

BENDROJO POLIFENOLINIŲ JUNGINIŲ KIEKIO IR ANTIOKSIDACINIO AKTYVUMO NUSTATYMAS FERMENTUOTUOSE SIAURALAPIO GAUROMEČIO (*CHAMERION ANGUSTIFOLIUM L.*) LAPUOSE

Irena Čerčikienė, Jolanta Jurkevičiūtė, Ingrida Radveikienė

Vilniaus kolegija

Anotacija. Polifenoliniams junginiams, esantiems augaluose, kaip ir kitoms biologiškai aktyvioms medžiagoms, šiuo metu skiriamas didelis dėmesys dėl jų antioksidacinių, antimikrobinių ir kt. savybių. Literatūroje nurodoma, kad augalinės kilmės žaliavose bei maisto produktuose esantys antioksidantai gali sumažinti laisvųjų radikalų kiekį organizme arba stabdyti jų susidarymą, taip pat jie gali padėti išvengti širdies ir kraujagyslių ligų, uždegiminių ir neurodegeneracinių sutrikimų, vėžinių ląstelių dauginimosi ir kt. Siauralapio gauromečio (*Chamerion angustifolium L.*) lapai nuo seno naudojami tradicinėje ir liaudies medicinoje, jiems būdingas priešuždegiminis, antioksidacinis, priešvėžinis, skausmą mažinantis poveikis. Ieškant naujų skonių ir siekiant išsaugoti organoleptinės arbatų savybės bei vaistinėse žolelėse esančias biologiškai aktyvias medžiagas vis plačiau naudojamas jų fermentavimas, todėl svarbu parinkti tinkamą fermentacijos trukmę. Šiuo tyrimu buvo siekiama nustatyti kietafazės fermentacijos įtaką polifenolinių junginių kiekiui ir antioksidaciniam aktyvumui siauralapio gauromečio lapuose. Bendras polifenolinių junginių kiekis siauralapio gauromečio lapų ekstraktuose nustatytas Folin-Ciocalteu spektrofotometrijos metodu, o antioksidacinis aktyvumas nustatytas 2,2-difenil-1-pikrilhidrazilo (DPPH*) radikalų surišimo metodu. Tyrimu nustatyta, kad bendras polifenolinių junginių kiekis ir antioksidacinis aktyvumas fermentuoto siauralapio gauromečio lapuose priklauso nuo kietafazės fermentacijos trukmės. Optimali siauralapio gauromečio kietafazės fermentacijos trukmė yra 36 val., šiomis sąlygomis nustatytas didžiausias polifenolinių junginių kiekis ($1,816 \pm 0,005$ mg/g) ir antioksidacinis aktyvumas ($41,7 \pm 1,51$ proc.). Ilginant kietafazės fermentacijos trukmę bendras polifenolinių junginių kiekis ir antioksidacinis aktyvumas mažėjo. Įvertinus antioksidacinio aktyvumo priklausomybę nuo bendrojo polifenolinių junginio kiekio, nustatyta koreliacija tarp šių rodiklių ($R_b = 0,782$). Galima teigti, kad kuo daugiau polifenolinių junginių yra fermentuoto siauralapio gauromečio lapuose, tuo didesniu antioksidaciniu aktyvumu jis pasižymi.

Reikšminiai žodžiai: *Chamerion angustifolium L.*, polifenoliniai junginiai, antioksidacinis aktyvumas, kietafazė fermentacija

Įvadas

Arbatmedžio lapai ir įvairios vaistinės žolelės, turinčios daugybę žmogaus organizmui naudingų medžiagų, naudojamos arbatų gamyboje. Surinkta augalinė žaliava įvairiais būdais džiovinama, fermentuojama, smulkinama ar kitaip apdorojama. Gaminant arbatas labai svarbu išsaugoti kuo didesnę naudingų medžiagų kiekį. Ieškant naujų skonių ir siekiant, kad vaistinėse žolelėse išliktų kuo daugiau biologiškai aktyvių medžiagų vis plačiau naudojamas fermentavimas. Fermentuojant augalinę žaliavą svarbu parinkti tinkamą fermentacijos trukmę, siekiant išsaugoti organoleptines arbatų savybes ir naudingas medžiagas (Ng ir kt., 2022).

