



D. Šabić*

Horvaćanska cesta 27
10 000 Zagreb

Kemija na blagdanskome stolu

Često se može čuti da je sve što ima veze s kemijom odnosno kemikalijama loše, da ne valja, da nije zdravo, da nije prirodno. Kao diplomirani kemijski inženjer, trenutno nastavnica kemije u srednjoj školi, osjećam obvezu svoje učenike te koliko je moguće i širu javnost, razuvjeriti u takvim mišljenjima. Stoga sam, potaknuta razmišljanjima i pitanjima koja su mi učenici postavljali na nastavnim satima, odlučila napisati ovaj članak.

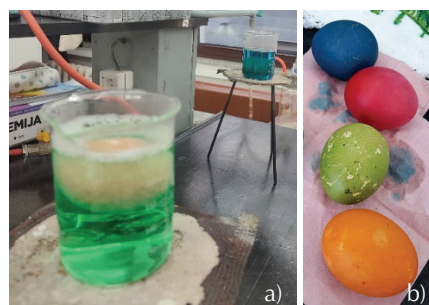
Na laboratorijskim vježbama nastavnog predmeta "Izabrani kemijski pokusi", pred Uskrs, volim s učenicima raditi vježbu "Izrada pisanica". Kad sam im predložila da radimo bojenje jaja biljnim pigmentima bili su oduševljeni. Popriličan broj učenika kazao je da je taj način bojenja jaja puno zdraviji, jer nema kemije i da se tako obojena jaja mogu jesti, dok se ova druga, obojena kemikalijama, misleći na tzv. kupovna bojila, ne preporuča jesti. Na to sam im postavila pitanje kako to misle da nema kemije. Kazali su da kad jaja bojimo prirodnim bojilima ne rabimo kemikalije. Potom sam im dala zadatak da se, do idućeg sata, informiraju o sastavu i načinu bojenja jaja tzv. kupovnim bojilima te da strukturu takvih bojila usporede sa strukturom prirodnih bojila.

Na vježbama smo za bojenje jaja odlučili upotrijebiti crveno vino, ljuske crvenog luka i kupovna (sintetska) bojila (slika 1).



Slika 1 – Priprema za bojenje jaja

Postupci su bili zaista jednostavni. Kod bojenja sintetskim bojilima u vruću vodu smo dodali ocat i bojilo, a potom tvrdo kuhana jaja. Jaja smo u smjesi ostavili stajati neko vrijeme (slika 2a), a nakon što smo ih izvadili, obrisali smo ih mekanom tkaninom i premazali uljem za bolji sjaj (slika 2b).



Slika 2 – Bojenje jaja sintetskim bojilima: a) stajanje jaja u smjesi octa i bojila i b) jaja nakon postupka bojenja

Kod bojenja crvenim vinom (slika 3) postupak je uključivao stavljanje u kontakt jaja, octa i crvenog vina nakon čega je slijedilo zagrijavanje sustava kraće vrijeme. Jaja smo također ostavili jedno vrijeme u smjesi, pustili smo da budu u kontaktu do sutradan kad smo ih izvadili, obrisali mekanom tkaninom i premazali uljem da budu sjajnija.



Slika 3 – Bojenje jaja crvenim vinom: a) dodatak crvenog vina u sustav, b) zagrijavanje sustava i c) jaja nakon postupka bojenja

Prilikom bojenja ljuskama crvenog luka postupak je bio vrlo sličan onome s crvenim vinom. Na ljusku jaja smo prislonili lišće te ga umetnuli u najlonsku čarapu i zavezali koncem (slika 4a). U posudu smo stavili ljuske crvenog luka, čarapu s jajima, ocat i vodu te zagrijavali sustav neko vrijeme (slika 4b). Po zagrijavanju pustili smo da jaja odstoje u smjesi neko vrijeme. Nakon vađenja iz smjese (slika 4c), uklonili smo čarapu pa potom listove, obrisali mekanom tkaninom i premazali uljem za bolji sjaj (slika 4d).

