појавило мноштво радова о даљем развоју и примени BiFE као "зеленог" сензора за различите електроаналитичке примене. BiFE је постала веома популарна електрода због своје релативне нетоксичности и неосетљивости према раствору кисеоника. Непостојање потребе за уклањањем кисеоника из анализираних раствора умногоме поједностављује анализу, пре свега у случају теренских испитивања. Након почетних истраживања, у којима су пре свега анализирани метали у једноставнијим реалним узорцима, убрзо су се појавили и радови у којима су испитивани веома комплексни узорци, као што су крв, панкреас, очна течност, а затим и храна. Поред примене у неорганској анализи, убрзо су се појавили резултати везани за одређивање различитих органских једињења, укључујући пестициде, боје, и лекове [3].

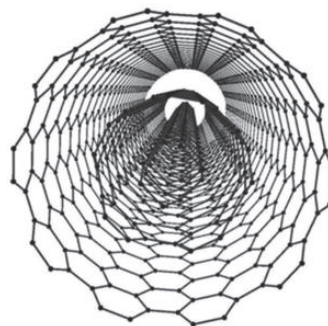
## УГЉЕНИЧНЕ НАНОЦЕВЧИЦЕ (CNT-CARBON NANOTUBES)

Угљеничне наноцевчице су одлични електрохемијски материјали због добре проводљивости, механичке чврстоће као и инертности у већини раствора електролита где задржавају своју активну површину и могућност коришћења у широком опсегу потенцијала. Сматра се да су наноцевчице од угљеника данас најистраживанији материјали и да су могућности њихове модификације ограничене једино маштом хемичара. Поседују интересантне електрохемијске и механичке особине. Утврђено је да је електроактивност CNT последица присуства реактивних група на површини. Прорачуни су показали да побољшани пренос електрона настаје због закривљености цеви што је последица промена у енергетским појасевима. При употреби CNT као модификатора уочен је мањи напон и већа струја пика у волтаметријским мерењима многих једињења. Мана им је велика токсичност.

Два основна типа угљеничних наноцевчица су:

- једнослојне наноцевчице (SWCNTs- singlewalled carbon nanotubes), слика 1h;
- вишеслојне наноцевчице (MWCNTs- multiwalled carbon nanotubes) састављене од неколико концентричних кругова постављених један унутар другог, слика 4.

Пречник CNT-а варира од неколико нанометара (SWCNT) до неколико десетина нанометара (MWCNT), док је дужина у микрометарском распону. Таква величина им даје јединствене особине као што је велика површина (200-300<sup>2</sup> по граму) [10].



Слика 4. Вишеслојна наноцевчица MWCNT [11]

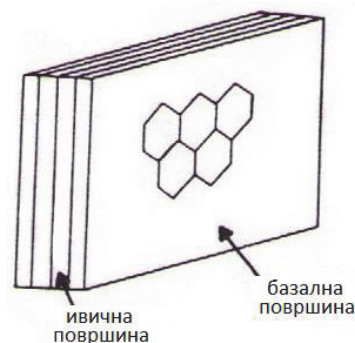
Дефинисана су три основна начина модификације CNT-а,

1. ковалентно везивање модификатора на површину CNT-а било хемијском или електрохемијском модификацијом,
2. физиосорпцијом модификатора на CNT површину,
3. остали видови модификације као што су инкорпорирање CNT-а у филмом модификовану електроду или уметање модификатора у CNT [6, 10].

Због своје величине савршена су комбинација са биоматеријалима (ензими, антигени, антитела, нуклеинске киселине, рецептори, ткива итд.) у процесу производње биосензора. Пошто је природа електроде изузетно важна у процесу претварања сигнала, CNT су примењене у ове сврхе због својих изванредних проводних особина. Последње године у подручју биосензора обележене су развојем бројних осетљивих и селективних електрохемијских биосензора базираних на CNT-у [6].

## ПИРОЛИТИЧКЕ ГРАФИТНЕ ЕЛЕКТРОДЕ (PGE-PYROLYTIC GRAPHITE ELECTRODES)

Пиролитичке графитне електроде направљене су од високо уређеног графита добојеног термичким разлагањем угљоводоника без присуства кисеоника (пироллиза). Слојеви графита су паралелно оријентисани (слика 5). Као електродна површина може се употребити ивица (ивичне пиролитичке графитне електроде - *edge plane pyrolytic graphite electrodes*), или базална површина пиролитичког графита (базалне пиролитичке графитне електроде - *basal plane pyrolytic graphite electrodes*) [7].



Слика 5. Пиролитички графит [12]

## ЕЛЕКТРОДА ОД БОРОМ ДОПОВАНОГ ДИЈАМАНТА (BORON DOPED DIAMOND ELECTRODES - BDD)

Бор је широко примењивани допанат у производњи електрода од дијаманта зато што има ниску енергију активације. Доповањем бором дијамант, који је иначе изолатор, постаје полупроводник. Замена приближно једног С-атома од 1000 атомом бора довољна је да дијамант учини полупроводником. Увођење бора врши се тако што супстанца која садржи бор (диборан или триметил боран) додаје у гасну смешу за таложење. Ова електрода данас се широко употребљава због низа добрих особина: широк потенциометријски прозор у воденим растворима, мала основна струја, дугортајна стабилност и мала осетљивост на растворени кисеоник. Ове особине чине BDD погодном за електрохемијску анализу супстанци које се оксидују на великим вредностима потенцијала. Особине BDD зависе од количине и врсте допинг средства, морфолошких фактора и дефеката у структури, присутних нечистоћа, кристалографске оријентације и електрохемијског третмана пре доповања. Значајна предност у односу на друге електроде (златну, платинску итд.) је велика пренапетост издвајања водоника и кисеоника, а мана је то што је процес доповања дуг и захтева софистициране инструменте [7].

## МИКРОЕЛЕКТРОДЕ ОД УГЉЕНИЧНИХ ВЛАКАНА (CFME-CARBON FIBER MICRO ELECTRODES)

Хемијски релативно инертна угљенична влакна имају изузетне механичке и електричне особине и представљају одличну основу електроде за електрофизиолошку, електрохемијску и биосензорску примену. Показале су се као веома погодне за *in vivo* електрохемијску детекцију катехоламина и других оксидујућих биолошки активних хемијских врста укључујући и азот-моноксид. Имобилизацијом DNA молекула или угљеничних наноцевчица на површину CFME створене су нове могућности за електрохемијску детекцију биолошки активних врста.

Основа CFME је елементарно влакно од угљеника уграђено у борсиликатно стакло или пластику због електричне изолације и механичке подршке. Неизолован врх вири из облоге дужином од 10 до 100 $\mu\text{m}$  и обезбеђује контакт са анализом (слика 6).

У случају биосензора овај врх је покривен одговарајућим ензимом, протеином, антителом итд. CFME се често модификују наношењем нафиона што их чини веома погодним за квалитетно одређивање биолошких врста као што је допамин у присуству аскорбинске киселине [13].

## МЕТОДЕ МОДИФИКАЦИЈЕ И МОДИФИКАТОРИ ЕЛЕКТРОДА НА БАЗИ УГЉЕНИКА

Угљенични материјали имају много комплекснију површинску хемију него метали, не само због ос-



Слика 6. Микроелектрода од угљеничног влакна [13]

новне микроструктуре, него због тога што угљеник формира различите површинске везе и функционалне групе. Пошто се електрохемија темељи у основи на интерфејсним процесима, природа површине угљеничних електрода је од пресудног значаја. Превенција загађења површине електроде разним хемијским врстама, њена активација и успостављање бољег преноса електрона су најзначајнији разлози за коришћење разних супстанци у виду моно- или вишеслојних превлака за модификацију електродне површине. Све комерцијалне електроде могу да послуже као супстрати (електроде на које се наносе модификатори), али чињеница је да су неке погодније и више примењиване од других.

Електроде се могу модификовати следећим поступцима:

- апсорпцијом,
- ковалентним везивањем,
- превлачењем електроде полимерним филмом,
- превлачењем електроде неорганским материјалима,
- превлачењем Ленгмир-Блоцетовим (Langmuir-Blodgett) поступком (LB) [14, 15].

## АПСОРПЦИЈА

Физиосорпција је спонтана апсорпција која се дешава зато што молекули адсорбента на тај начин прелазе у енергетски повољније стање. Физиосорпција методом кап по кап заснива се на испаравању растварача при чему супстанца која је била растворена остаје на површини супстрата (електроде), што је погодан метод за формирање једнослојних филмова. Редокс медијатори као што су калијумхексацијаноферат (Мелдола плаво) и дихлорофенилиндопанол (DCPIP) на овај начин се лако наносе на стакласти угљеник. Иако су физиосорбовани системи и даље употребљиви у аналитици, њихова стабилност одувек је била проблем. Знатно стабилнији систем добија се хемисорпцијом [15].

