

Analiza hlapnih in fenolnih spojin v navadnem timijanu (*Thymus vulgaris* L.)

Tilen ZAMLJEN^{1, 2}, Mariana Cecilia GROHAR¹

Received October 01.2025, accepted March 26, 2026
Delo je prispelo 1. oktober 2025, sprejeto 26. marec 2026

Analiza hlapnih in fenolnih spojin v navadnem timijanu (*Thymus vulgaris* L.)

Izvleček: Navadni timijan (*Thymus vulgaris* L.) je eno izmed najbolj znanih in razširjenih sredozemskih zelišč, ki ima pomembno vlogo tako v kulinariki kot tudi v tradicionalni in sodobni medicini. Njegova vrednost izhaja predvsem iz bogate vsebnosti bioaktivnih spojin, ki rastlini dajejo značilen vonj, okus ter širok spekter bioloških učinkov. V raziskavi smo s pomočjo metod UHPLC-MS in GC-MS analizirali kemični profil navadnega timijana ter določili sestavo fenolnih in hlapnih spojin. Rezultati so pokazali, da fenolne spojine predstavljajo pomemben delež bioaktivnih snovi, pri čemer prevladujejo fenolne kisline (60 %), med katerimi sta najpogostejši rožmarinska in siringinska kislina. Flavonoidi (40 %) so bili zastopani s spojinami, kot so kvercetin-3-*O*-rutinozid in apigenin-6,8-di-*O*-glukozid, ki so pomembni pri antioksidativni zaščiti rastline. Monoterpeni predstavljajo večino (66,7 %) celotnega profila analiziranih hlapnih spojin. Najpomembnejša sta bila timol in karvakrol, ki sta znana po svojih protimikrobnih in antioksidativnih lastnostih. Poleg tega so bili identificirani še α -pinen, β -pinen, limonen, linalool ter manjše količine seskviterpenov, estrov, aldehydov in etrov. Profil navadnega timijana sestavlja kompleksen in raznolik nabor spojin, kot so fenolne kisline, flavonoidi in monoterpeni, ki so ključnega pomena v farmacevtski in živilski industriji.

Ključne besede: flavanoidi, GC-MS, UHPLC-MS, monoterpeni, metabolomika

Analysis of volatile and phenolic compounds in common thyme (*Thymus vulgaris* L.)

Abstract: Common thyme (*Thymus vulgaris* L.) is one of the most well-known and widespread Mediterranean herbs, playing an important role in both culinary practices as well as in traditional and modern medicine. Its value derives mainly from the rich content of bioactive compounds, which provide the plant with its characteristic aroma, flavor, and a wide range of biological activities. In our study, we analyzed the chemical profile of common thyme using UHPLC-MS and GC-MS to determine the composition of phenolic and volatile compounds. The results showed that phenolic compounds represent a significant proportion of the bioactive constituents, with phenolic acids accounting for 60 %, among which rosmarinic and syringic acids were the most abundant. Flavonoids (40 %) were represented by compounds such as quercetin-3-*O*-rutinoside and apigenin-6,8-di-*O*-glucoside, both of which play an important role in the plant's antioxidant defense. The analysis of volatile compounds revealed that monoterpenes constitute the majority (66.7 %) of the profile. Thymol and carvacrol were the dominant components, known for their antimicrobial and antioxidant properties. In addition, α -pinene, β -pinene, limonene, linalool, as well as smaller proportions of sesquiterpenes, esters, aldehydes, and ethers were identified. Common thyme contains a complex and diverse range of compounds, including phenolic acids, flavonoids and monoterpenes, which are crucial for the pharmaceutical and food industries.

Key words: flavonoids, GC-MS, UHPLC-MS, monoterpenes, metabolomics

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana

² Korenspondenčni avtor: tilen.zamljen@bf.uni-lj.si

1 UVOD

Navadni timijan je ena izmed najbolj znanih in pogostih rastlin v kulinariki. Rod *Thymus* vključuje prek 300 vrst (Boga in sod., 2021). Številne raziskave so pokazale, da ima rod *Thymus* različne farmakološke učinke. Med drugim spodbuja prebavo ter deluje antihipertenzivno, protivnetno, protimalarično in protirakavo. Zaradi njegovih izrazitih antibakterijskih in antioksidativnih lastnosti se navadni timijan pogosto uporablja pri konzerviranju živil za podaljševanje njihove obstojnosti (Galovičová in sod., 2021). Eterično olje navadnega timijana se uporablja za lajšanje simptomov dihalnih okužb in izboljšanje prebave (Boga in sod., 2021).