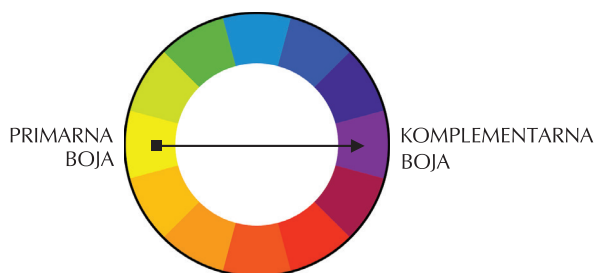
* Danica Šabić, dipl. kem. ing.
e-pošta: danicasabic@gmail.com



Slika 4 – Bojenje jaja ljuskama crvenog luka: a) stavljanje jaja u najlonku čarapu, b) zagrijavanje sustava, c) vađenje jaja iz sustava i d) jaja nakon postupka bojenja

Nakon pokusa potaknuta je rasprava tijekom koje su učenici iznosili mnoštvo zapažanja i zaključaka primjerenih njihovoj dobi i razini obrazovanja.

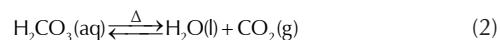
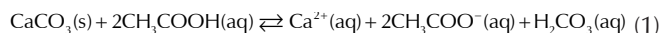
Naravno, ta problematika može se razmatrati i dodatno, osobito s fizikalno-kemijskog aspekta. Naime, s učenicima se može potaknuti rasprava zašto jaja nakon izloženosti bojilima percipiramo obojenima. Kad bijela svjetlost pogodi elektrone neke molekule, određene valne duljine svjetlosti bivaju apsorbirane, dok se ostatak reflektira.¹ Boja koju ljudsko oko vidi jest ona koja odgovara valnim duljinama reflektiranog zračenja te je komplementarna apsorbiranoj svjetlosti. Primjerice, ako neko tijelo obasjano bijelom svjetlošću apsorbira plavu boju, ljudsko ga oko vidi narančastim. Komplementarnost boja shematski je prikazana na slici 5. Nanošenjem bojila na površinu jaja, jaje prekrivamo molekulama koje imaju drugačije afinite za apsorbiranje pojedinih valnih duljina svjetlosti nego što to ima površina neobojanog jajeta, a posljedica toga je to što jaje percipiramo obojenim.



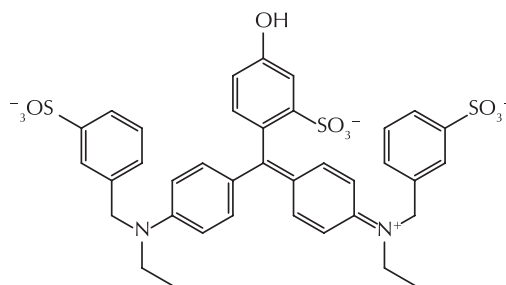
Slika 5 – Dijagram komplementarnih boja

Može se također raspravljati i o tome kako uopće dolazi do nanošenja boje na površinu jajeta. Kao prvo, u sva tri opisana postupka bojenja upotrebljavao se ocat. Zašto se dodaje ocat? Ljuska jajeta sadrži kalcijev karbonat (CaCO_3).² Kad se jaje potopi u ocat, dolazi do nagrizanja ljuske jajeta, konkretno do reakcije kalcijeva karbonata s octenom kiselinom prema jedn. 1. Taj proces lako se uočava zbog oslobađanja mjehurića plinovitog ugljikova(IV) oksida (CO_2) pri povišenoj temperaturi otopine (jedn. 2).³ Nagri-

zanjem ljuske jajeta povećava se površina na koju mogu prijanjati molekule bojila.