Хемисорпција је реакција адсорпције одговарајућих молекула на површину електродепри чему се електрони равномерно расподељују између адсорбованих молекула и електродне површине што електро-

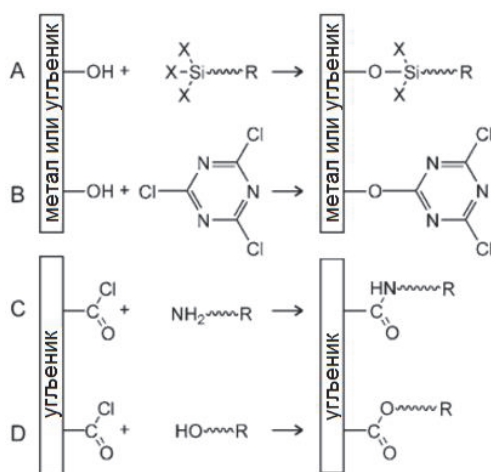
ду модификовану хемисорпцијом чини стабилнијом од оне добијене физиосорпцијом. Електрохемијске особине материјала погодних за хемисорпцију интензивно су проучаване у последње три декаде. На пример, Ансон (Fred C. Anson) и његови сарадници су истраживали хемисорпцију различитих врста ароматичних једињења на угљеничну электроду при чему се  $\pi$ -електрони ароматичних прстенова равномерно расподељују између угљеничне електроде и адсорбованог агенса [14].

Хемисорпција подразумева директан контакт између адсорбенса и електроде због чега је потпуно покривање електродне површине могуће извести само једним слојем адсорбенса за разлику од осталих метода модификације које подразумевају nanoшење вишеслојних (мултимолекуларних) филмова.

## КОВАЛЕНТНО ВЕЗИВАЊЕ

Претеча механизма ковалентног везивања између електроде и специфичних функционалних група је реакција хидроксилне групе и хидролитички нестабилног силана (безбојан гас састављен од силикона и водородна са јаким редукционим својствима, запаљив на ваздуху).

Типичан пример ковалентног везивања неких функционалних група и супстрата (електроде) дат је на слици 7.



Слика 7. Шематски приказ ковалентне модификације [16]

Ковалентним везивањем може се извршити квалитетна модификација којом се добија стабилна електрода, вишекратно употребљива. Међутим, у неким случајевима стабилност није загарантована посебно зато што је процес ковалентног везивања понекад веома компликован. Високу организацију слојева понекад је тешко постићи па је репродуктивност филма, дефинисане структуре слојева ограничена [16].

## ПРЕВЛАЧЕЊЕ ЕЛЕКТРОДЕ ПОЛИМЕРНИМ ФИЛМОМ

Производ ове врсте модификације је електрода превучена једнослојним или вишеслојним полимер-

ним филмом дебљине до неколико микрометара. Формирани полимерни филм може бити:

- проводни,
- јоно-измењивачки,
- од сол-гел полимера.

**Проводни полимери** су веома популарни последњих година. Садрже  $\pi$ -електроне који су одговорни за добру проводљивост, малу енергију јонизације и велики афинитет према електронима. Коњуговани  $\pi$ -електронски систем ових полимера садржи једнострукке и двострукке везе које су мобилне дуж полимерног ланца што их чини способним да врше улогу електрон трансфер медијатора. Са таквим материјалима редокс промене нису локализоване на одређеном месту већ су делокализоване између неколико проводних полимерних група као што су: полиацетилен, полипропиол, полианилин и политиофен који су дати на слици 8.



Слика 8. Структура проводних полимерних група [14]

Електрополимеризација мономера на електроди је најчешће коришћена метода производње хемијски модификоване електроде ове врсте предвиђене за коришћење у електроаналитичке сврхе. Могућа је и инкорпорација, на пример биомолекула, процесом декапсулирања, адсорпције или ковалентним везивањем за функционалну групу.

**Јоно-измењивачки полимери** садрже наелектрисане врсте које могу да везују јоне из раствора у процесу измене јона. Типични представници ове врсте су нафион, тофлекс, полистирен-сулфонат итд. Модификација електроде оваквим полимерима врши се nanoшењем раствора одговарајућег филма. Кад растварач испари на електроди остаје слој сувог полимерног филма.

**Сол-гел полимери** такође могу послужити за модификацију електрода предвиђених за употребу у електроаналитичке сврхе. Иако су новијег датума извесно је да побољшавају пермиселективност, температурну стабилност, и механичку отпорност третиране електроде [15].

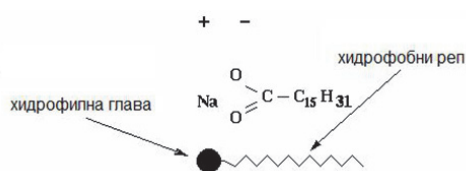
## ПРЕВЛАЧЕЊЕ ЕЛЕКТРОДЕ НЕОРГАНСКИМ МАТЕРИЈАЛИМА

Глина, зеолит и њима слични неоргански материјали микрокристалне структуре такође се могу користити као модификатори нарочито због њихове јо-

но-измењивачке природе. За разлику од јоно-измењивачких полимера, глина и зеолит су постојани на високим температурама као и у присуству јаких оксидационих средстава. Глином модификоване електроде (Clay-modified electrodes-CME) привлаче све већу пажњу, између осталог, и због специфичне добро дефинисане структуре (глина има лиснату структуру, а зеолит садржи поре и канале одређеног дијаметра). Зеолит је дуго коришћен као сорбент и катализатор а из тога је уследила идеја да се истраже електрохемијска својства електрода модификованих овим или сличним материјалима. Глине које се могу употребити у ове сврхе су: Na-монтморилонит, хидроталцит, лапонит, лапонит са цетилтриметил амонијумом итд. [17].

### ПРЕВЛАЧЕЊЕ ЛЕНГМИР –БЛОЦЕТОВИМ ПОСТУПКОМ

1930. године Ирвинг Ленгмир (Irving Langmuir) и Катарин Блоцет (Katharine Blodgett) креирали су високо уређени једнослојни филм и нанели га на површину електроде. Користили су такозване амфифилне молекуле који садрже поларне, хидрофилне функционалне групе (хидрофилна глава) за које је везан хидрофобни реп (алкил ланац на пример), као што је приказано на слици 9а. Када се такви молекули нађу у води хидрофилна глава нестаје у води (раствара се) а хидрофобни реп ће испливати на површину воде и створити танак слој који се лако наноси на электроду (слика 9б).



Слика 9. а) амфифилни молекул б) наношење хидрофобног репа на површину електроде [18, 19]

Формирање LB филма на површини електроде је спонтан процес, баш као што је случај код самоформирајућих монослојева, стога и не чуди да је и финална структура филмова веома слична. Ипак, самоформирајући монослојеви су стабилнији због формирања хемисорбованих хемијских веза [14]. Најчешће коришћени активни елементи LB филмова су проводни полимери [19].

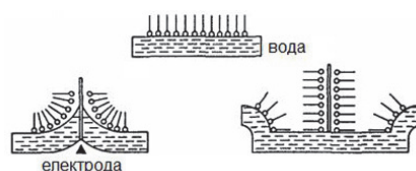
### ПРИМЕНА ХЕМИЈСКИ МОДИФИКОВАНИХ ЕЛЕКТРОДА НА БАЗИ УГЉЕНИКА У РЕАЛНИМ УЗОРЦИМА

Због низа предности, у данашње време су компликоване аналитичке технике које захтевају скупу инструментацију замењене електрохемијским сензорима који брже, јефтиније, и поуздано могу да дају упоредиве или чак и боље резултате одређивања

циљаних анализа разним узорцима. Анализа лекова која је некад вршена хроматографски, флуорометријски и спектрофотометријски, данас се врши електрохемијским методама при чему се као радна (или индикаторска у случају потенциометрије) електрода користи управо електрода на бази угљеника. На овај начин одређује се и значајан број неуротрансмитера - супстанци које регулишу преношење електричних сигнала између самих нервних ћелија, као и између нервних ћелија и ефекторских ћелија [7].

Електрохемијске технике су погодне и за одређивање разних биомолекула од значаја као што су на пример полифеноли због њиховог антиоксидативног својства тј изражене способности да дају електроне и спречавају дејство слободних радикала. Ова једињења се налазе у биљкама, воћу, чају, меду, пиву, вину итд. и у људском организму су важни јер штите од упала, алергија, бактерија, вируса и канцерогеног дејства разних агенаса [20]. Интересантна је примена динуклеарног бакар(II) октаазамакроцикличног комплекса у PVC (Polyvinyl chlorid) матрици као модификатора на графиту и стакластом угљенику употребљеног за волтаметријско одређивање ниске концентрације галне киселине као стандарда за укупне полифеноле. Ово је први пример сензора у досадашњој литератури где вештачки синтетисани комплекс показује исти ефекат на оксидацију полифенола као природни макроцикли који су у ову сврху примењени у биосензорима базираним на ензимима који садрже бакар [21].

Природни алкалоид кофеин, који се налази у кафи, чају, енергетским пићима, какау, чоколади итд. најчешће је употребљавана психоактивна супстанца у свакодневном животу, што њено одређивање чини веома важним. Због јед-



ноставности процеса, задовољавајуће осетљивости, линеарности, стабилности, и јефтине инструмената погодних за минитуризацију, у ове сврхе најчешће су примењиване електрохемијске методе (амперометрија, волтаметрија, потенциометрија) уз употребу разних врста угљеничних електрода, [22].

Тешки метали из дана у дан постају све већа претња околини и људском здрављу. У организам доспевају директном контаминацијом из околине или преко хране, воћа, поврћа, житарица, рибе итд. Више од 50 хемијских елемената спада у групу тешких метала: прелазни метали, неки металоиди као и лантаноиди и актиноиди. Од тога 17 метала (олово, жива, арсен, кадмијум итд. ) је веома приступачно људском организму а токсично и у траговима. Ови елементи, као и многе друге токсичне материје, пестициди и експлозивна средства [23] се све више одређују електрохемијски, употребом угљеничних електрода (примери одређивања дати су у табели 1).