Navadni timijan (*Thymus vulgaris* L.) je trajni polgrm, ki izvira z območja Sredozemlja in spada v družino ustnatic (Lamiaceae). Rastlina dosega višino med 10 in 35 cm ter raste v značilni grmičasti obliki. Delno olesenela stebela nosijo majhne ozke liste, z navzdol zavihanimi robovi. Spodnja stran listov je gosto poraščena z dlačicami, kar je tipična prilagoditev na sušna sredozemska območja, za zmanjšanje izgube vode zaradi izhlapevanja (Seyedi in sod., 2024).

Cvetovi timijana se pojavljajo v gostih, valjastih socvetjih, njihova barva pa se razteza od nežno do temno rožnate. Obdobje cvetenja traja od junija pa vse do pozne jeseni, kar omogoča daljše obdobje privabljanja opraševalcev. Listi in cvetovi oddajajo izrazito močan in prepoznaven vonj, ki ga povzroča bogata vsebnost eteričnih olj in drugih hlapnih spojin (Bistgani in sod., 2019). Sestava aromatičnega profila eteričnih olj navadnega timijana je kompleksna, pri čemer prevladujejo oksigenirani monoterpeni (56,53 %), sledijo monoterpeni ogljikovodiki (28,69 %), seskviterpeni ogljikovodiki (5,04 %) ter oksigenirani seskviterpeni (1,84 %). Med posameznimi komponentami sta najbolj pogosti timol in karvakrol, ki predstavljata glavni komponenti kakovosti eteričnega olja (Boga in sod., 2021). Kemična sestava eteričnih olj navadnega timijana je lahko zelo različna. Na to variabilnost vplivajo številni dejavniki, med drugim čas žetve in razvojna faza rastline, okoljske in podnebne razmere (suša, slanost tal, visoke in nizke temperature), uporabljeni rastlinski organi ter metode ekstrakcije. Ti parametri pomembno določajo tako kvantitativno kot kvalitativno sestavo eteričnih olj in izvlečkov timijana, kar je treba upoštevati pri njihovi farmakološki, prehranski in gospodarski uporabi (Qi in sod., 2025).

Poleg hlapnih snovi vsebuje navadni timijan tudi številne fenolne spojine, kjer prevladujejo fenolne kisline (npr. rožmarinska kislina, kavna kislina) in flavonoidi (npr. apigenin, naringenin, hesperetin), katerim

se pripisuje antioksidativne lastnosti (Soleimani in sod., 2022). Kemični profil eteričnega olja navadnega timijana je dobro poznan, medtem ko je kakovost rastlinskega materiala manj raziskana. Ta lahko močno variira, čeprav je ključna za pridobivanje kakovostnega eteričnega olja.

V raziskavi smo želeli z uporabo tekočinske kromatografije visoke ločljivosti, sklopljene z masno spektrometrijo (UHPLC-MS) in plinske kromatografije, sklopljene z masno spektrometrijo (GC-MS) določiti natančen profil hlapnih in fenolnih spojin v listih in steblih navadnega timijana (*Thymus vulgaris* L.).

2 MATERIALI IN METODE

Navadni timijan je bil pridelan na Biotehniški fakulteti v Ljubljani. Iz vsake od 20 rastlin, je bilo pobrano med 100 g in 110 g svežega vzorca. Sveže porezane vzorce (skupaj liste in stebela) se je zmlelo s pomočjo terilnice in tekočega dušika v fin prah, ki se je do analiz hlapnih in fenolnih spojin shranil na -80°C . Analiziralo se je 20 vzorcev navadnega timijana.

