

17 (5): 271–85. Epub 2017/03/17. doi: 10.1038/nrc.2017.13. PubMed PMID: 28303904.

Shang, F. M., Liu, H. L., 2018: *Fusobacterium nucleatum* and colorectal cancer: A review. *World Journal of Gastrointestinal Oncology*, 10 (3): 71–81. doi: 10.4251/wjgo.v10.i3.71. PubMed PMID: 29564037; PubMed Central PMCID: PMC5852398.

Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., in sod., 2021: *Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries*. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. Epub 2021/02/04. doi: 10.3322/caac.21660. PubMed PMID: 33538338.

Thomas-White, K., Forster, S. C., Kumar, N., Van Kuiken, M., Putonti, C., Stares, M. D., in sod., 2018: *Culturing of female bladder bacteria reveals an interconnected urogenital microbiota*. *Nature Communications*, 9 (1): 1557. Epub 2018/04/19. doi: 10.1038/s41467-018-03968-5. PubMed PMID: 29674608; PubMed Central PMCID: PMC5908796.

Varian, B. J., Goureshetti, S., Poutahidis, T., Lakritz, J. R., Levkovich, T., Kwok, C., in sod., 2016: *Beneficial bacteria inhibit cachexia*. *Oncotarget*, 7 (11): 11803–16. doi: 10.18632/oncotarget.7730. PubMed PMID: 26933816; PubMed Central PMCID: PMC54914249.

Wu, P., Zhang, G., Zhao, J., Chen, J., Chen, Y., Huang, W., in sod., 2018: *Profiling the Urinary Microbiota in Male Patients With Bladder Cancer in China*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 8: 167. Epub 2018/05/31. doi: 10.3389/fcimb.2018.00167. PubMed PMID: 29904624; PubMed Central PMCID: PMC5990618.

Yadav, V., Talwar, P., 2019: *Repositioning of fluoroquinolones from antibiotic to anti-cancer agents: An underestimated truth*. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 111: 934–946. Epub 2019/01/08. doi: 10.1016/j.biopha.2018.12.119. PubMed PMID: 30841473. Yelin, I., Flett, K. B., Merakou, C., Mehrotra, P., Stam, J., Snesrud, E., in sod., 2019: *Genomic and epidemiological evidence of bacterial transmission from probiotic capsule to blood in ICU patients*. *Nature Medicine*, 25 (11): 1728–1732. Epub 2019/11/07. doi: 10.1038/s41591-019-0626-9. PubMed PMID: 31700189.

Zeng, J., Zhang, G., Chen, C., Li, K., Wen, Y., Zhao, J., in sod., 2020: *Alterations in Urobiome in Patients With Bladder Cancer and Implications for Clinical Outcome: A Single-Institution Study*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10: 555508. Epub 2020/12/15. doi: 10.3389/fcimb.2020.555508. PubMed PMID: 33384966; PubMed Central PMCID: PMC7769872.

Rastlinske interakcije • Alelopatске lastnosti alkaloidov iz plodov črnega poprovca (*Piper nigrum* L.)

Alelopatске lastnosti alkaloidov iz plodov črnega poprovca (*Piper nigrum* L.)

Matej Vošnjak, Kim Kneisel, Gaja Mrzelj, Lara Petrič, Miha Slapničar

Črni poprovec je večletna lesnata ovijalka iz družine poprovc (Piperaceae), ki lahko v višino zraste do devet metrov. Iz stebila poganjajo številne vitice, ki omogočajo rastlini oporo, pomoč pri ovijanju in pritrjevanje na druge rastline ali površine (slika 1). Listi so najčastejše oblike, zgornja stran je svetleče temno zelene barve, spodnja pa blede zelene barve. Rastlina razvije podolgovata socvetja z drobnimi, belimi cvetovi, iz katerih se razvije petdeset do šestdeset plodov – jagod (slika 1) (Ravindran, 2006).