Табела 1. Примена модификованих и немодификованих електрода на бази угљеника за одређивање неких важнијих анализа.

Аналит		Сензор	Техника	Узорак	Реф.
Лекови	Прокаин (анестетик)	GCE/MWCNT	DPV <sup>1</sup>	лекови, телесне течности	[7]
	Аспирин (аналгетик)	BDD; GCE/MWCNT	SWV <sup>2</sup>	лекови, телесне течности	[7]
Неуротрансмитери	Допамин	CPE/MWCNT; CPE/Номтронит	CV <sup>3</sup> SWV	лекови, телесне течности	[7, 23]
	Сератонин	GCE/Нафион GCE/MWCNT	DPV	лекови, телесне течности	[7]
Полифеноли	Гална киселина	GCE и графит/ [Cu <sub>2</sub> tpmc](ClO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> /PVC	DPV	вино	[21]
	Епикатехин	GCE	CV	вино, воће	[20]
Алкалоиди	Никотин	PGE/MWCNT	SV <sup>4</sup>	крв, дуван	[7]
	Кофеин	GCE/Нафион GCE/Нафион/MVCNT	CV DPV	кока-кола, кафа, чај	[22]
Тешки метали	Жива	CPE/Вермикулит CPE/Монтморилонит	SWV DPV	земљиште, воде	[23]
	Кадмијум	CPE/Бентонит	DPV	земљиште, воде	[23]
Токсичне материје	Нитробензен	CPE/Сепиолит	DPV	земљиште, воде	[23]
	Феноли	CPE/Сепиолит	DPV	земљиште, воде	[23]
Пестицид	2-сек-бутил-4, 6-динитрофенол	CPE/Сепиолит	DPV	земљиште	[23]
Експлозив	Нитрофенол	GCE/Монтморилонит	DPV	експлозивне меше	[23]

<sup>1</sup> DPV-Диференцијална пулсна волтаметрија;

<sup>2</sup> SWV-Волтаметрија са правоугаоним таласима;

<sup>3</sup> CV-Циклична волтаметрија; <sup>4</sup>SV-Стрипинг волтаметрија

## ЗАКЉУЧАК

Угљенични материјали се данас широко употребљавају у аналитичкој и индустријској хемији због низа предности: ниска цена, широк опсег применљивих потенцијала (електрохемијски прозор), релативна инертност и изражена електрокаталитичка активност за различите редокс реакције. До деведесетих година прошлог века као електродни материјал на бази угљеника коришћен је само графит, док се данас све алотропске модификације угљеника могу употребити као материјали за производњу електрода било као супстрат материјали или модификатори. У односу на метале имају много комплекснију површинску хемију не само због основне микроструктуре, него због тога што угљеник формира различите површинске везе и функционалне групе. Различитост електродних материјала на бази угљеника произилази у великој мери и из њихових структурних разноликости, хемијске постојаности и јаких веза угљеник-угљеник које постоје и у унутрашњости угљеничног материјала, а често и између угљеничног материјала и модификатора површине. Различитим електродама се може одређивати велики број лекова, биолошки важних супстанци, токсичних материја, пестицида, експлозива итд. Угљенични материјали, посебно они нано димензија, савр-

шена су комбинација са биоматеријалима (ензими, антитела, протеини итд.) у производњи биосензора за најразличитију примену. Наноматеријали, иако веома скупи и токсични, сматрају се материјалима будућности.

## Abstract

### CARBON BASED ELECTRODES: MODIFICATION AND ANALYTICAL APPLICATION

**Sonja M. Jevtić**, PhD student, Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Priština, Kosovska Mitrovica, Serbia, e-mail: jevticsonja88mail.com

Carbon materials are widely used in analytical and industrial chemistry now, due to several advantages: low cost, wide electrochemical window, the relative inertness and expressed electrocatalytic activity for a variety of redox reactions. Until the nineties of the past century, only graphite was used as an electrode material based on carbon, but today all allotropes of carbon can be used as materials for the electrodes production. In regard to the metal surface, carbon materials have a more complex chemistry, due to its underlying microstructure and formation of different surface carbon bonds and functional groups. Impurity of carbon materials stems mostly from their structural diversity, chemical resistance and strong carbon-carbon bonds that exist in the interior of the carbon

materials, and often between the carbon materials and surface modifier. A large number of drugs, biologically important substances, toxic substances, pesticides, explosives etc. can be determined. Carbon-based materials, especially those of nano dimensions, are a perfect combination with biomaterials (enzymes, antibodies, proteins, etc.) for the production of a biosensor for the wide applications. Nanomaterials, although very expensive and toxic, are considered to be the future of analytical chemistry.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon>
- [2] <http://www.energy.psu.edu/cm/index.html>
- [3] Z. Papp. Doktorska disertacija; Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno matematički fakultet; Novi Sad, 2010.
- [4] С. Митић. *Електроаналитичка хемија*; Универзитет у Нишу, Прородно математички факултет; Ниш, 2008.
- [5] R. A. Durst, A. J. Baumner, R. W. Murray, R. P. Buck, i C. P. Andreux. *Chemically modified electrodes: recommended terminology and definition*; Pure and Applied Chem. , **69** (1997) 199.
- [6] Е. Тукушић. *Увод у хемијске сензоре и биосензоре*; Универзитет у Сарајеву, Природно-математички факултет; Сарајево, 2012.
- [7] B. J. Sanghavi, O. S. Wolfbeis, T. Hirsch, N. S. Swami. *Nanomaterial-based electrochemical sensing of neurological drugs and neurotransmitters*; Electrochimica Acta **182** (2015) 1–41.
- [8] <http://nauka.rs/tag/resetka>
- [9] [http://www.ijcambria-webshop.com/mall/Carbon\\_rod.JPG](http://www.ijcambria-webshop.com/mall/Carbon_rod.JPG)
- [10] Gregory G. Wildgoose, Craig E. Banks, Henry C. Leventis, and Richard G. Compton. *Chemically Modified Carbon Nanotubes for Use in Electroanalysis*; Electrochimica Acta. , **152** (2006) 187–214.
- [11] <http://www.mdpi.com/1424-8220/15/1/1564/htm>
- [12] [http://www.autolabj.com/construction\\_files/electrode\\_files/basal%20plane.htm](http://www.autolabj.com/construction_files/electrode_files/basal%20plane.htm)
- [13] D. Budai. *Carbon Fiber-based Microelectrodes and Microbiosensors*; University of Szeged, Hungary, 2010.
- [14] P. T. Kissinger, W. R. Heineman. *Laboratory techniques in electroanalytical chemistry*; New York, Basel, 1996.
- [15] A. Morrin. *Development in modified electrodes for sensing applications*; Dublin City University, 2004.
- [16] C. G. Zoski. *Handbook of electrochemistry*; New Mexico State University, Department of Chemistry and Biochemistry; New Mexico, 2007.
- [17] <http://www.clays.org/journal/archive/volume%2038/38-4-391.pdf>
- [18] <http://www.sbfisica.org.br/bjp/download/v22/v22a12.pdf>
- [19] <http://simscience.org/membranes/advanced/essay/surfactants.html>
- [20] A. S. Arribas, M. M. Fernandez, M. Chicharro. *The role of electroanalytical techniques in analysis of polyphenols in wine*; Trends in Analytical Chemistry. , **34**(2012).
- [21] B. B. Petković, D. Stanković, M. Milčić, S. P. Sovilj, D. Manojlović, *Dinuclear copper(II) octaazamacrocyclic complex in a PVC coated GCE and graphite as a voltammetric sensor for determination of gallic acid and antioxidant capacity of wine samples*; Talanta. , **132** (2015) 513–519.
- [22] L. Švorc. *Determination of Caffeine: A Comprehensive Review on Electrochemical Methods rev*; Int. J. Electrochem. Sci. , **8**(2013) 5755 – 5773.
- [23] C. Mousty. *Sensors and biosensors based on clay-modified electrodes—new trends*; Applied Clay Science, **27** (2004) 159–177.



## ВЕСТИ из ШКОЛЕ ВЕСТИ за ШКОЛЕ



Катарина ПУТИЦА, Иновациони центар Хемијског факултета у Београду, [puticakatarina@gmail.com](mailto:puticakatarina@gmail.com)  
Драгица ТРИВИЋ, Хемијски факултет у Београду, [dtrivic@chem.bg.ac.rs](mailto:dtrivic@chem.bg.ac.rs)

## ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНИ ПРИСТУП НАСТАВИ ПРИРОДНИХ НАУКА

*У раду су размотрене карактеристике интердисциплинарног приступа настави природних наука и предложен је пример примене таквог приступа за одраду наставне теме Варење.*

### УВОД

Насупрот дисциплинарном приступу настави у оквиру кога се наставници строго држе садржаја само једног наставног предмета, интердисциплинарни приступ подразумева повезивање сродних садржаја из различитих наставних предмета у логичке целине организоване око одређеног проблема или теме (Barton & Smith, 2000).

Интердисциплинарно разматрање наставних садржаја најприроднији је вид рада за ученике јер представља рефлексију спонтаног и стваралачког начина на који се сваки човек од рођења упознаје са светом, трагајући за решењима конкретних животних ситуација мимо било каквих дисциплинарних подела (Klein, 1990). Последице, такав приступ оспособљава ученике за реални живот који не познаје границе између наставних предмета и научних дисциплина и у коме је за снажање у разноврсним ситуацијама неопходна флексибилна примена најразличитијих знања и вештина, трансфер знања и вештина из једне области у другу и њихово повезивање у нова смислена решења (Newell, 2001).