2.1 ANALIZA FENOLNIH SPOJIN V NAVADNEM TIMIJANU

Ekstrakcija fenolnih spojin je bila izvedena po postopku Zamljen in sod. (2024) z manjšimi prilagoditvami. Svež rastlinski material (0,2 g) se je ekstrahiralo s 4 ml 80 % metanola s 3 % mravljične kisline v bidestilirani vodi. Vzorci so bili nameščeni v ultrazvočno kopel za 1 uro (0°C). Po sonifikaciji se je vzorce centrifugiralo pri 8000 g za 7 minut ter filtriralo skozi poliamidni filter z velikostjo por 0,25 μm (Chromafil AO-20/25, Macherey-Nagel, Dueren, Nemčija). Vzorci so bili nato shranjeni v 1,5 ml vialah pri -20°C . Posamezne fenolne spojine so bile identificirane po postopku, ki ga opisujejo Zamljen in sod. (2023), z uporabo tandemске masne spektrometrije (MS/MS; LTQ XL; Thermo Scientific, Waltham, MA, ZDA) v negativnem ionskem načinu.

2.2 ANALIZA HLAJNIH SNOVI V NAVADNEM TIMIJANU

Identifikacija hlapnih organskih spojin je bila izvedena z uporabo plinske kromatografije z masno spektrometrijo (SPME-GC-MS) po metodi Zamljen in sod. (2024). V 20 ml vialo se je zatehtalo 1 g zmlete-

ga vzorca ter dodalo 10 µl notranjega standarda (NS: 3-nonanone, 2,7 mg ml⁻¹ v acetonitrilu). Vzorec je bil inkubiran pri 50 °C 5 minut ob mešanju pri 250 g. Desorpcija v injektorju je trajala 3 minute pri 250 °C z delilnim razmerjem (split) 1:50.

Posamezne spojine so bile ločene s sistemom Shimadzu GC-MS QP2020, opremljenim z enojnim kvadrupolnim MS detektorjem in kolono ZB-wax PLUS (30 m × 0,25 mm, debelina filma 0,5 µm). Nosilni plin je bil helij s pretokom 1 ml min⁻¹. Ostale nastavitve so bile enake kot poročajo Zamljen in sod. (2024). Hlapne organske spojine so bile identificirane na podlagi primerjave s komercialnimi spektralnimi knjižnicami (NIST 11 in FFNSC 4).

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

3.1 FENOLNE SPOJINE V NAVADNEM TIMIJANU

V navadnem timijanu je bilo identificiranih 15 fenolnih spojin (Tabela 1): devet fenolnih kislin, dva flavonola, dva flavona in dva flavanona. Dva hekso-

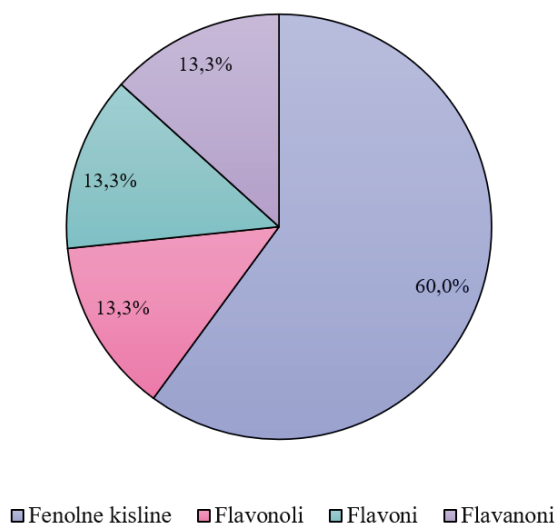
zida siringinske kisline sta bila določena, s tipičnim fragmentacijskim vzorcem MSⁿ *m/z* 359 in 197, kot poročajo Ahmadi in sod. (2024) v navadnem timijanu in žajblju. Derivati salvianolne kisline, so bili določeni s tipičnim fragmentacijskim vzorcem MSⁿ *m/z* 493 in 359. Rožmarinska in sagerinska kislina sta bili identificirani s tipičnim fragmentacijskim vzorcem MSⁿ *m/z* 359, 161 in 179 ter MSⁿ *m/z* 557, 359 in 161 v navadnem timijanu (Babotă in sod., 2023). Flavonola, kvercetin-3-*O*-rutinozid in kempferol-3-*O*-heksozid, sta bila identificirana s fragmentacijskim vzorcem MS *m/z* 465, MS² 303 in MS *m/z* 447, MS² 285, flavona, luteolin-3-*O*-heksorunid in apigenin-6,8-di-*O*-glukozid, s fragmentacijskim vzorcem MS *m/z* 461, MS² 285 in MS *m/z* 593, MS² 473, 503. Flavanona sta bila identificirana v navadnem timijanu kot eriodiktiol-*O*-heksozida, s fragmentacijskim vzorcem MS *m/z* 449, MS² 287 (Čulina in sod., 2021).