Augalinės kilmės žaliavose esantys antioksidantai yra natūralūs biologiškai aktyvūs junginiai, kuriais domisi daugelis pasaulio mokslininkų. Teigiama, kad antioksidantai saugo augalus nuo žalingo aplinkos poveikio t. y., staigių temperatūros ir vandens kiekio pokyčių, dirvožemio sudėties, kenkėjų ir kt. Šie junginiai taip pat naudingi žmogui, nes gali sumažinti laisvųjų radikalų kiekį organizme arba stabdyti jų susidarymą. Tyrimais įrodyta, kad antioksidantai, esantys augalinėse žaliavose bei maisto produktuose gali padėti išvengti širdies ir kraujagyslių ligų, uždegiminių ir neurodegeneracinių sutrikimų, vėžinių ląstelių dauginimosi ir kt. (Llauradó Maury ir kt., 2020). Antioksidantų klasifikavimas yra įvairus. Jie gali būti klasifikuojami pagal veikimo principą, todėl skirstomi į pirminius ir antrinius antioksidantus. Kitas antioksidantų klasifikavimo būdas pagal jų tirpumą vandenyje (kavos r., chlorogeninė r. ir kt.) arba riebaluose (tokoferolis, oleokantalis ir kt.) (Losada-Barreiro ir kt., 2022). Tačiau daugiausia dėmesio skiriama mažos molekulinės masės junginiams t. y., terpenoidams, alkaloidams ir polifenoliams. Polifenoliai dažniausiai tiriami dėl jų gebėjimo sulėtinti arba slopinti oksidacijos procesus (Llauradó Maury ir kt., 2020).

Siauralapis gaurometis (*Chamerion angustifolium L.*) yra daugiametis žolinis augalas, priklauso nakvišinių (*Onagraceae*) šeimai, gauromečių (*Chamerion*) genčiai. Jis auga įvairiose vietose (skynimuose, miškuose, kirtimuose), paplitęs visoje Lietuvoje, užauga iki 0,5 m, o kartais net 2 m aukščio. Žiedai yra šviesiai rožinės, violetinės arba purpurinės spalvos, netaisyklingos formos, kekiniai ir gali siekti iki 3 cm skersmens. Šis žolinis augalas žydi birželio–rugsėjo mėn. (World Flora Online, n. d.). Siauralapio gauromečio lapai yra vaistinė žaliava. Juose yra ~ 10–20 proc. rauginių medžiagų, ~ 15 proc. gleivių, ~ 150 mg/100 g vitamino C, biologiškai

aktyvių medžiagų (polifenolinių junginių) ir mineralinių medžiagų. Todėl siauralapio gauromečio lapai naudojami tradicinėje ir liaudies medicinoje. Jiems būdingas priešuždegiminis, antioksidacinis, priešvėžinis, skausmą mažinantis poveikis ir kt. (Vitalone ir kt., 2001). Literatūroje nurodoma, kad siauralapio gauromečio lapų arbata taip pat gali mažinti migreninius galvos skausmus, padeda gydyti anemiją, infekcines ir peršalimo ligas, skrandžio ar dvylikapirštės žarnos opas, gastritą, kolitą ir tinka esant įvairiems virškinimo trakto sutrikimams gydyti, prostatos ir šlapimo problemoms mažinti (Kadam ir kt., 2018). Siauralapio gauromečio ekstraktai gali būti vartojami išoriškai gydant įvairias grybelines ligas, nedidelius nudegimus ir odos bėrimus bei nosies, ausų ir gerklės uždegimus (Deng ir kt., 2018).