Интердисциплинарни приступ настави развија когнитивне способности ученика и оспособљава их за критичко мишљење (Fink, 2003). Наиме, чест је случај да један исти проблем проучава већи број научних дисциплина, свака помоћу себи својствених метода и техника. Притом, резултати до којих долазе могу бити и међусобно супротстављени. Интердисциплинарни начин рада оспособљава ученике за сагледавање специфичних приступа које различите научне дисциплине користе у својим истраживањима, за уочавање битних информација које се могу добити из сваког истраживања повезаног с одређеним проблемом и интеграцију информација у јединствено решење.

Кроз интердисциплинарни приступ настави ученици се оспособљавају за целовито сагледавање сваке животне ситуације, а то подразумева и сагледавање последица које примена одређених поступака и процеса може имати на личном и глобалном нивоу (Jones, 2010). У савременом свету посебно је важно размотрити последице примене сваког новог научно-технолошког открића са етичког и еколошког становишта. Применом интердисциплинарног приступа у настави природних наука код ученика се може развити свест о томе да сваки индустријски поступак који угрожава животну средину и здравље људи мора бити одбачен, без обзира на то што је једноставан за извођење, а материјална добит од његове примене велика. Такође, кроз изучавање природних наука применом интердисциплинарног приступа ученици постају свесни да се до многих знања дошло захваљујући жртвовању експерименталних животиња. Упркос бројним корисним открићима, у научним круговима се због етичких разлога води полемика око коришћења животиња у истраживачке сврхе.

Конечно, потребно је истаћи да увођење интердисциплинарног приступа у наставу није претерано компликован и захтеван процес (Jones, 2010). Већина наставника већ влада потребним знањима и вештинама из сродних наставних предмета, тако да њихово инкорпорирање у наставу не би требало да буде претерано стресно, нити да захтева утрошак превише времена. Синтеза градива из различитих наставних предмета је нешто с чиме се већина наставника у својој пракси већ сусрела, тако да им прелазак на интердисциплинарни начин рада неће представљати непремостиву препреку. Приликом разматрања неког садржаја из угла другог наставног предмета, наставник се може послужити наставним средствима која су већ набављена и користе се у настави тог предмета, тако да најчешће не постоји потреба за додатним материјалним улагањима.

## **СТРАТЕГИЈЕ ЗА КОНЦИПИРАЊЕ ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНЕ НАСТАВЕ**

Три основне стратегије за конципирање интердисциплинарне наставе су концептуализација, контекстуализација и решавање проблема (Nikitina, 2006).

У оквиру стратегије концептуализације циљ је да се истакне да се различите појаве и процеси који се

изучавају у оквиру различитих научних дисциплина врло често заснивају на идентичним механизмима (Nikitina, 2006). На пример, ресорпција воде у дигестивном тракту човека и отварање стома код биљака заснивају се на процесу осмозе. Код таквог приступа улога наставника је да укаже на везе које постоје између различитих процеса, тј. да оспособи ученике да изврше трансфер знања из једне области у другу (Fink, 2003).

Контекстуализација подразумева разматрање знања из различитих наставних предмета у једном одређеном контексту. Нпр. разматрање открића атомске бомбе, које подразумева повезивање знања како из природних тако и из друштвених наука, може се сместити у историјски контекст Другог светског рата. Код ученика се на тај начин развија свест да атомска бомба није само продукт науке већ и одређеног периода у историји и политичких система који су доносили одлуке које су утицале на целокупно човечанство (Nikitina, 2006).

За разлику од контекстуализације где је акценат на увиђању суштинских веза између знања која су стечена у оквиру различитих наставних предмета, код решавања проблема акценат је на повезивању ових знања ради изналагања решења за одређени конкретан проблем, нпр. како да се спречи загађење животне средине у околини неке фабрике, која својства би требало да има лек за одређену болест и сл. (Nikitina, 2006).

## **СПЕЦИФИЧНИ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИЈЕ ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНЕ НАСТАВЕ**

### *ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНА ТИМСКА НАСТАВА*

За интердисциплинарну тимску наставу је карактеристично да је у обраду одређене наставне теме укључен већи број наставника различитих наставних предмета, при чему сваки од њих са ученицима обрађује онај део наставне теме за који је најкомпетентнији (Little & Hoel, 2011). Ученици који похађају такву наставу подељени су на мање групе (5-10 ученика) при чему свака група, са сваким од наставника, разматра дату наставну тему из угла одређеног наставног предмета. Сви ученици су у прилици да остваре директну комуникацију са наставником, што је велика предност таквог начина рада. Поред тога, ученици су у оквиру групе у могућности да дискутују о свему што уче, код њих се развија способност за сарадњу и комуникацију, а долази и до вршњачке едукације. Уколико се одређена наставна тема обрађује у неколико различитих разреда, могу се формирати и групе које чине ученици различитих узраста, при чему млађи ученици имају директну корист од знања и искустава ученика старијих разреда (Wentworth & Davis, 2002). Тимска настава најчешће није временски ограничена на часове одређеног трајања, већ се одвија у тзв. модулима који трају онолико колико је потребно да се одређени аспект наставне теме обради. Такође, постоје модули који су обавезни за све ученике, али и посебни модули за ученике који желе да стекну додатна знања.

## ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНА ПРОЈЕКАТСКА НАСТАВА

У интердисциплинарној пројекатској настави ученици су индивидуално или у групи задужени да у оквиру пројекта истраже одређено питање или реше одређени проблем повезујући знања из различитих наставних предмета. Пројекат има централно место у стратегији учења јер кроз њега ученици стичу нова знања из различитих дисциплина (Demirel & Coskun, 2010). Пројекти се разликују по степену структурираности задатака, тј. могу се разликовати структурирани, полу-структурирани и неструктурирани пројекатски задаци (Ивић и сар., 2001). За структуриране пројекатске задатке је карактеристично да је наставник тај који одређује тему или проблем који ће се истраживати, методологију рада и обезбеђује сву потребну литературу и материјал за рад. Код неструктурираних пројекатских задатака ученици самостално дизајнирају, изводе, анализирају и представљају резултате свог рада на тему коју су самостално изабрали користећи литературу до које су самостално дошли. Полу-структурирани пројекатски задаци подразумевају да су ученицима истраживачко поље и методологија рада задати, али је природа рада таква да се од њих очекује доста самосталности и одговорности. Овакав облик рада захтева већи утросак времена јер се ученици најпре морају обучити за пројекатску наставу, а и израда пројекта траје релативно дуго. Ипак овај недостатак је и више него надокнађен бројним позитивним странама пројекатске наставе, као што су осамостаљивање ученика и њихово оспособљавање да повезују знања и вештине из различитих наставних предмета у смислену целину која се може применити.

### ПРИМЕР ПРИМЕНЕ ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНОГ ПРИСТУПА НАСТАВИ У ОКВИРУ ОБРАДЕ НАСТАВНЕ ТЕМЕ *ВАРЕЊЕ*

У овом одељку ће бити приказано како се садржај наставне теме *Варење* може организовати према принципима интердисциплинарног приступа настави.

#### ПРОЦЕС *ВАРЕЊА* У УСТИМА И ЖЕЛУЦУ

Процес *варења* почиње у усној дупљи, где храна подлеже физичком и хемијском *варењу*. Кључну улогу у физичком *варењу* имају зуби, који крупне комаде хране раскидају на ситне делове. Током процеса уситњавања, храна се константно меша са *пљувачком*, због чега као финални продукт процеса *варења* у усној дупљи настаје кашаста маса која се назива *болус*. *Болус* без проблема клизи из усне дупље наниже кроз *ждрело* и *једњак* до *желуца*, док би чврсти комади *хране* лако могли да остану заглављени у *ждрелу* и *једњаку*.

*Пљувачка* је продукт *лучења* *пљувачних* *жлезда*. У усној дупљи су смештена три пара ових *жлезда*: *подјезичне*, *подвличне* и *доушне* *пљувачне* *жлезде*. Оне дневно произведу око 1-1,5 литара *пљувачке*. Пошто *продукте* *свога* *лучења* *посредством* *одводних* *ка-*

*нала* *излучују* *директно* у усну дупљу, *пљувачне* *жлезде* *припадају* *групи* *егзокриних* *жлезда*.

*Лучење* *пљувачке* *стимулисано* је присуством *хране* у усној дупљи (*присуство* *хране* *детектују* *рецептори* *који* *су* *осетљиви* *на* *притисак* *и* *рецептори* *за* *укус*), али је врло често и *мирис* *хране*, *чак* *и* *сама* *помисао* *на* *храну* *довољна* *да* *изазове* *њено* *лучење*. Осим што *помаже* *да* *се* *храна* *из* *чврстог* *преведе* у кашасто стање и тако *учествује* у физичком *варењу*, *пљувачка* је укључена и у процес *хемијског* *варења*. *Хемијско* *варење* у усној дупљи започиње захваљујући *ензимима* *амилази* *и* *липази* *које* *су* *саставни* *део* *пљувачке*. *Амилаза* *катализује* *хидролизу*  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) *гликозидних* *веза* у *скробу*. Пошто је овај *ензим* *активан* *само* у базној средини, *пљувачка* *садржи* *бикарбонатне* *јоне* *који* *обезбеђују* *оптималне* *услове* *за* *њено* *функционисање*. *Пљувачна* *липаза* је *ензим* *који* *катализује* *разлагање* *триацилглицерола* до *глицерола* *и* *масних* *киселина*, а *као* *и* *амилаза*, *активна* је *само* у базној средини. Оба *ензима* *настављају* *своју* *активност* у *ждрелу* и *једњаку*, а *инактивирају* *се* у *желуцу* где су *услови* *изразито* *кисели*.