Ujedno, po nagrizanju dolazi do reakcije octene kiseline, odnosno pozitivnih iona vodika, s proteinima iz tanke membrane jajeta, kutikule, pri čemu dolazi do protoniranja proteina odnosno do nakupljanja pozitivnih naboja na površini ljuske jajeta. Bojila za jaja su organske molekule koje u vodi ioniziraju stvarajući kationski (pozitivni) i anionski (negativni) dio molekule. Uslijed protoniranja površine jajeta, molekule bojila mogu se vezati na površinu jajeta svojim negativno nabijenim dijelom. Na slici 6 prikazana je struktura ionizirane molekule sintetskog bojila "Fast Green FCF".



Slika 6 – Ionizirana molekula sintetskog bojila "Fast Green FCF"⁴

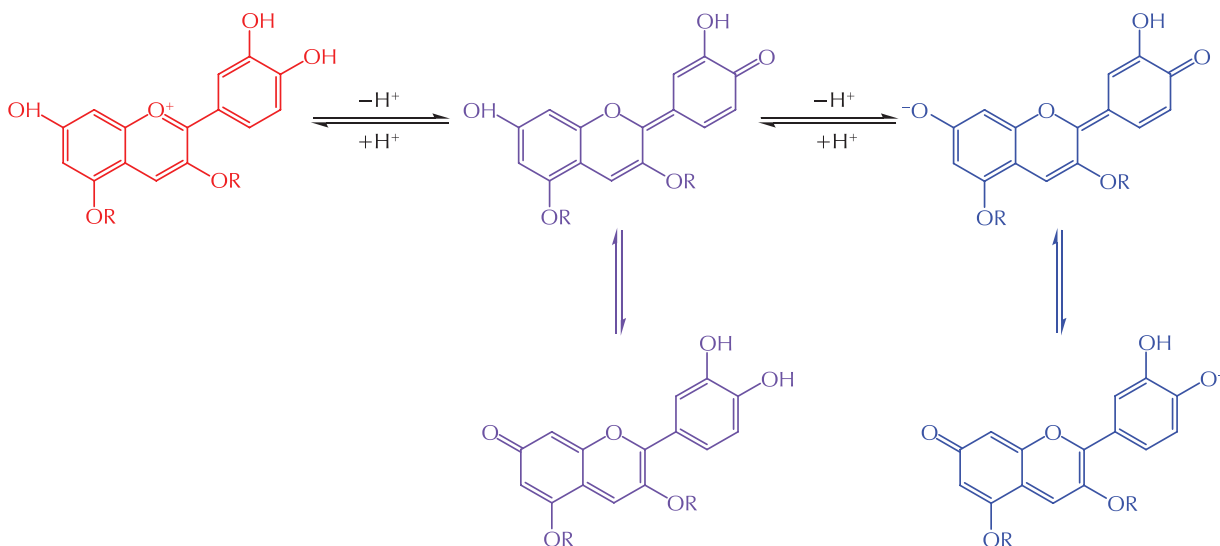
Naravno, octena kiselina nije jedina kiselina koja se može upotrebljavati u tu svrhu, a ovisno o jakosti kiseline varirat će i intenzitet obojenja: intenzivnija boja dobit će se upotrebom jačih kiselina (veća vrijednost konstante ionizacije, K_a). Tako se umjesto octa ($K_a = 1,8 \cdot 10^{-5}$) pri bojenju jaja može upotrebljavati aspirin (sadrži acetilsalicilnu kiselinu, $K_a = 3,3 \cdot 10^{-4}$), sok naranče (limunska kiselina, $K_a = 7,4 \cdot 10^{-4}$) ili vitamin C (askorbinska kiselina, $K_a = 7,9 \cdot 10^{-5}$).⁵

S učenicima se može raspravljati i o tome što daje boju namirnicama koje su upotrijebljene u pokusu. Moji učenici relativno su brzo došli do zaključka da boju namirnicama daju pigmenti koji su zapravo organski spojevi, vjerojatno kompleksne građe. Stoga se u sklopu te tematike može napraviti i kratki uvod u pigmente, objasniti učenicima što su zaista pigmenti, navesti njihovu podjelu, a zatim o svakom ponešto još izdvojiti. Naravno, preporuka je prilagoditi sadržaj stupnju obrazovanja učenika.