Siauralapio gauromečio lapuose ir žieduose yra dideli kiekiai antrinių augalų metabolitų – polifenolinių junginių (flavonoidų, taninų, fenolio rūgšties ir kt.), jų būna nuo 14 iki 23 proc., flavonoidų mažiau nei 2 proc. (Adamczak ir kt., 2019; Granica ir kt., 2014; Lasinskas ir Jarienė, 2018). Miricetinas, kvercetinas, kaemferolis ir jų įvairūs glikozidai yra dažniausiai nustatomi flavanoidai siauralapio gauromečio žolėje (Maruška ir kt., 2014). Siauralapio gauromečio lapuose randama įvairių fenolinių rūgščių (kofeino, elago, ferulo, galo, protokatecho ir kt. rūgštys) ir jų darinių, kurie gali padėti sumažinti uždegimą dėl savo antioksidacinių savybių (Dreger ir kt., 2021). Šio augalo lapuose, be polifenolinių junginių, aptinkama lipofilinių junginių – steroidinių triterpenoidų ir triterpeninių rūgščių (oleanolio, pomolio ir ursolio), o taip pat lignanų. Siauralapis gaurometis linkęs kaupti eterinius aliejus, daugiausiai randama linoleino, heksadekano ir linoleno (Adamczak ir kt., 2019; Lasinskas ir Jarienė, 2018; Slobodianiuk ir kt., 2022). Tyrimais nustatyta, kad hidrolizuojami taninai (elagitaninai), o ypač enoteinas B, yra pagrindinis junginys, lemiantis didelį siauralapio gauromečio ekstraktų antioksidacinį aktyvumą. Enoteinas B ir kiti polifenoliniai junginiai padeda neutralizuoti laisvuosius radikalus, apsaugo ląsteles nuo oksidacinės pažeidimo ir uždegimų, kurios yra visų ligų priežastis (Granica ir kt., 2012). Antrinių metabolitų kiekiui augaluose įtakos turi šie veiksniai: augalo augimo vieta, klimato sąlygos, žaliavos surinkimo laikas (ankstyvas, masinis ar vėlyvas žydėjimas) (Nurzyńska ir Nurzyńska-Wierdak, 2023).

Fermentacijos metu yra naudojami mikroorganizmai ir jų išskiriami fermentai. Fermentuotiems maisto produktams būdingas labiau išreikštas skonis ir kvapas, prailginamas tinkamumo vartoti terminas. Kietafazė fermentacija yra fermentacijos procesas, kurio metu mikroorganizmai (grybai, mielės ar bakterijos) veikia kietą ar pusiau kietą substratą, kuriame yra mažai laisvo vandens, kurį mikroorganizmai galėtų naudoti maistui, dauginimuisi ir metabolizmui (de Menezes ir kt., 2023; Srivastava ir kt., 2019). Kietafazė fermentacija skirstoma pagal substratą, kai substratas yra pats maistinių medžiagų šaltinis arba substratas mirkomas skystoje terpėje, pvz., cukruje, lipiduose, organinėse rūgštyse ir t. t. (Sadh ir kt., 2018). Nors kietafazė fermentacija nėra naujas metodas, tačiau pastaruoju metu naudojama gana dažnai, ji taikoma ne tik gaminant juodąją ar žaliąją arbatą, bet ir fermentuojant vaistines žoleles. Kietafazės fermentacijos procesas yra nebrangus, nesudėtingas bei padeda išsaugoti biologiškai aktyvius junginius, esančius augalinėje žaliavoje (Cui ir kt., 2021).