У процесу *варења* у усној дупљи врло важну улогу има и *језик*. На површини *језика* *налазе* *се* *мале* *квржице* *које* *садрже* *ћелије* *које* *су* *осетљиве* *на* *сладак*, *слан*, *горак* *и* *кисео* *укус*. *Надраживање* *ових* *ћелија* *доводи* *до* *интензивнијег* *лучења* *пљувачке*, што је *неопходно* *за* *нормално* *одвијање* *процеса* *варења* у усној дупљи. *Горак* *укус* *хране* *даје* *већи* *број* *органичких* *супстанци*, *које* *углавном* *припадају* *класи* *алкалоида*. *Слан* *укус* *потиче* *од* *соли*  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaI}$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{NaBr}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{LiCl}$ . *Утврђено* је да *катјони* *ових* *соли* *знатно* *више* *доприносе* *сланом* *укусу* *од* *анјона*. *Сладак* *укус* *такође* *потиче* *од* *различитих* *супстанци*. У питању су *моносахариди* (*глукоза*, *галактоза*), *дисахариди* (*малтоза*, *лактоза*, *сахароза*), *аминокиселина* *аланин*, али и *неке* *друге* *органичне* *супстанце* *као* *што* је, *на* *пример*, *хлороформ*. *Храна* *која* је *богата* *скробом* *по* *доспећу* у усну дупљу *нема* *укус*, али *када* *услед* *дејства* *пљувачне* *амилазе* *дође* *до* *разградње* *скроба* *до* *малтозе*, *почињемо* *да* *региструјемо* *сладак* *укус*. *Кисео* *укус* *хране* *дају* *разне* *киселине* *као* *што* *су* *хлороводонична*, *млечна*, *сирћетна* *и* *лимунска* *киселина*.

*Као* *што* је *претходно* *наведено*, у усној дупљи *дејством* *пљувачне* *амилазе* *и* *липазе* *започиње* *хемијско* *варење* *скроба* *и* *триацилглицерола*, док *протеини* *остају* *хемијски* *непромењени*. *Хемијско* *варење* *протеина* *започиње* у *желуцу*.

*Варење* *протеина* у *желуцу* *одвија* *се* у *његовом* *највећем* *сегменту* *који* *се* *назива* *тело* *желуца*. У *зиду* *тела* *желуца* *налазе* *се* *четири* *типа* *ћелија* *које* *се* *не* *могу* *наћи* *ни* *на* *једном* *другом* *месту* у *цревном* *каналу*. *Пехарасте* *епителске* *ћелије* *луче* *дебео* *слој* *мукуса* *који* *облаже* *зидове* *желуца* *и* *тако* *их* *штити* *од* *оштећења* *које* *могу* *да* *изазову* *други* *продукти* *лучења* *желудачних* *ћелија*, а *један* *од* *најбитнијих* је *свакако* *хлороводонична* *киселина*, *коју* *луче* *паријеталне* *ћелије*. *Трећи* *тип* *ћелија* *специфичних* *за* *желудац* *су* *тзв.* *главне* *ћелије* *које* *луче* *пепсиноген*. *Пепсиноген* је *неактивни* *прекурсор* (*проензим*) *ензима* *пепсина*. Овај *ензим* *катализује* *хемијске* *реакције* *хидролизе* *пепти-*



дне везе, које доводе до цепања дугих полипептидних ланаца протеина, на краће пептидне фрагменте. Ензими који катализују реакције које доводе до разградње протеина, називају се протеолитичким ензимима или пептидазама. Сваки протеолитички ензим катализује реакције у којима долази до хидролизе пептидних веза у чијем формирању учествују тачно одређене аминокиселине. Пепсин катализује реакцију хидролизе пептидних веза унутар полипептидног ланца протеина (због чега спада у групу ендопептидаза) у чијем грађењу учествују аминокиселине. Пепсин се лучи у облику неактивног прекурсора, како у одсуству хране не би уништавао градивне протеине самог желуца. Пепсиноген може прећи у активни пепсин само у јако киселој средини (рН 3,5-1), коју обезбеђује хлороводонична киселина. Пепсин помешан са хлороводоничном киселином формира дигестивни желудачни сок. Још један тип ћелија који се може наћи само у желуцу су такозване Г ћелије. Оне луче хормон гастрин, који стимулише лучење продукта све три претходно наведене врсте ћелија.

Као што се из претходног текста може видети, липиди и угљени хидрати у желуцу не подлежу хемијском варењу. И док храна богата угљеним хидратима услед грчења мишића желудачног зида, релативно прелази у танко црево, са храном која је богата липидима то није случај. Интензивно и дуготрајно грчење желудачних мишића, које је за нас често веома непријатно, неопходно је како би се "лепљива" липидна маса мешањем са желудачним соком превела у облик житког хима који представља крајњи продукт процеса варења у желуцу. Због тога се оваква храна у желуцу и задржава знатно дуже од хране која је богата неким од остала два типа макро-нутријената.

Када рН у желуцу достигне вредност 1, по принципу негативне повратне спреге, долази до драстичног смањења лучења хлороводоничне киселине, а тиме се аутоматски смањује и активност пепсина. У том тренутку хим је спреман за прелазак у танко црево. Долази до релаксације пилоричног сфинктера који је до тада затварао пролаз ка дванаестопалачном цреву.

### *ВАРЕЊЕ У ТАНКОМ ЦРЕВУ*

Танко црево је најдужа компонента цревног канала. Дугачко је око 6 метара и у оквиру њега постоје три различита одељка: дуоденум, јејунум и илеум. Дуоденум се још назива и дванаестопалачно црево, јер је дугачак онолико колико и дванаест ручних палаца један до другог, тј. око 25 центиметара.

Доспеће киселог хима у дванаестопалачно црево покреће низ процеса. Специфичне Ц ћелије дванаестопалачног црева реагују на присуство киселог садржаја и луче хормон холецистокинин. Под дејством овог хормона у дванаестопалачно црево се из жучне кесе излучује жуч, а из панкреаса панкреасни сок, који садржи дигестивне ензиме у неактивном облику. Панкреасни сок има рН вредност око 9, јер се у дванаестопалачном цреву у присуству киселог хима поред холецистокинина истовремено лучи и хормон секретин који стимулише лучење бикарбоната у пан-

креасу. Алкални панкреасни сок неутралише хлороводоничну киселину из хима и тако спречава да киселина нагриза зидове танког црева. Садржај из желуца, у дванаестопалачном цреву услед даљег лучења бикарбоната из панкреаса брзо постаје алкалан, што је од кључног значаја, јер су дигестивни ензими панкреаса активни само у базној средини. Ови ензими катализују разградњу протеина, скроба, триацилглицерола и нуклеинских киселина.

Полипептидни ланци протеина разлажу се у дванаестопалачном цреву на кратке пептидне фрагменте и појединачне аминокиселине, дејством протеолитичких ензима панкреаса. Они се у панкреасу луче у облику неактивних проензима, који тек по доспећу у дванаестопалачно црево прелази у активну форму. Слично као и код пепсина у желуцу, лучење протеолитичких ензима панкреаса у неактивном облику је неопходно, јер када би се ови ензими директно лучили у активном облику, "нападали" би и уништавали и протеине панкреаса. Управо то се дешава код патолошког стања које се назива панкреатитис. Полипептидни ланци проензима, у односу на активне ензиме, садрже додатне пептидне фрагменте који су смештени у активно место ензима, чиме спречавају везивање протеинских супстрата. По доспећу у дванаестопалачно црево, цревни ензим ентерокиназа одсеца овај пептидни фрагмент код проензима трипсиногена, услед чега ензим постаје активан. Активирани трипсин затим, по истом принципу, активира проензиме осталих протеолитичких ензима панкреасног сока.

У хемијском варењу липиди у танком цреву, врло важну улогу имају жучне киселине. У питању су стероидна једињења која се синтетишу у јетри, полазећи од холестерола. Слободна карбоксилна група жучних киселина формира амидну везу са аминокиселине глицина или таурина и тако настају коњуговане жучне киселине. Натријумове соли коњугованих жучних киселина складиште се у жучној кеси, која их, стимулисана присуством холецистокинина, кроз жучни канал истискује у дванаестопалачно црево. Поред соли коњугованих жучних киселина, жуч садржи и холестерол, фосфолипиде, као и супстанце које јој дају боју. Једна од тих супстанци је жути билирубин који настаје разградњом хема из хемоглобина.