Pigmenti su tvari koje su intenzivno obojene te boje ili se mogu upotrebljavati u svrhu bojanja drugih materijala.⁶ Prema podrijetlu mogu se klasificirati kao prirodni ili sintetski, a po svojoj prirodi nisu nužno organski već mogu biti i anorganski. Međutim, s aspekta namirnica upotrijebljenih u opisanim pokusima bojenja jaja, fokus bi trebao biti na biološkim pigmentima. Biološki pigmenti su organski spojevi koje proizvode živi organizmi, a daju obojenje stanicama i tkivima u kojima se nalaze. Prisutni su u svakom organizmu od životinja (koža, oči) do gljiva i bakterija, a najviše se nalaze u biljkama (listovi, plodovi, cvijeće).⁷ Glavne klase su flavonoidi, karotenoidi, klorofili i betalaini.⁸

Flavonoidi

Flavonoidi su polifenolni spojevi koji su u visokim koncentracijama prisutni u epidermi lišća i plodova te imaju važne i različite uloge kao sekundarni metaboliti.⁹ Identificirano je više od 5000 flavonoida.¹⁰

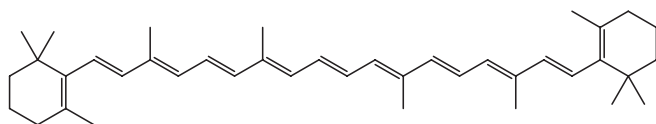


Slika 7 – Mijenjanje obojenja ovisno o promjenama u strukturi antocijanina iz crvenog kupusa. R može biti vodik ili glikozilni supstituent.¹⁴

Podskupina flavonoida su antocijanini,⁷ najvažnija skupina biljnih pigmenta topljivih u vodi. Antocijanini na svjetlu reflektiraju u tonovima od svijetloružičastog do tamnoplavog i odgovorni su za većinu crvene, plave, ljubičaste, pa čak i crne boje voća, povrća, žitarica, cvijeća i plodova.¹¹ Najčešće se ekstrahiraju iz grožđa, višanja, crvenog kupusa te iz bobica bazge ili crnog ribiza, a prisutni su i u kori crvenoga luka.¹² Antocijaninske boje su osjetljive na pH vrijednost, svjetlost, temperaturu i prisutnost metalnih iona.¹⁰ Tako primjerice, ovisno o pH vrijednosti, antocijanini prisutni u crvenom kupusu mogu davati intenzivne ružičaste, ljubičaste i plave nijanse¹³ (slika 7).

Karotenoidi

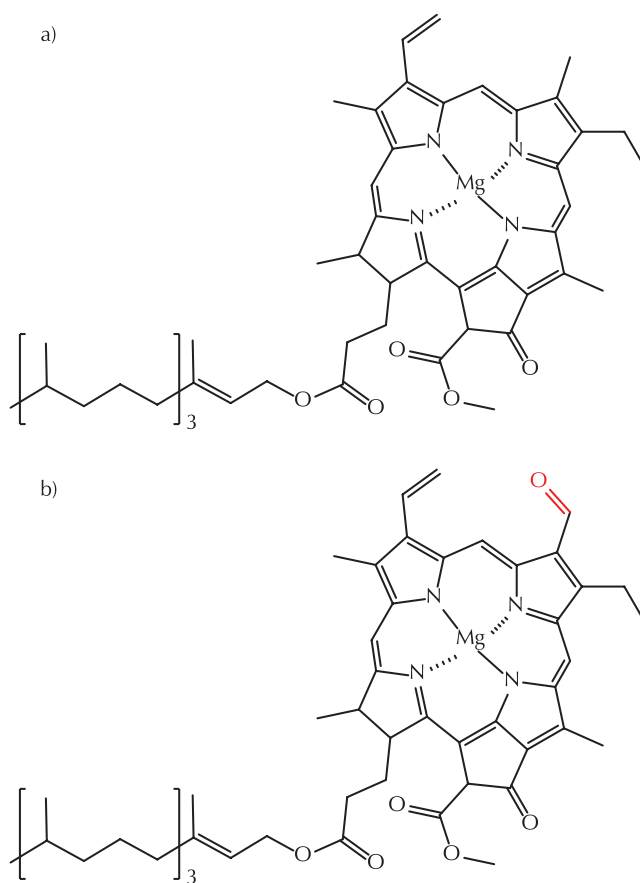
Karotenoidi su pigmenti netopljivi u vodi. Nositelji su žute, narančaste i crvene boje a nalaze se u voću i povrću. Najznačajniji među karotenoidima je narančasti pigment β -karoten (slika 8), redoviti pratilac pigmenta klorofila u zelenim biljkama, a nalazi se i u mnogim cvjetovima i plodovima; vjerojatno je općoj populaciji najpoznatiji zbog svoje prisutnosti u mrkvi. Ksantofil je žuti pigment (boja jesenjeg lišća) koji se nalazi u biljnim kloroplastima. Likopen daje crvenu boju rajčici i lubenici, β -kriptoksantin narančastu boju bundevi i naranči, a lutein žutu boju paprici i kukuruzu. Fukoksantin i rodoksantin nalaze u smeđim i crvenim algama.^{15,16} Neki od njih su prekursori vitamina A (β -karoten, γ -karoten i β -kriptoksantin).¹⁷