Analiza fenolnih spojin v navadnem timijanu je razkrila širok spekter različnih fenolnih kislin (60 %) in flavonoidov (40 %) (Slika 1). Med fenolnimi kislinaми sta bili najpogostejši siringinska in rožmarinska kislina. Ti spojini sta znani po antioksidativnih lastnostih in zmanjševanju negativnih učinkov oksidativnega

Tabela 1: Identifikacija fenolnih spojin v navadnem timijanu.
Table 1: Identification of phenolic compounds in thyme.

Spojina	Rt (min)	[M-H] ⁻ (<i>m/z</i>)	MS ² (<i>m/z</i>)	MS ³ (<i>m/z</i>)
Siringinska kislina heksozid 1	7,84	395	359 (100)	197 (100)
Siringinska kislina heksozid 2	9,73	359	197 (100)	—
Kvercetin-3- <i>O</i> -rutinozid	11,40	465	303 (100)	—
Apigenin-6,8-di- <i>O</i> -glukozid	14,96	593	473 (100), 503 (70)	—
Eriodiktiol- <i>O</i> -heksozid 1	16,93	449	287 (100)	—
Rožmarinska kislina	17,00	377	359 (100)	161 (100), 179 (26), 197 (23), 223 (14)
Kaempferol-3- <i>O</i> -heksozid	19,09	447	285 (100)	—
Eriodiktiol- <i>O</i> -heksozid 2	20,17	449	287 (100), 269 (24)	—
Luteolin-3- <i>O</i> -heksorunid	22,66	461	285 (100)	—
Sagerinska kislina	24,45	719	557 (100), 359 (30)	359 (100), 161 (80), 179 (29), 197 (23), 223 (15)
Salvianolna kislina A	26,01	537	493 (100)	—
Salvianolna kislina	26,83	493	359 (100)	—
Dimer salvianolne kisline A	27,81	555	493 (100), 359 (29)	—
Izomer salvianolne kisline 1	28,04	569	537 (100), 493 (24)	—
Derivat salvianolne kisline B	30,29	717	519 (100), 537 (52), 673 (43), 493 (7)	—

Rt = retenzijski čas; [M-H]⁻ = glavna masa spojine v negativnem ionskem načinu; MS² = prva fragmentacija; MS³ = druga fragmentacija; MS⁴ = tretja fragmentacija.



Slika 1: Delež skupin fenolnih spojin v navadnem timijanu.
Figure 1: Ratio of phenolic compounds in thyme.

stresa v rastlinah (Guan in sod., 2022). Poleg omenjenih kislin tudi derivati salvianolne kisline (salvianolna kislina A, B in njeni derivati) prispevajo k zmanjševanju oksidativnega stresa v rastlini (Zhou in sod., 2014). Med flavonoidi so bili identificirani kvercetin-3-O-rutinozid, kaempferol-3-O-heksosid, luteolin-3-O-heksosid, apigenin-6,8-di-O-glukozid ter eriodiktiol-3-O-heksosid. Funkcija flavanoidov v rastlinah je obramba pred negativnimi vplivi okolja. Njihova sinteza se okrepi predvsem ob pojavu različnih stresnih dejavnikov, kot so UV sevanje, močna svetloba, ozon, težke kovine, previsoke ali prenizke temperature, slanost tal ter sušne razmere (Tattini in sod., 2004). Flavonoidi se v večjih količinah kopičijo v vršičkih, pelodu ter v hipodermisu stebel in listov. V rastlini imajo zaščitno vlogo, saj absorbirajo in filtrirajo UV sevanje. Abiotični stres povzroča nastanek oksidativnega stanja (Khalid in sod., 2019). Oksidativni stres je sekundarni stres, ki nastane kot posledica oblik primarnega stresa, kot so suša, visoke ali nizke temperature, UV sevanje ipd. Pri tem se začnejo pospešeno kopičiti reaktivne kisikove spojine (ROS), kot so vodikov peroksid (H_2O_2), singletni kisik (1O_2), superoksidni radikal ($O_2^{\bullet-}$) in hidroksilni radikal ($OH^{\bullet}$) (Hasanuzzaman in Fujita, 2022). ROS so zelo reaktivne in toksične za celice, saj povzročajo oksidacije beljakovin, peroksidacije lipidov in poškodbe DNK, kar lahko na koncu privede do celične smrti in kasneje propada celotne rastline (Hasanuzzaman in sod., 2019). Zaradi tega so rastline razvile mehanizme v obliki fenolnih spojin, s katerimi