Триацилглицероли се у дванаестопалачном цреву разлажу дејством панкреасне липазе до глицерола и масних киселина. У химу који у дванаестопалачно црево доспева из желуца, неполарни молекули триацилглицерола, како би максимално смањили додирну површину са околном поларном средином, формирају крупне агрегате. Многобројним молекулима триацилглицерола који су "заробљени" унутар ових агрегата липаза не може да приђе. Ту у помоћ прискачу коњуговане жучне киселине. Молекули триацилглицерола са свих страна бивају окружени молекулима коњугованих жучних киселина, чији су неполарни репиви усмерени ка неполарном липидном молекулу, а негативно наелектрисане поларне главе ка споља. На тај начин крупни липидни агрегати бивају разбијени на ситне мицеле у оквиру којих је један липидни моле-

кул окружен огртачем који формирају молекули коњугованих жучних киселина. Због присуства поларних карбоксилних група површина ових мицела је негативно наелектрисана, па се оне међусобно електростатички одбијају, чиме је спречено поновно формирање агрегата. Процес разбијања крупних липидних агрегата на ситне мицеле дејством коњугованих жучних киселина назива се емулгација, јер липидне мицеле заједно са својим поларним окружењем (у коме су расуте попут ситних капљица) у дванаестопалачном цреву заправо формирају емулзију. Липидни молекули обавијени огртачем чија је спољна страна поларна сада се без проблема растварају у поларној алкалној средини дванаестопалачног црева и сваки од њих је лако доступан липази.

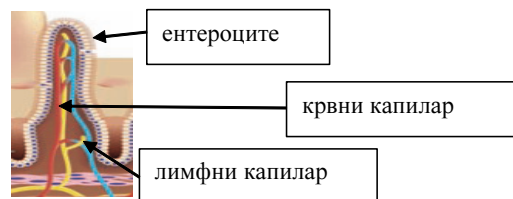
Због потребе за разбијањем крупних липидних агрегата, хемијско варење хране богате липидима у танком цреву се одвија знатно спорије и теже у односу на храну која је богатија другим класама нутријента. Ако се уз то има у виду да се храна овог типа пре преласка у танко црево знатно дуже задржава у желуцу, где је неопходно интензивно грчење мишића желудачног зида како би се превела у облик који може да пређе у танко црево, није чудно што је називамо "тешком" храном.

Панкреасни сок садржи и амилазу која као и пљувачна амилаза катализује хидролизу  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) гликозидних веза у скробу. Дејством панкреасне амилазе скроб се разлаже на кратке дисахаридне фрагменте малтозе. У панкреасном соку не постоји ензим који катализује разградњу  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4) гликозидних веза, због чега целулоза не спада у хранљиве супстанце и из организма се путем фецеса ослобађа у хемијски неизмењеном облику.

### РЕСОРПЦИЈА ХРАНЉИВИХ СУПСТАНЦИ

Продукти добијени дејством дигестивних ензима у лумену танког црева, још увек нису доступни за коришћење ћелијама организма. Да би се то десило мора доћи до њихове ресорпције. Моносахариди, аминокиселине, масне киселине, холестерол, као и део воде, ресорбују се у танком цреву и то у његова почетна два сегмента.

Зидови танког црева садрже велики број прстоликих израштаја који се називају вили. Захваљујући њима површина танког црева посредством које се ресорпција може обављати, увећана је око двадесет пута. Зидови сваког од ових израштаја састоје се из једног слоја специфичних епителских ћелија, ентероцита. У оквиру сваког вилуса, уз саме ентероците налази се по један крвни и један лимфни капилар. Имајући у виду овакву структуру вили, процес ресорпције се одвија на следећи начин: 1) нутријенти из лумена црева најпре бивају преузети од стране ћелија ентероцита. 2) ентероцити предају нутријенте крви или лимфи из оближњих крвних и лимфних капилара. Посредством крви и лимфе нутријенти доспевају до свих ћелија у организму којима су потребни.



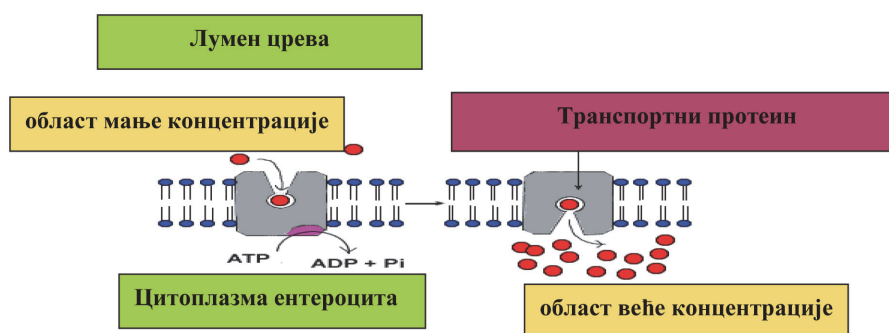
Слика 1. Структура вилуса

### РЕСОРПЦИЈА МОНОСАХАРИДА, АМИНОКИСЕЛИНА И МАСНИХ КИСЕЛИНА

Разградњом скроба, коју катализује амилаза пљувачних жлезда и панкреаса, настаје превасходно дисахарид малтоза. У лумен танког црева путем хране доспевају и дисахариди сахароза и лактоза. Дисахариди су превелики да би прошли кроз мембрану ентероцита, због чега се на мембрани ових ћелија налазе ензими малтаза, сахараза и лактаза који катализују реакције разградње ових дисахарида до одговарајућих моносахарида, који могу да прођу кроз мембрану.

Транспорт глукозе из лумена танког црева у цитоплазму ентероцита захтева утрошак енергије, јер се транспорт врши насупрот концентрационом градијенту. Транспорт супстанци насупрот концентрационом градијенту захтева енергију и назива се активним транспортом. Глукоза као поларна супстанца не може да прође кроз фосфолипидну мембрану ентероцита на било ком месту, већ само на местима где постоје за њу специфични протеински рецептори. Ови рецептори специфично препознају и везују само глукозу, али је неће транспортовати насупрот концентрационом градијенту без довођења енергије. Они функционишу тако што она страна рецепторског молекула која је окренута ка цитоплазми специфично везује АТП, катализује његову хидролизу и тиме се добија енергија потребна за транспорт. Приликом катализовања ове хидролизе рецептор мења свој облик, при чему се отвара пролаз за прелазак глукозе у цитоплазму. По истом принципу, уз учешће специфичних рецептора, врши се транспорт и осталих моносахарида, као и аминокиселина у цитоплазму ентероцита.

Ресорпција масних киселина и холестерола заснива се на процесу дифузије. Због њихове неполарне природе, за транспорт ових молекула посредством ћелијске мембране ентероцита, нису потребни транспортни протеини. Сви неполарни молекули слободно пролазе кроз фосфолипидни двослој на било ком делу мембране. У складу с карактеристикама процеса дифузије, транспорт се врши низ концентрациони градијент, тј. из области веће у област мање концентрације, и зато не захтева утрошак енергије. У ентероцитима се масне киселине везују за глицерол и поново образују молекуле триацилглицерола. За разлику од моносахарида и аминокиселина, липидни молекули из ентероцита најпре прелазе у лимфни систем, али се лимфни судови уливају у крвне судове, па тако и липидни молекули доспевају у крв.



Слика 2. Механизам ресорпције моносахарида и аминокиселина - активни транспорт

### РЕСОРПЦИЈА ЕТАНОЛА И АСПИРИНА

О ресорпцији етанола у дигестивном систему често се могу чути потпуно погрешне информације, попут оних да се овај процес одвија искључиво у желуцу, или да унос млека у организам може да га заустави.

Чињеница је да се око 20% етанола заиста ресорбује у желуцу, али главнина, тј. око 80% укупне количине, ресорбује се у танком цреву, путем прости дифузије из лумена црева у цитоплазму ентероцита. Из ентероцита, етанол прелази у крвоток, а крвљу се, пошто је растворљив у води, транспортује у слободном облику. Етанол из крвотока несметано пролази крвно-мождану баријеру и прелази у цитоплазму можданих ћелија. На тај начин изазива облике понашања који су карактеристични за интоксикацију алкохолом.

Ресорпција етанола се не може зауставити, али се може успорити ако се обезбеди његово дуже задржавање у желуцу. То се постиже уносом хране у организам заједно са алкохолом или непосредно пре конзумирања алкохола. Посебно је погодна храна богата липидима (а ту спада и млеко богато млечним мастима) јер се таква храна дуже задржава у желуцу, а са собом задржава и етанол. У таквим условима етанол врло споро прелази у танко црево, па се споро и ресорбује. Постизање максималне концентрације етанола у крви тада се може одложити за чак шест сати у односу на тренутак његовог уноса у организам. Такође, ова максимална концентрација је далеко мања од оне која би се постигла без присуства хране. Газирана пића (рум, кисела вода, кока-кола) имају супротан ефекат, тј. њихово присуство убрзава прелазак етанола у танко црево, а тиме и његову ресорпцију.

Мале количине алкохола стимулишу лучење желудачног сока, због чега се пре почетка оброка често препоручује по једна чаша вина. Велике количине алкохола, међутим, спречавају лучење желудачног сока и иритирају ћелије желудачног зида.

У желуцу долази до ресорпције разних лекова, као што је, на пример, аспирин. У овом случају ресорпција у желуцу је итекако пожељна, јер лекови на тај начин далеко брже доспевају у крвоток него када би се ресорбовали у танком цреву, па и њихово дејство почиње раније да се испољава.

### РЕСОРПЦИЈА ВОДЕ

До ресорпције извесне количине воде долази и у танком цреву, али се главнина воде ипак ресорбује у дебелом цреву. Ресорпција воде заснива се на процесу осмозе. Садржај који се налази у лумену дебелог црева као и цитосол (течна компонента цитоплазме) ћелија зида дебелог црева, представљају заправо два водена раствора у којима је укупна концентрација растворених супстанци различита и која су раздвојена селективно пропустљивом ћелијском мембраном. У процесу осмозе вода спонтано прелази из раствора у коме је укупна концентрација растворених супстанци мања, у раствор у коме је укупна концентрација растворених супстанци већа и на тај начин разблажује концентровану раствор. Кроз фосфолипидни двослој мембране поларни молекули воде пролазе захваљујући специфичним протеинским каналима који се називају аквапорини.