Črni poprovec so začeli gojiti v vlažnih tropskih gozdovih v jugozahodnem območju Indije. Plod rastline je znan kot ena od najpomembnejših in najbolj razširjenih vsestranskih začimb na svetu, ki se zaradi izrazite ostrine in arome uporablja v vsaki kuhinji. V svetu črni poper predstavlja približno dvajset odstotkov celotnega uvoza vseh začimb. Trenutno poper pridelujejo v šestindvajsetih državah po svetu, med katerimi veljajo za največje pridelovalke Vietnam, Indija in Indonezija (FAO, 2020). Glede

na način obdelave plodov črnega poprovca ločimo črni, beli in zeleni poper (slika 2). Ti se med seboj razlikujejo po več lastnostih (barvi, vsebnosti suhe snovi, hranilni vsebnosti in drugih lastnostih) ter tudi glede na vsebnost sekundarnih metabolitov, predvsem piperina, katerega vsebujeta največ beli in črni poper (Ahmad in sod., 2015; Codex Alimentarius, 2017; Schulz in sod., 2005).

Črni poper ima tudi insekticidne in fungicidne lastnosti, zato se ga velikokrat uporablja pri varstvu rastlin pred boleznimi in škodljivci. Različni deli rastline se predvsem zaradi visoke vsebnosti sekundarnih metabolitov uporabljajo kot zdravila, konzervansi in kot naravna sredstva s široko biološko uporabnostjo (Ravindran, 2006).

Plodovi so v splošnem sestavljeni iz spojin, ki prispevajo k ostrini (predvsem alkaloid piperin), ter iz spojin, ki dajejo značilno aromo (eterična olja). Analiza hranilne vrednosti črnega popra kaže prisotnost številnih vitaminov, mineralov, elektrolitov in prehranskih vlaknin (USDA, 2020).

Alkaloidi predstavljajo najbolj raznoliko skupino sekundarnih metabolitov, organskih dušikovih spojin naravnega izvora, ki imajo raznolike fiziološke učinke na ljudi in tudi

ostale organizme. V naravi v največji meri nastajajo pri rastlinskem metabolizmu iz primarnih metabolitov (sladkorjev) (Ojima in Iula, 1999).

Glede na kemijsko zgradbo (prisotnost heterocikličnega obroča v molekuli spojine) lahko alkaloidne razdelimo v več pomembnih skupin, med katerimi je tudi skupina piperidinskih alkaloidov. Med piperidinskimi in piperaminskimi alkaloidi imajo največ potenciala za različne biološke dejavnosti piperin, piperetin, piperanin in piperid (Chopra in sod., 2016). Glavni predstavnik piperidinskih alkaloidov je piperin (slika 3), ki se pojavlja predvsem v rastlinah iz družine poprovc (Piperaceae). Piperin (E,E-(trans-trans)-piperin, $C_{17}H_{19}NO_3$) je sestavljen iz aromatskega in aminskega dela (piperidinski heterocikel), oba dela pa povezuje aciklična alifatska veriga (slika 3) (Chopra in sod., 2016; Ojima in Iula, 1999). Piperin spada med najbolj zastopane sekundarne metabolite v plodovih črnega popra. V popolnoma čisti obliki lahko piperin pridobimo le v laboratoriju z uporabo različnih metod (Gorgani in sod., 2017) (slika 4).

Za piperin in piperidinske alkaloidne so značilne raznolike biološke aktivnosti (Da-

Slika 1: Socvetje s cvetovi (levo), videz (sredina) in nedozoreli plodovi (desno) črnega poprovca.