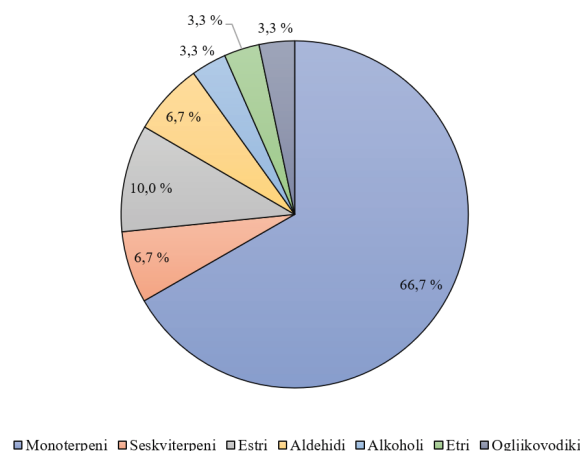
preprečujejo negativne vplive okolja in s tem povečajo sposobnost preživetja.

3.2 Hlapne spojine v navadnem timijanu

Analiza hlapnih organskih spojin listov navadnega timijana je razkrila širok spekter monoterpenov in seskviterpenov ter posameznih estrov, alkoholov, aldehydov in etrov. Med monoterpeni so prevladovali α -pinen, β -pinen, limonen, γ -terpinen in linalool, ki skupaj predstavljajo glavni delež skupne vsebnosti hlapnih komponent (66,7 %) (Slika 2). Sinteza in sproščanje monoterpenov sta odvisni od časa in intenzivnosti abiotskih in biotskih dejavnikov, kot so temperatura, jakost svetlobe ter napad škodljivcev in bolezni. Rastline lahko monoterpe shranjujejo v celicah ali v strukturah kot so trihomi (Nagalingam in sod., 2023). Najar in sod. (2021) poročajo, da monoterpeni kot glavna skupina hlapnih snovi v navadnem timijanu predstavljajo do 90 %. Tudi v naši raziskavi so monoterpeni predstavljali glavnino vseh hlapnih snovi. Med posameznimi spojinami sta timol in karvakrol izstopala kot glavna monoterpena.

Določena sta bila še dva seskviterpena (*E*-kariofilen in germakren D), dva estra (metil 2-metilbutirat in bornil acetat), dva aldehyda (heksanal in 2E-heksenal) ter eter (timol metil eter) in alkohol (3-oktenol), ki dodatno dopolnjujeta kemični profil rastline.

Skupna sestava hlapnih organskih spojin in specifičen aromatski profil rastline sta v skladu z dosežanimi poročili o metabolnem profilu navadnega timijana. Količine in razmerja posameznih komponent



Slika 2: Delež posameznih skupin hlapnih spojin v navadnem timijanu.

Figure 2: Ratio of volatile compounds in thyme.

Tabela 2: Identifikacija hlapnih spojin v navadnem timijanu.**Table 2:** Identification of volatile compounds in thyme.