### ЗАКЉУЧАК

Интердисциплинарни приступ настави подразумева повезивање сродних садржаја из различитих наставних предмета у јединствену целину организовану око одређеног проблема или теме. Интердисциплинарни приступ оспособљава ученике за сналажење у реалном животу који не познаје границе између наставних предмета и научних дисциплина, развија когнитивне способности ученика, оспособљава их за критичко мишљење и целовито сагледавање сваког проблема, као и за сагледавање последица примене сваког новог научног-технолошког поступка из угла етике и заштите животне средине. Пошто наставници било ког од наставних предмета из области природних наука у највећем броју случајева већ поседују основна знања из других наставних предмета из ове области, прелазак на интердисциплинарни начин рада не би требало да буде исувише компликован процес, нити да захтева додатна материјална улагања. У овом раду представили смо садржај за обраду наставне теме *Варење* као помоћ и подстицај наставницима за увођење интердисциплинарног приступа у наставу природних наука.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Barton, K., Smith, L., (2000), Themes or Motifs? Aiming for Coherence Through Interdisciplinary Outlines, *The Reading Teacher*, 54(1), 54-63.
2. Nikitina, S., (2006), Three strategies for interdisciplinary teaching: Contextualizing, conceptualizing, and problem-solving, *Journal of Curriculum Studies*, 38(3) 251-271.
3. Jones, C., (2010), Interdisciplinary Approach - Advantages, Disadvantages, and the Future Benefits of Interdisciplinary Studies, *ESSAI: 7(26)*, <http://dc.cod.edu/essai/vol7/iss1/26>
4. Newell, H.W., (2001), A Theory of Interdisciplinary Studies, *Issues of Integrative Studies*, 10, 1-25.
5. Klein, J.T., (1990), Interdisciplinarity: History, theory, and practice, Wayne State Univ. Press, Detroit, MI., 43-45.
6. Fink, A., (2003), Creating Significant Learning Experiences: an integrative approach to designing college courses, John Wiles and Sons, 43-57.
7. Little, A., Hoel, A., (2011), Interdisciplinary Team-Teaching: An effective method to Transform Students' Attitudes, *The Journal of Effective teaching*, 11(1), 36-44.
8. Wentworth, J., Davis, J.R., (2002), Enhancing interdisciplinarity through team teaching. In C. Hayes, (ed.) *Innovations in Interdisciplinary Teaching*, Oryx Press, Phoenix, AZ, 16-37.
9. Demirel, M., Coskun, D. Y., (2010), Case Study on Interdisciplinary Teaching Approach Supported by Project Based Learning, *The International Journal of Research in Teacher Education*, 2(3), 28-53.
10. Ivić, I., Pešikan, A., Antić, S., (2001), Aktivno učenje, Institut za psihologiju, 110-114.

### Abstract

#### INTERDISCIPLINARY APPROACH TO SCIENCE TEACHING

**Katarina PUTICA, Inovation Center of Faculty of Chemistry, University of Belgrade, puticakatarina@gmail.com**  
**Dragica TRIVIĆ, Faculty of Chemistry, University of Belgrade, dtrivic@chem.bg.ac.rs**

In this paper we elaborate the interdisciplinary approach to science teaching and present a concrete example of its application in the elaboration of the theme *Digestion*.



## ТРИБИНА



**Живорад Чековић, академик САНУ**

### СРПСКА ХЕМИЈСКА ДИЈАСПОРА НАУЧНИ И СОЦИЈАЛНИ ПРОБЛЕМ СРБИЈЕ

Током последњих четири-пет деценија Србију је напустио велики број (не знам тачно колики) младих, школованих и талентованих стручњака и научника; отишли су за стално. Намера ми је да овде поменем имена неких хемичара који су отишли (побегли) у иностранство, које смо скоро заборавили, а неки од њих су у новим условима и срединама постигли запажене научне резултате.

Први хемичари Србије, крајем 19. и почетком 20. века, углавном су се школовали на иностраним универзитетима у Немачкој, Швајцарској или Француској. Са развојем хемијске науке у Србији хемичари су се све више школовали на Београдском универзитету али су после завршетка студија одлазили на иностране универзитете на разне облике дошколовавања, израду докорских дисертација и других облика специјализација. У другој половини прошлог века нарочито су биле популарне постдокторске студије и студијски боровци у иностранству, претежно на америчким универзитетима. Међутим, тако дошколовани хемичари су се враћали у своју земљу и са новим знањима и амбицијама доприносили развоју земље и унапређењу науке у Србији.

Такав процес формирања врхунских хемичара на Универзитету (па и у привредним делатностима) трајао је све до шездесетих-седамдесетих година прошлог века од када почиње одлазак младих хемичара у иностранство на даље школовање. Међутим, знатан део формираних научника није се

враћао у земљу. Тај процес одласка младих хемичара на даље школовање и сталан боравак у иностранству постајао је све интензивнији а нарочито у деведесетим годинама прошлог века. Услед тешког економског и опште друштвеног стања у земљи одлив младих талентованих хемичара и даље се наставио до садашњих забрињавајућих размера. На овакав пут одласка без повратка опредељивали су се углавном најбољи, најуспешнији и најхрабрији студенти. Наставак школовања на постдипломским студијама на иностраним универзитетима била је уобичајена пракса и већина од њих стекла је звање доктора хемијских наука. Део оних најамбициознијих се опредељивао за академску каријеру, део за примењена истраживања и велике компаније а део се бавио осталим пословима (трговина, образовање и слично).

Овде у Србији ни државна власт а нити универзитетски естаблишменти нису показивали било какво интересовање за судбину ових младих људи и нису предузимали никакве мере да се заустави овај, за земљу катастрофалан, једносмерни процес. Напротив, утисак ми је да је власт са симпатијама посматрала одлив талентованих и способних људи јер ће њиховим одласком стање у земљи бити „мирније“ и имаће мање социјалних и друштвених проблема. Деценијама дуготом процесу одлива младих научних кадрова практично се вршила негативна селекција просечних кадрова како за обнављање научних кадрова на универзитетима тако и стручних кадро-

ва од значаја за успешно функционисање привреде и државе.

Овде ћу навести имена неких (тада) младих хемичара који су напустили земљу а који су успешно наставили школовање у иностранству а многи од њих започели успешне научне каријере на реномираним универзитетима или се баве научним истраживањима у највећим светским хемијским или фармацевтским компанијама. Намера ми је да објављувањем њихових имена ти млади људи стекну утисак да нису заборављени, да бар неко у матици прати њихов научни развој и радује се њиховим научним успесима. Овде су наведена само имена оних хемичара за које знамо где су и чиме се баве али поред наведених колега сигуран сам да има још доста оних чија имена треба уврстити у овај списак. Очекујем од млађих колега да подрже ову акцију и објаве податке за овде ненамерно изостављена имена младих хемичара.

Надам се да ће овај дугачак и импресиван списак успешних научника у дијаспори забринути одговорне јавне личности и да ће предузети мере да се заустави даљи одлив младих талентованих научних кадрова. Верујем да ће коначно схватити да ће за земљу бити делотворније, а да ће власт бити успешнија и популарнија, ако се определе да за своје сраднике радије бирају са оваквих спискова а не само оне послушне.

*Јовица Бађић* је дипломирао на Хемијском факултету (1994) на Катедри за органску хемију (први је направио фулерен), докторску тезу урадио је на Државном Ајова Универзитету у САД (2001) на постдокторским студијама боравио је на Калифорнијском универзитету у Лос Анђелесу. За доцента на Државном универзитету у Охају, САД, изабран је 2004 а за редовног професора 2014 године. Научним радом бави се у областима супрамолекуларне хемије, физичке органске хемије, органске синтезе, молекуларног енкапсулирања и самуређивања молекула. Из ових области објавио је велики број научних радова.

*Даница Галоњић (Фујимори)* је дипломирала на Катедри за органску хемију Хемијског факултета (2000). Постдипломске студије наставила је на Илиноиском универзитету у Урбани, САД, где је одбранила докторску тезу (2005). На постдокторским студијама боравила је на Калифорнијском универзитету у Сан Франциску где је изабрана је за доцента у Департману за ћелијску и молекуларну фармакологију (2009) а за ванредног професора 2014. Научним радом бави се у областима хемијске биологије и медицинске хемије а посебно синтезама нуклеинских киселина, биокоњугацији и самуређивању молекула, конструкцији и реконструкцији ткива, ћелијским интеракцијама, из ових области има велики број научних публикација.

*Бранислав Мушички* завршио је студије хемије 1980 на Катедри за органску хемију Хемијског факултета. Постдипломске студије наставио је на Харвардском универзитету, САД, где је успешно одбранио докторску тезу (1987). На постдокторским студијама боравио је на неколико универзитета а намеравао је да се врати у Београд али услови на Факултету нису били такви да га прихвате. Каријеру је наставио у познатим светским хемијским компанијама прво у Авертису а затим у Галдерми у Француској. Научним радом бави се у области органске хемије, органске синтезе, хемије природних производа и примене хемијских производа у козметологији и парфимерији. Објавио је велики број запажених научних радова и козметичких патената.