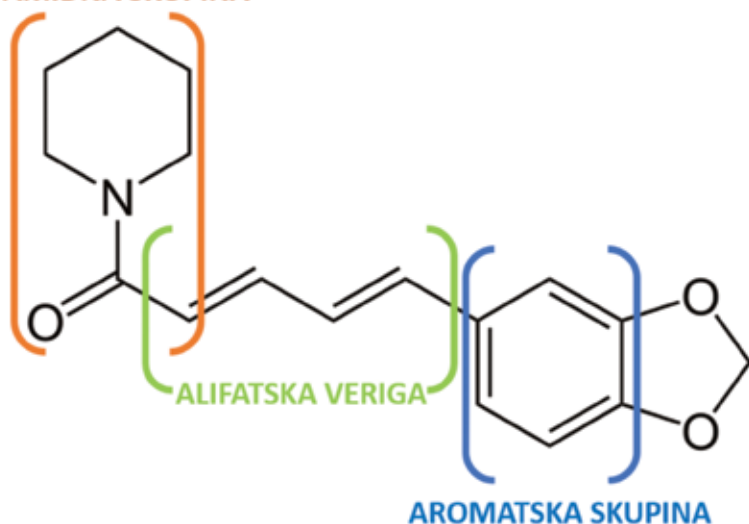


Slika 2: Beli poper (levo), črni poper (sredina) in zeleni poper (desno).

manhoury in Ahmad, 2014; Ahmad in sod., 2015), nekaj jih je predstavljenih na sliki 5. Različni biotski in abiotski dejavniki lahko ob nizki koncentraciji hranil v zemlji povzročijo produkcijo piperina in drugih kemijskih spojin, ki običajno niso prisotne v črnem poprovcu in se pojavljajo v najmanjših koncentracijah. Snovi, ki jih določena rastlina v takšnih razmerah proizvaja (alelokemikalije), lahko zavirajo rast rastlin, ki rastejo v njihovi okolici. Opisani proces imenujemo alelopatija. Običajno se izraz uporablja za

izražanje zaviranja rasti, kalitve in razvoja rastline s sproščanjem alelokemikalij druge rastline v okolje (Rizvi in sod., 1992). Alelokemikalije so večinoma sekundarni rastlinski metaboliti, ki se v okolje sproščajo z razpadom rastlinskih ostankov, s koreninskimi izločki in z izhlapevanjem ali odcejanjem z rastlin, ko so rastline izpostavljene stresu zaradi napada škodljivcev in bolezni, visokih ali nizkih temperatur, pomanjkanja ali presežka vode in drugih dejavnikov (Weir in sod., 2004). Spojine z alelopat-

AMIDNA SKUPINA



Slika 3: Skeletna formula molekule piperina s funkcionalnimi skupinami (Ojima in Iula, 1999).



Slika 4: Princip izolacije piperidinskih alkaloidov iz plodov črnega poprovca.

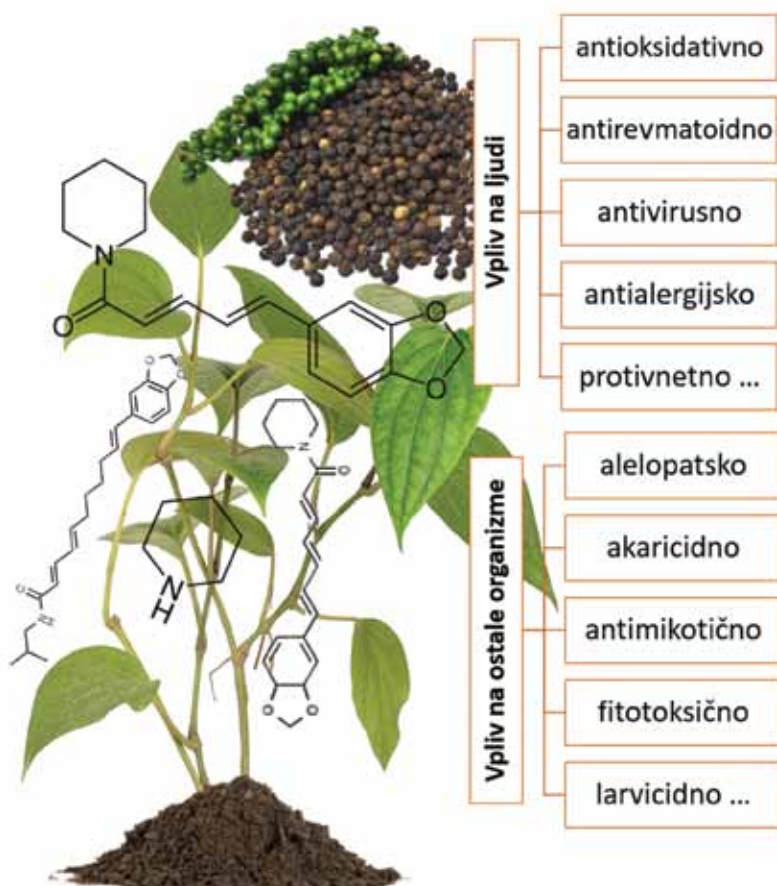
skimi učinki lahko v splošnem razdelimo v tri skupine: fenoli, terpeni in spojine, ki vsebujejo dušik (alkaloidi) (Rizvi in sod., 1992). Alkaloidi so poznani kot alelokemikalije, saj lahko zavirajo rast drugih rastlin z izločanjem v okolje. Vsebnost teh sekundarnih metabolitov se v različnih organih rastline spreminja s starostjo in z biotskimi ter abiotskimi dejavniki (temperaturo, vlago) (Hammouti in sod., 2019).