Slika 8 – Strukturna formula β -karotena¹⁸

Klorofili

Uz karotenoide i antocijanine, klorofili su najrasprostranjeniji biljni pigmenti u prirodi. Poznata su dva kemijska oblika klorofila koji se strukturno neznatno razlikuju (slika 9): modro-zeleni klorofil a i žuto-zeleni klorofil b.¹⁹ Navedeni tipovi klorofila nalaze se u većini zelenog povrća.

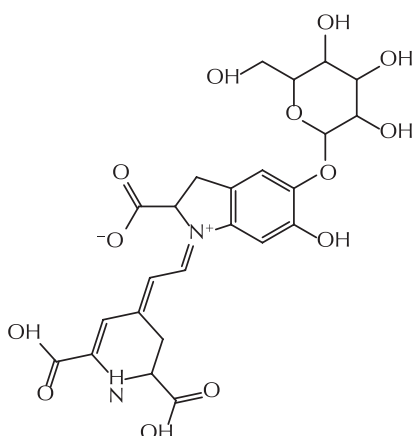


Slika 9 – Strukturne formule klorofila a (a) i klorofila b (b).²⁰ Strukturna razlika označena je crvenom bojom.

Betalaini

Betalaini su u vodi topljivi pigmenti koji sadrže dušik, a daju crveno-ljubičastu (betacijanini) i žutu (betaksantini) boju voću i povrću. U korijenu cikle i crvene repe nalazi pigment betanin pa se stoga ekstrakt (sok) cikle i crvene repe mogu upotrebljavati za

bojenje jaja u crveno. Strukturna formula betanina prikazana je na slici 10.^{8,21,22}



Slika 10 – Strukturna formula betanina ekstrahiranog iz crvene repe²³

Nakon rasprave koja je trajala izvjesno vrijeme, učenici su se usuglasili da ne bi trebali govoriti “bojenje jaja bez kemije” nego “bojenje jaja biljnim pigmentima”. Zaključili su da je sve oko nas kemija i da bez kemije ne postoji ništa, da su sve tvari kemikalije te se može jedino raspravljati jesu li sintetskog ili prirodnog porijekla. Također su istaknuli da će od sada svojim ukućanima i prijateljima objašnjavati kako kemija nije nužno loša, jer kemikalije nisu uvijek otrovne. Namirnice na blagovaonskom stolu od sada će percipirati na drugačiji način.