*Милан Стојановић* је дипломирао на Хемијском факултету у Београду (1989) и постдипломске студије наставио на Харвардском универзитету у Кембриџу, САД на коме је одбранио докторску тезу 1995 из области органске синтезе. На постдокторским студијама боравио је на више универзитета и 2003 се запослио у Одељењу за клиничку фармакологију на Колумбија универзитету, САД. Научним радом бави се у области биомедицинског инжењеринга, развија самооперационе молекуларне аутомате који се могу програмирати. Из ових области има више објављених научних радова. Изабран је за иностраног члана САНУ.

*Јасна Клицић*, дипломирани хемичар, студије хемије завршила је на Хемијском факултету (1989) а докторску тезу из области примене компјутера у органској хемији одбранила је (1995) на Колумбија универзитету у Њујорку, САД. После постдокторских студија на неколико америчких универзитета стално запослење добила је у компанији Boehringer, Ingelheim у Немачкој.

*Ђорђе Лалић* успешно је завршио студије хемије на Хемијском факултету (1998) и затим постдипломске студије наставио на Харвардском универзитету у САД, где је и одбранио докторску тезу (2004). На постдокторским студијама боравио је на неколико америчких универзитета да би академску каријеру започео избором за доцента на Вашингтонском универзитету. Научним радом успешно се бави у области органске синтезе, енантоселективним синтезама природних производа, катализама прелазним металима и сличним областима. Из ових области објавио је велики број научних радова.

*Отиен Миљанић* студије хемије завршио је на Хемијском факултету (2000) а затим постдипломске студије наставио на Калифорнијском универзитету у Берклију, САД, где је одбранио докторску тезу 2005. На постдокторским студијама боравио три године а затим је добио академски посао на Универзитету у Хјустону САД. Научним радом бави се у областима синтетичке и супрамолекуларне хемије. Из ових области објавио је преко 60 веома запажених научних радова.

*Горан Пејровић* је дипломирао на Хемијском факултету (1995) и постдипломске студије наставио на истом факултету где је успешно одбранио и докторску тезу (2001). На постдокторским студијама боравио је на универзитету у Северној Дакоти и Scripps Research Institute, САД. Научним радом бавио се у области слободнорадикалске хемије и примене радикалских реакција у синтези, затим органском синтезом и биотехнологијом. Запослен је у компанији Senomux, San Diego, САД, где је изабран за водећег истраживача. Објавио је велики број научних радова и патената.

*Филип Пејронијевић* је дипломирао на Хемијском факултету (2006) и постдипломске студије наставио на Универзитету у Питсбургу, САД где је одбранио докторску тезу 2012. На постдокторским студијама боравио на Принстон универзитету у САД. Научним радом бави се у области органске синтезе и синтетичких органских реакција.

*Иван Трифуновић* је завршио студије хемије на Хемијском факултету у Београду (1987) а докторску тезу урадио је на Калифорнијском универзитету у Лос Анђелесу, САД. После завршетка докторских студија бави се применом медицинске опреме и савремених технологија у медицини.

*Ксенија Глушац*, дипломирани хемичар, студије хемије завршила је 1999 на Хемијском факултету а докторске студије завршила је на Државном универзитету на Флориди,

САД (2003). Боравила је на постдокторским студијама на неколико америчких универзитета а затим је изабрана за доцента на Мичигански универзитет у Ен Арбору у САД. Научним радом бави су у области фотосинтезе и повећању ефикасности соларних ћелија.

*Јелена Ђираковић* дипломирала је на Хемијском факултету на Катедри за органску хемију (1999), и постдипломске студија наставила на Калифорнијском универзитету у Ирвајну, САД, где је одбранила докторску тезу (2004). Исте године добила је запослење у америчкој компанији DuPont, Wilmington где се бавила примењеним истраживањима у области органске синтезе, нанотехнологијама, синтезе наночестица и из ових области објавила је више научних радова и патената. За главног истраживача у својој истраживачкој групи изабрана је 2014.

*Небојша Миловић* је завршио студије хемије на Хемијском факултету у Београду (1996) а постдипломске студије наставио је на Државном универзитету у Ајови, САД, на коме је одбранио и докторску тезу. На постдокторским студијама боравио је на Масачусетском технолошком институту (МПТ) у Бостону. Бавио се хемијом природних производа и биолошком активношћу органских једињења и природних производа. Запослио се у истраживачком институту фармaceutске компаније Новартис у Бостону.

*Милка Косић*, дипломирани хемичар, студије хемије завршила је на Факултету у Београду а постдипломске студије на Brendais Универзитету у Волтхаму, САД, где је одбранила и докторску тезу. На постдокторским студијама боравила је на Scripps Research Instituty Калифорнији САД. Запослила се у издавачкој компанији Cell Press у САД (2007).

*Василије Мановић* је дипломирао на Хемијском факултету и на истом факултету одбранио докторску тезу (2003) из области заштите животне средине. На постдокторским студијама боравио је на више америчких универзитета. Академску каријеру започео је на Cranfield Универзитету у Енглеској. Бави се апсорпцијом и хватањем штетних гасова из електрана и других индустријских погона, нарочито угљендиоксида, сумпор-диоксида и азотових оксида. Бави се и другим областима заштите животне околине.

*Жељко Пејровски* је дипломирао на Хемијском факултету у Београду (1999), постдипломске студије наставио у Португалији и на Универзитету у Лисабону одбранио је докторску тезу (2003). На постдокторским студијама (2004-2009) боравио је на више универзитета у Португалији и Бразилу. Запослио се на универзитету у Рио де Жанеиро, Бразилу. Научним радом се бави у области органске и медицинске хемије.

*Владимир Бељански*, је завршио студије хемије у Београду (1996), докторску тезу одбранио је на Етогу универзитету, Атланта, САД (2004). На постдокторским студијама боравио је на више универзитета. Научним радом бави се у области медицинске хемије и молекуларне фармакологије. Ради у центру за болести старења у Navato, САД.

*Љубица Тасић* је завршила редовне студије хемије (1994) и постдипломске магистарске студије (1998) на Хемијском факултету у Београду. Докторске студије похађала је на Универзитету Estadual de Campinas у Бразилу где је одбранила и докторску тезу. Научним радом се бави у области хемије природних производа, биолошке хемије и супрамолекулске хемије

*Селена Милићевић* је дипломирала на Хемијском факултету у Београду (2003), затим је постдипломске студије наставила на Државном орегонском универзитету, САД где је одбранила докторску тезу (2008). На постдокторским студијама боравила је на Илиноис универзитету, САД и на ЕТХ (Федералној техничкој школи) у Цириху.

*Ивана Божидаревић* је завршила студије хемије на Хемијском факултету у Београду (2006), на постдипломским студијама на државном флоридском универзитету у Геинсвилу, САД урадила је и одбранила докторску тезу. На постдокторским студијама боравила је у Институту за неуронауку у Геинсвилу. Академски положај добила је на Градском колеџу у Сан Франциску, САД.

За следеће млађе хемичаре у дијаспори нисам могао пронаћи податке о њиховом даљем школовању и месту боравка: Бојана Ракић, Марија Манојловић, Милан Црногорац, Наташа Поповић, Татјана Милић-Pasetto, Тамара Благојевић, Ивана Вилотијевић, Горан Ангеловски, Ивана Вељковић и Саша Мартиновић-Green. Они су завршили студије хемије на Хемијском факултету у Београду и поуздано се зна да су даље школовање наставили у иностранству

Поред ове младе хемијске дијаспоре која је Србију напустила за време ратничког распада старе државе и каснијег мирнодопског периода, хемичари су одлазили у иностранство и пре тога периода, нарочито седме до девете деценије прошлог века, али у знатно мањем броју. У седамдесетим и осамдесетим годинама следећи дипломирани хемичари који су докторске тезе одбранили на Универзитету у Београду напустили су земљу и научне каријере наставили у иностранству а то су: Милорад Рогић, Растко Мамузић, Владимир Стефановић, Борислав Богдановић, Милица Ђуричић, Момчило Миљковић, Божидар Степановић и Душан Миљковић. Одлазак хемичара у иностранство наставио се и у осамдесетим и деведестим годинама прошлог века и тада су отишли: Растко Вуков, Весна Трифуновић-Вуков, Ненад Костић, Емил Милосављевић, Ненад Јурањић, Мирјана Шабан, Драган Маринковић, Вукић Шошкић, Љиљана Солујић, Маријетка Кидрич, Борис Рихтер, Милица Рајковић и вероватно још неко. Наведени хемичари у иностранству су радили у разним компанијама хемијске индустрије, научно-истраживачким институтима као и на универзитетима. Из старије генерације нарочито успешни су били Милорад Рогић (који је дуго сарађивао са Нобеловцем Х. Ц. Брауном) затим Борислав Богдановић (имао веома запажене научне резултате у Макс-Планковом институту), Момчило Миљковић, Растко Вуков и Ненад Костић.

Ова списак српских хемичара у дијаспори, иако није потпун, садржи имена 51 научника од тога 20 хемичара старије генерације и 31 хемичара млађих генерација. Толики број научника имају научни институти или факултети средње величине. Губитак таквог научног потенцијала за земљу представља огромну материјалну штету а још већа је штета што наши најуспешнији научни услови не доприносе нучном развоју и свеукупном материјалном опоравку своје земље већ својим научним потенцијалима и знањима помажу и унапређују најразвијеније и најбогатије земље у свету.

Крајње је време да се макар покуша зауставити даљи одлив талентованих и способних младих стручњака и научника.