Alelokemikalije vplivajo na odpornost, prevodne elemente, genetski material in na številne procese v rastlinah, ki so jim izpostavljene, kot so dihanje, encimska aktivnost, fotosinteza, uravnavanje hormonov, privzem mineralov, zapiranje in odpiranje listnih rež in drugo (Rizvi in sod., 1992). Ker je delovanje alelopatije tako učinkovito, bi lahko izkoriščanje alelopatičnih lastnosti rastlin zmanjšalo uporabo fitofarmaceutskih sredstev in tako zmanjšalo onesnaženje, stroške pridelave, izboljšalo varnost hrane, biotsko

pestrost, produktivnost tal in vzdržnost kmetijstva.

Rastline iz družine poprovc imajo veliko različnih bioloških aktivnosti in pokazalo se je, da je to ena od bolj obetavnih družin za iskanje izvlečkov spojin s herbicidnimi lastnostmi (Celis in sod., 2008). V različnih raziskavah so ugotovili, da imajo sekundarni metaboliti, kot so fenolne spojine in amidni derivati, ki jih najdemo v rastlinah iz rodu *Piper*, vpliv na kalitev semen in rast rastlin (slika 6). Eden izmed pomembnih predstavnikov rodu *Piper* s potencialno alelopatičnim delovanjem je tudi črni poprovec. Nekaj raziskav na temo alelopatičnega vpliva črnega poprovca je predstavljenih na sliki 6.

Sekundarni metaboliti črnega poprovca, ki se pojavljajo predvsem v listih in plodovih in se med razkrojem rastlinskega materiala ter z izločanjem iz živih rastlinskih tkiv sproščajo v okolje, negativno vplivajo na rastline, ki rastejo v okolici (Siddiqui, 2007).



Slika 5: Učinki piperidinskih alkaloidov na ljudi in ostale organizme (Damanhoury in Ahmad, 2014; Ahmad in sod., 2015).

Predvidevajo, da spojine, ki so prisotne v črnem poprovcu, delujejo kot alelokemikalije, ki lahko delno zavrejo biosintezo ali spodbujajo razgradnjo klorofila. Slednje vodi v zmanjšanje akumulacije klorofila, zaradi tega poteka proces fotosinteze v manjši meri, posledično pa se zmanjša rast rastlin, na katere delujejo omenjene alelokemikalije (Siddiqui, 2007). Izmed sekundarnih metabolitov, ki so prisotni v plodovih črnega poprovca, ima največ potenciala za alelopatško delovanje alkaloid piperin. Predvidevajo, da tudi druge spojine, ki so prisotne v črnem poprovcu, kot so piperetin in počasneje delujoči lignani, delujejo kot alelokemikalije, ki lahko delno zavrejo biosintezo ali spodbujajo razgradnjo klorofila. Posledično pa je

zatirana rast izpostavljene rastline (Siddiqui, 2007).