Atliekant siauralapio gauromečio kietafazę fermentaciją, augalo lapai mechaniškai sutrinami ir supresuojami. Pažeidus lapų ląstelių sienelės pagerinama biologiškai aktyvių junginių difuzija iš vidinių ląstelės dalių ir greičiau vyksta ekstrakcija, pakinta biologiškai aktyvių medžiagų molekulinė masė, susidaro skonių bei kvapą suteikiantys junginiai. Kvapą nulemia mažos molekulinės masės aromatinių junginių klasės ir lipofilinės medžiagos. Kietafazės fermentacijos metu, dalyvaujant mikroorganizmams, susidaro fermentai, pvz., polifenolių oksidazė, kuri turi didelės įtakos fermentuotų siauralapio gauromečio lapų biologiškai aktyviems junginiams. Šis fermentas skaido makromolekulinius junginius (baltymus, lipidus ir polisacharidus) į mažesnės molekulinės masės medžiagas (Jariene ir kt., 2020). Fermentacijos metu pieno rūgšties bakterijos augalo polifenolinius junginius paverčia į žmogaus organizmui lengviau pasisavinamus polifenolius (Farnworth, 2005). Literatūroje mažai duomenų apie polifenolinių junginių kitimą kietafazės fermentacijos metu. Todėl buvo nuspręsta atlikti išsamesnį tyrimą ir nustatyti, kaip kinta polifenolinių junginių kiekis ir antioksidacinis aktyvumas siauralapio gauromečio lapuose, keičiant kietafazės fermentacijos trukmę.

Tyrimo objektas – skirtingos fermentacijos trukmės siauralapio gauromečio (*Chamerion angustifolium* L.) lapų ekstraktai. Siauralapio gauromečio lapai surinkti Vilniaus raj., Lietuvoje.

Tyrimo tikslas – nustatyti kietafazės fermentacijos įtaką polifenolinių junginių kiekiui ir antioksidaciniam aktyvumui siauralapio gauromečio lapuose.

Tyrimo uždaviniai:

1. nustatyti bendrąjį polifenolinių junginių kiekį ir antioksidacinį aktyvumą spektrofotometrijos metodu fermentuoto siauralapio gauromečio (*Chamerion angustifolium* L.) lapų ekstraktuose;
2. įvertinti kietafazės fermentacijos trukmės įtaką siauralapio gauromečio (*Chamerion angustifolium* L.) polifenolinių junginių kiekio ir antioksidacinio aktyvumo kitimui.

Tyrimo metodai ir sąlygos

Tiriamoji augalinė žaliava – siauralapio gauromečio lapai – buvo padalinti į penkis dalis: keturios dalys fermentuotos 24, 36, 48 ir 72 val. ir baigus fermentaciją iš karto išdžiovintos 35 °C temperatūros džiovinimo spintoje (VENTI-Line 53, VWR) iki orasausių. Kita dalis siauralapio gauromečio lapų (kontrolė) išdžiovinta 35 °C temperatūros džiovinimo spintoje iki orasausių. Laikymo sąlygos: popieriniuose maišeliuose esant 20 °C temperatūrai.

Buvo paruošti keturi skirtingos fermentacijos trukmės siauralapio gauromečio lapų ekstraktai bei vienas iš džiovintų gauromečio lapų (kontrolė). Ekstraktai buvo ištirti, atliekant po penkis tyrimo pakartojimus ir pateiktas gautų rezultatų vidurkis.

Ekstraktų paruošimas. Fermentuotų ir išdžiovintų iki orasausių bei susmulkintų rutuliniu malūnu (MM400, Retsch) iki 0,2–0,5 mm dydžio dalelių siauralapio gauromečio lapų pasverta po $0,2 \pm 0,001$ g. Ekstraktai paruošti naudojant 10 ml 70 proc. etanolio tirpalą ir veikiant ultragarsu 15 min. 80 °C temperatūros ultragarsinėje vonelėje (HUBA3, Grant). Mėginiai centrifuguoti 4500 aps./min. greičiu centrifugoje (BKC-TL4X, BioBase).

Bendras polifenolinių junginių kiekis siauralapio gauromečio lapų ekstraktuose nustatytas Folin-Ciocalteu spektrofotometrijos metodu (Slinkard ir Singleton, 1977).