Spojina	Rt (min)	CAS št.	Klasifikacija
Metil-ciklopentan	1,823	96-37-7	ogljikovodik
Metil 2-metilbutirat	6,295	868-57-5	ester
α -Pinen	6,544	80-56-8	monoterpen
α -Tujen	6,682	2867-05-2	monoterpen
Kamfen	7,848	79-92-5	monoterpen
Heksanal	8,457	66-25-1	aldehid
β -Pinen	9,203	127-91-3	monoterpen
Sabinen	9,667	3387-41-5	monoterpen
δ -3-Karen	10,63	13466-78-9	monoterpen
Mircen	11,143	123-35-3	monoterpen
α -terpinen	11,698	99-86-5	monoterpen
Limonen	12,376	138-86-3	monoterpen
β -flandren	12,707	555-10-2	monoterpen
2E-Heksenal	13,148	6728-26-3	aldehid
γ - terpinen	14,066	99-85-4	monoterpen
β -okimen	14,246	3779-61-1	monoterpen
4-pentenil propionat	14,702	30563-30-5	ester
<i>p</i> -cimen	14,938	99-87-6	monoterpen
Terpinolen	15,389	586-62-9	monoterpen
3-oktenol	21,183	3391-86-4	alkohol
<i>Trans</i> -sabinen hidrat	21,744	17699-16-0	monoterpen
Linalool	24,270	78-70-6	monoterpen
Bornil acetat	25,392	92618-89-8	ester
E-kariofilen	25,849	13877-93-5	seskviterpen
Timol metil eter	26,020	1076-56-8	eter
4-terpineol	26,122	562-74-3	monoterpen
Borneol	29,113	507-70-0	monoterpen
Germakren D	29,197	23986-74-5	seskviterpen
Timol	36,870	89-83-8	monoterpen
Karvakrol	37,278	499-75-2	monoterpen

so odvisne od genetskih, okoljskih in tehnoloških dejavnikov (Malik in sod. 2023).

4 ZAKLJUČEK

Metabolna analiza navadnega timijana (*Thymus vulgaris* L.) je potrdila, da gre za rastlino z bogatim naborem bioaktivnih spojin, ki pomembno prispevajo k njenim farmakološkimi, prehranskimi in gospodarskim lastnostim. Ugotovili smo, da večino hlapnih organskih spojin predstavljajo monoterpeni, med fenolnimi spoji-

nami pa prevladujejo fenolne kisline in flavonoidi. Raziskava potrjuje pestro metabolno sestavo listov in stebel navadnega timijana.

Konflikt interesov

Avtorji nimajo konflikta interesov.

Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo programski skupini Hortikultura (P4-0013), ki jo financira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike

Slovenije (ARIS), ter infrastrukturnemu centru IC RRC-AG (IO-0022-0481-001).

Dostopnost raziskovalnih podatkov

Vsi originalni raziskovalni podatki so objavljeni v članku.