Tovrstne lastnosti plodov črnega poprovca bi lahko uporabljali kot alternativo sintetičnim herbicidom pri nadzoru plevelov v kmetijstvu, nadzoru oziroma zatiranju tujerodnih invazivnih vrst in drugem. Na ta način bi lahko omilili težave, ki se pojavljajo z uporabo sintetičnih herbicidov (Narwal, 2010), poleg tega pa bi prispevali k sonaravnosti in zmanjšali stroške, ki nastajajo zaradi gospodarske škode, ki jo povzročajo invazivne rastline. Namnožitev posamezne invazivne vrste vpliva na zmanjšanje pridelka in izginjanje domorodnih in gojenih vrst, hkrati pa povzroča pogostejšo košnjo in odstranjevanje invazivnih rastlin. Posredno to vpliva



Testna rastlina	Rezultat	Vir
Fižol mungo (<i>Vigna mungo</i> L.)	Negativni vpliv vodnih izvlečkov iz plodov <i>Piper nigrum</i> (50 in 75 %) na kalitev semen, rast korenin in poganjkov ter rast sadik	Siddiqui in sod. (2007)
Čebula (<i>Allium cepa</i> L.), mrkač (<i>Bidens pilosa</i> L.), pravi žafran (<i>Crocus sativus</i> L.) in solata (<i>Lactuca sativa</i> L.)	Negativni vpliv izoliranega piperina iz plodov <i>Piper nigrum</i> na kalitev, zmanjšana dolžina poganjkov	Tavares in sod. (2011)
Koruza (<i>Zea mays</i> L.), soja (<i>Glycine max</i> L.), muškata buča (<i>Cucurbita moschata</i> L.), navadna kostreba (<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.) in krvavordeča srakonja (<i>Digitaria sanguinalis</i> L.)	Negativni vpliv vodnih izvlečkov iz plodov <i>Piper nigrum</i> visokih koncentracij na kalitev rastlinskih vrst, nižje koncentracije spodbudijo kalitev in rast	Yan in sod. (2006)
Redkvica (<i>Raphanus sativus</i> L.) in ščir (<i>Amaranthus spinosus</i> L.)	Zaviralni učinek vodnih izvlečkov listov <i>Piper nigrum</i> na kalitev se je povečal s povečanjem koncentracije	Sheng-Li (2009)

Slika 6: Pregled raziskav na temo vpliva plodov črnega popra (*Piper nigrum* L.) na različne preučevane rastline.

na manjši pridelek slabše kakovosti. Izolacija in ekstrakcija snovi z alelopatskimi lastnostmi iz rastlinskih materialov sta dragi, zapleteni in dolgotrajni, učinek v praksi pa je velikokrat prešibek in kratkotrajen. Da bi ugotovili oziroma potrdili učinkovitost posameznih izvlečkov plodov črnega poprovca pri nadzoru izbranih invazivnih rastlinskih vrst, bodo potrebni nadaljnji poskusi, tako v laboratoriju kot v naravi.

Viri:

Ahmad, N., Fazal, H., Abbasi, B. H., Farooq, S., Ali, M., Khan, M. A., 2015: *Biological role of Piper nigrum L. (Black pepper): A review. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2 (2015) (3): 1945-1953.
 Celis, Á., Mendoza, C., Pachón, M., Cardona, J., Delgado, W., Cuca, L. E., 2008: *Extractos vegetales utilizados como biocontroladores con énfasis en la familia Piperaceae. Una revisión. Agronomía Colombiana*, 26: 97-106.

Chopra, B., Dhingra, A. K., Kapoor, R. P., Prasad, D. N., 2016: *Piperine and its various physicochemical and biological aspects: A review. Open Chemistry Journal*, 3 (1): 75-96.