Kiekybinio polifenolinių junginių kiekio nustatymui sudaryta kalibravimo kreivė, naudojant standartinį 1 mg/ml galo rūgšties tirpalą, kurio koncentracijų intervalas yra nuo 0 iki 0,1 mg/ml. 1 ml skirtingų koncentracijų standartinio tirpalo paveikiama 5 ml Folin-Ciocalteu reagento (reagentas buvo praskiestas 10 kartų 2-o grynumo laipsnio analizės vandeniu), įpilta 4 ml 7,5 proc. natrio karbonato tirpalo. Šviesos sugertis išmatuota esant 765 nm bangos ilgiui, po 30 min. mėginių inkubacijos kambario temperatūroje, laikant tamsoje. Matavimams naudotas UV/RŠ spektrofotometras (UV5, Mettler Toledo) ir 10 mm optinio stiklo kiuvetė. Tyrimui naudota po 1 ml paruoštų mėginių ekstraktų. Bendras polifenolinių junginių kiekis išreikštas galo rūgšties ekvivalentu (GAE) gramui augalinės žaliavos (mg/g), naudojantis galo rūgšties kalibravimo kreivės tiesinės regresijos lygtimi ($y = 9,3062x + 0,0099$, $R^2 = 0,9989$), apskaičiuojamas naudojant formulę:

$$GAE = \frac{c \cdot V \cdot SF}{m} (mg/g),$$

čia: c – galo rūgšties koncentracija pagal kalibravimo kreivę (mg/ml); V – ekstrakto tūris (ml); SF – ekstrakto skiedimo faktorius; m – mėginio masė (g).

Antioksidacinis aktyvumas (AOA) nustatytas 2,2-difenil-1-pikrilhidrazilo (DPPH•) radikalų surišimo metodu (Kedare ir Singh, 2011). Šio metodo esmė – stabilaus laisvojo DPPH• radikalo gebėjimas keisti spalvą, kai antioksidantas perduoda elektroną arba vandenilio atomą DPPH• radikalui. Antioksidacinio aktyvumo nustatymui 50 μl tiriamojo ekstrakto mėgintuvėlyje sumaišoma su 4 ml $6 \cdot 10^{-5}$ M DPPH• tirpalu ir spektrofotometru (UV5, Mettler Toledo) išmatuojamas šviesos sugerties dydžio sumažėjimas mėginiuose po 30 min., esant 515 nm bangos ilgiui. Palyginamasis tirpalas – 70 proc. etanolio tirpalas. Antiradikalinis fermentuoto siauralapio gauromečio lapų antioksidacinis aktyvumas išreiškiamas surišto DPPH• radikalo procentais:

$$AOA = (A_t - A_m / A_t) \cdot 100 \%,$$

čia: A_t – tuščio mėginio šviesos sugertis ($t = 0$ min.); A_m – mėginio su tiriamuoju ekstraktu šviesos sugertis ($t = 30$ min.).

Duomenų analizei buvo naudojama MS Excel programos duomenų analizės įrankis vienfaktorė ANOVA, siekiant išanalizuoti koreliaciją tarp polifenolinių junginių kiekio ir antioksidacinio aktyvumo.