5 LITERATURA

- Ahmadi, H., Fatahi, R., Zamani, Z., Pocai, P., & Shokrpour, M. (2024). Unraveling the transcriptional regulators of polyphenolic variation in *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*, 214, 118551. doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118551
- Babotă, M., Frumuzachi, O., Nicolescu, A., Dias, M. I., Pine-la, J., Barros, L., . . . Crișan, G. (2023). *Thymus* species from Romanian spontaneous flora as promising source of phenolic secondary metabolites with health-related benefits. *Antioxidants*, 12(2), 390. doi:https://doi.org/10.3390/antiox12020390
- Bistgani, Z. E., Hashemi, M., DaCosta, M., Craker, L., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2019). Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*, 135, 311-320. doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.055
- Boga, M., Ozkan, E. E., Ersoy, E., Tuncay, E., Canturk, Y. Y., Cinar, E., . . . Zengin, G. (2021). Identification and quantification of phenolic and volatile constituents in five different Anatolian thyme species using LC-MS/MS and GC-MS, with biological activities. *Food Bioscience*, 43, 101141. doi:https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101141
- Čulina, P., Cvitković, D., Pfeifer, D., Zorić, Z., Repajić, M., Elez Garofulić, I., . . . Pedisić, S. (2021). Phenolic profile and antioxidant capacity of selected medicinal and aromatic plants: Diversity upon plant species and extraction technique. *Processes*, 9(12), 2207. doi:https://doi.org/10.3390/pr9122207
- Galovičová, L., Borotová, P., Valková, V., Vukovic, N. L., Vukic, M., Terentjeva, M., . . . Kačániová, M. (2021). *Thymus serpyllum* essential oil and its biological activity as a modern food preserver. *Plants*, 10(7), 1416. doi:https://doi.org/10.3390/plants10071416
- Guan, H., Luo, W., Bao, B., Cao, Y., Cheng, F., Yu, S., . . . Shan, M. (2022). A comprehensive review of rosmarinic acid: From phytochemistry to pharmacology and its new insight. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(10). doi:https://doi.org/10.3390/molecules27103292
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Anee, T. I., Parvin, K., Nahar, K., Mahmud, J. A., & Fujita, M. J. A. (2019). Regulation of ascorbate-glutathione pathway in mitigating oxidative damage in plants under abiotic stress. *Antioxidants*, 8(9), 384. doi:https://doi.org/10.3390/antiox8090384
- Hasanuzzaman, M., & Fujita, M. (2022). Plant oxidative stress: Biology, physiology and mitigation. *Plants*, 11(9), 1185. doi:https://doi.org/10.3390/plants11091185
- Khalid, M., Saeed ur, R., Bilal, M., & Huang, D.-f. (2019). Role of flavonoids in plant interactions with the environment and against human pathogens — A review. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(1), 211-230. doi:https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62555-4
- Malik, T. G., Sahu, L. K., Gupta, M., Mir, B. A., Gajbhiye, T., Dubey, R., . . . Pandey, S. K. (2023). Environmental factors affecting monoterpene emissions from terrestrial vegetation. *Plants*, 12(17), 3146. doi:https://doi.org/10.3390/plants12173146
- Nagalingam, S., Seco, R., Kim, S., Guenther, A. J. A., & Meteorology, F. (2023). Heat stress strongly induces monoterpene emissions in some plants with specialized terpenoid storage structures. *Agricultural and Forest Meteorology*, 333, 109400. doi:https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109400
- Najar, B., Pistelli, L., Ferri, B., Angelini, L. G., & Tavarini, S. (2021). Crop yield and essential oil composition of two *Thymus vulgaris* chemotypes along three years of organic cultivation in a hilly area of central Italy. *Molecules*, 26(16), 5109. doi:https://doi.org/10.3390/molecules26165109
- Qi, S., Hou, C., Tian, H., Zhan, P., & Qiu, B. (2025). Characterization of volatile organic compounds in wild thyme (*Thymus serpyllum* L.) from central and northern China based on comprehensive GC × GC-TOFMS and chemometrics. *Food Chemistry: X*, 28, 102590. doi:https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102590
- Seyedi, F. S., Nafchi, M. G., & Reezi, S. (2024). Effects of light spectra on morphological characteristics, primary and specialized metabolites of *Thymus vulgaris* L. *Heliyon*, 10(1). doi:https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23032
- Soleimani, M., Arzani, A., Arzani, V., & Roberts, T. H. (2022). Phenolic compounds and antimicrobial properties of mint and thyme. *Journal of Herbal Medicine*, 36, 100604. doi:https://doi.org/10.1016/j.hermed.2022.100604
- Tattini, M., Galardi, C., Pinelli, P., Massai, R., Remorini, D., & Agati, G. (2004). Differential accumulation of flavonoids and hydroxycinnamates in leaves of *Ligustrum vulgare* under excess light and drought stress. *New Phytologist*, 163(3), 547-561. doi:https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01126.x
- Zamljen, T., Medic, A., Veberič, R., Hudina, M., Grohar, M. C., & Slatnar, A. (2023). Influence of hydrolyzed animal protein-based biostimulant on primary, soluble and volatile secondary metabolism of Genovese and Greek-type basil grown under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 319, 112178. doi:https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112178
- Zamljen, T., Zupanc, V., Grohar, M. C., Lojen, S., & Slatnar, A. (2024). Effects of hydrolyzed animal protein application on nitrogen translocation, phenolic and volatile profile of *Ocimum basilicum* L. under salinity conditions. *Scientia Horticulturae*, 327, 112823. doi:https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112823
- Zhou, G.-J., Wang, W., Xie, X.-M., Qin, M.-J., Kuai, B.-K., & Zhou, T.-S. (2014). Post-harvest induced production of salvanolic acids and significant promotion of antioxidant properties in roots of *Salvia miltiorrhiza* (Danshen). *Molecules*, 19(6), 7207-7222. doi:https://doi.org/10.3390/molecules19067207