Codex alimentarius, 2017: *Standard for black, white and green peppers. Dostopno na spletnem naslovu: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B326-2017%252FCXS_326e.pdf*. (20. 1. 2021.)

Damanhour, Z. A., Ahmad, A., 2014: *A Review on Therapeutic Potential of Piper nigrum L. (Black Pepper): The King of Spices. Medical & Aromatic Plants*, 3 (3): 161 str.

FAO. 2020. *Food and Agriculture Organization. Dostopno na naslovu: <http://www.fao.org>*. (19. 12. 2020.)

Gorgani, L., Mohammadi, M., Najafpour, G. D., Nikzad, M., 2017: *Piperine—The Bioactive Compound of Black Pepper: From Isolation to Medicinal Formulations. Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety*, 16 (1): 124-140.

Hammouti, B., Dahmani, M., Yahyi, A., Ettoubami, A., Messali, M., Asherau, A., Bouyanzer, A., Warad, I.,

- Touzani, R., 2019: *Black Pepper, the "King of Spices": Chemical composition to applications. Arabian Journal of Chemical and Environmental Research*, 6 (2019) (1): 12-56.
- Ojima I., Iula D. M., 1999: *New Approaches to the Syntheses of Piperidine, Izidine, and Quinazoline Alkaloids by Means of Transition Metal Catalyzed Carbonylations. V: Pelletier, W. S. (ur.): Alkaloids: Chemical and Biological Perspectives. New York: State University of New York at Stony Brook*, 371-410.
- Ravindran, P. N., 2006: *Black pepper. V: Hardman, R. (ur.), Nizozemska: Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles. Overseas Publishers Association*, 86-115.
- Rizvi, S. J. H., Haque, H., Singh, V. K., Rizvi, V., 1992: *A discipline called allelopathy. V: Rizvi, S. J. H., Rizvi, V. (ur.): Allelopathy. Dordrecht: Springer*, 1-10.
- Sheng-Li, Z. H., 2009: *Preliminary study on the allelopathy of Piper nigrum L. Dostopno na naslovu: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-AHNY200903016.htm. (22. 1. 2021.)*
- Siddiqui, Z. S., 2007: *Allelopathic effects of black pepper leachings on Vigna mungo (L.) Hepper. Acta Physiologiae Plantarum*, 29 (4): 303-308.
- USDA, 2018. *United States Department of Agriculture (Spletni medij). Dostopno na naslovu: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170931/nutrients>. (28. 11. 2020.)*
- Yan, G., Zhu, C., Luo, Y., Yang, Y., Wei, J., 2006: *Potential allelopathic effects of Piper nigrum, Mangifera indica and Clausena lansium. The Journal of Applied Ecology*, 17 (9): 1633-1636.
- Narwal, S. S., 2010: *Allelopathy in ecological sustainable organic agriculture. Allelopathy Journal*, 25 (1): 51-72.
- Weir, T. L., Park, S. W., Vivanco, J. M., 2004: *Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. Current opinion in plant biology*, 7 (4): 472-479.
- Tavares, W. S., Cruz, I., Petacci, F., Freitas, S. S., Serão, J. E., Zanoncio, J. C., 2011: *Insecticide activity of piperine: Toxicity to eggs of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) and Diatraea saccharalis (Lepidoptera: Pyralidae) and phytotoxicity on several vegetables. Journal of Medicinal Plants Research*, 5 (21): 5301-5306.



Matej Vošnjak, asistent za področje hortikulture, je na oddelku za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani zaposlen kot raziskovalec. Trenutno zaključuje doktorat znanosti na študiju bioznanosti, znanstvenem področju hortikultura. Sodeluje v različnih raziskovalnih projektih po Sloveniji, udeležuje se različnih konferenc, sodeluje kot gostujoči predavatelj na tujih fakultetah, je recenzent pri mednarodnih revijah ter mentor in somentor dijakom pri različnih projektno-raziskovalnih nalogah.