Literatura

1. I. Filipović, S. Lipanović, Opća i anorganska kemija – I. dio, Školska knjiga, Zagreb, 1995.
2. G. F. Stewart, The Structure of the Hen's Egg Shell, Poultr. Sci. **14** (1935) 24–32, doi: <https://doi.org/10.3382/ps.0140024>.
3. S. Bürgmayr, J. Tanner, W. Batchelor, A. F. A. Hoadley, CaCO₃ solubility in the process water of recycled containerboard mills, Nord. Pulp Paper Res. J. **38** (2023) 181–195, doi: <https://doi.org/10.1515/nppjr-2022-0042>.
4. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fast_Green_FCF.png (28. 8. 2023.).
5. URL: <https://www.sciencefriday.com/educational-resources/eggs-to-dye-for> (28. 8. 2023.).
6. URL: <https://www.britannica.com/technology/pigment> (28. 8. 2023.).
7. F. Delgado-Vargas, A. R. Jiménez, O. Paredes-López, Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains – Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability, Crit. Rev. Food Sci. Nutr. **40** (2000) 173–289, doi: <https://doi.org/10.1080/10408690091189257>.
8. A. Solovchenko, E. M. Yahia, C. Chen, Chapter 11 - Pigments Pigments, u E. M. Yahia (ur.), Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables, Woodhead Publishing, Chennai, India, 2019, str. 225–252, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00011-7>.
9. M. E. Cartea, M. Francisco, P. Soengas, P. Velasco, Phenolic Compounds in Brassica Vegetables, Molecules **16** (2010) 251–280, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules16010251>.
10. B. Alappat, J. Alappat, Anthocyanin Pigments: Beyond Aesthetics, Molecules **25** (2020) 5500, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules25235500>.
11. A. Smeriglio, D. Barreca, E. Bellocchio, D. Trombetta, Chemistry, Pharmacology and Health Benefits of Anthocyanins, Phytother. Res. **30** (2016) 1265–1286, doi: <https://doi.org/10.1002/ptr.5642>.
12. H. Guo, M. Xia, Chapter 12 - Anthocyanins and Diabetes Regulation, u R. R. Watson, V. R. Preedy i S. Zibadi (ur.), Polyphenols: Mechanisms of Action in Human Health and Disease (2. izd.), Academic Press, London, UK, 2018., str. 135–145, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813006-3.00012-x>.
13. URL: <https://www.zuahaza.com/journal/natural-dyeing-with-red-cabbage> (29. 8. 2023.).
14. URL: <https://www.chemedx.org/article/aqueous-red-cabbage-extracts-more-just-ph-indicator> (29. 8. 2023.).
15. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 2021., URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=30645> (18. 7. 2023.).
16. URL: <https://zdravozdravo.blogspot.com/2014/04/biljni-pigmenti.html> (29. 8. 2023.).
17. A. Podsedek, Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. LWT - Food Sci. Technol. **40** (2007) 1–11, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.023>.
18. T. W. Goodwin, The biochemistry of the carotenoids, Vol. 1, Plants, Chapman & Hall, London, UK, 1980.
19. J. Gross, Pigments in vegetables: Chlorophylls and Carotenoides. Van Nostrand Reinhold, New York, US, 1991.
20. C. Y. Hsu, P. Y. Chao, S. P. Hu, C. M. Yang, The Antioxidant and Free Radical Scavenging Activities of Chlorophylls and Pheophytins, Food Nutr. Sci. **4** (2013) 35234, doi: <https://doi.org/10.4236/fns.2013.48A001>.
21. B. Nemzer, Z. Pietrzowski, A. Spórna, P. Stalica, W. Thresher, T. Michałowski, S. Wybraniec, Betalainic and nutritional profiles of pigment-enriched red beet root (*Beta vulgaris* L.) dried extracts. Food Chem. **127** (2011) 42–53, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.08>.
22. H. B. Singh, K. A. Bharati, 6 - Enumeration of dyes, u H. B. Singh, K. A. Bharati (ur.) Handbook of Natural Dyes and Pigments, Woodhead Publishing India, New Delhi, India, 2014., str. 33–260, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-93-80308-54-8.50006-X>.
23. URL: <https://www.sigmaaldrich.com/HR/en/product/aldrich/901266> (29. 8. 2023.).