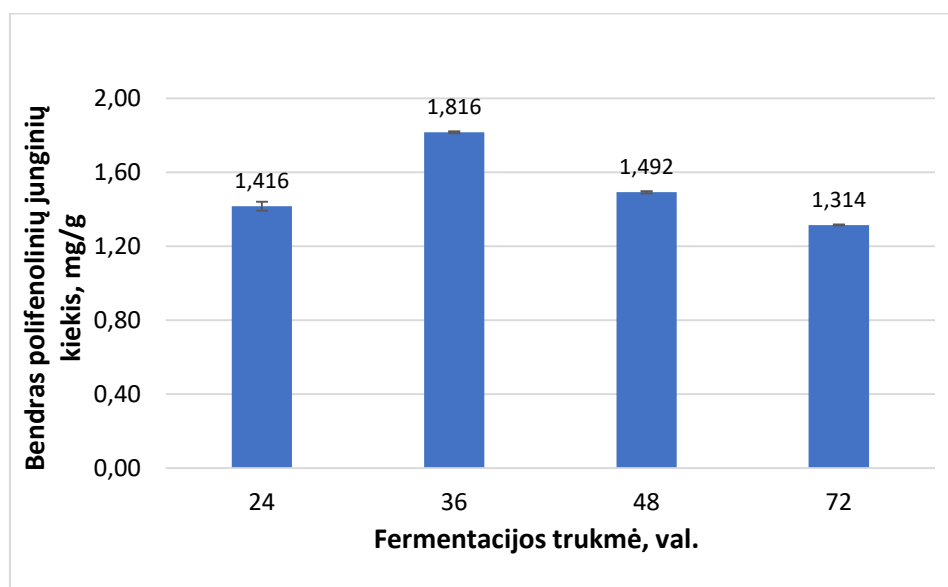
Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

Šio tyrimo metu siauralapio gauromečio (*Chamerion angustifolium* L.) lapai buvo fermentuoti (1 pav.) ir nustatytas bendras polifenolinių junginių kiekis bei antioksidacinis aktyvumas juose, keičiant fermentacijos trukmę.



1 pav. Siauralapis gaurometis (*Chamerion angustifolium* L.) prieš (a) ir po (b) fermentacijos

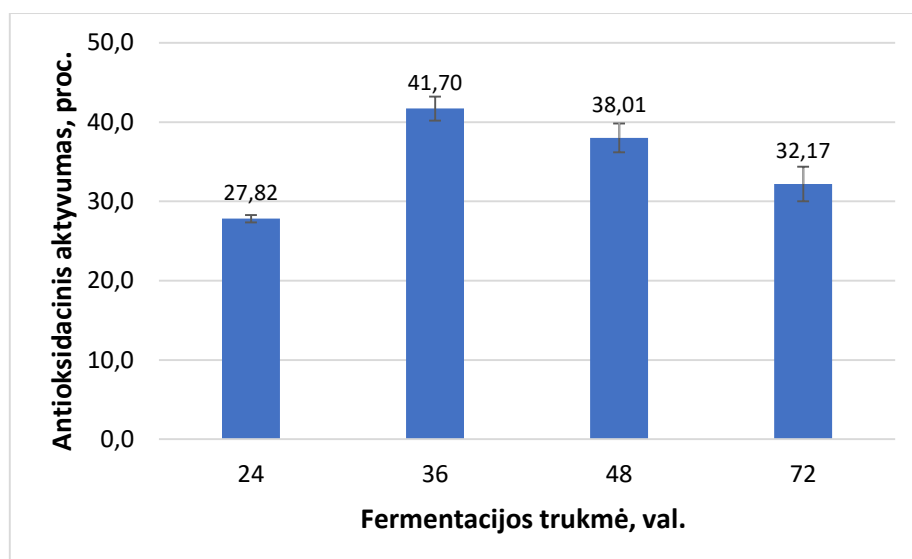
Nustatyta, kad bendras polifenolinių junginių kiekis esantis nefermentuoto (džiovinta 35 °C temperatūroje) gauromečio lapuose yra $1,775 \pm 0,008$ mg/g. Pastebėta, kad polifenolinių junginių kiekiui įtakos turi fermentacijos trukmė. Tyrimu nustatyta, kad didžiausias jų kiekis – $1,816 \pm 0,005$ mg/g – randamas po 36 val. fermentacijos (2 pav.). Literatūros šaltiniuose nurodoma, kad kietafazės fermentacijos metu mikroorganizmai ir fermentai, esantys augaluose, lemia naujų laktinų junginių susidarymą, pvz., citonelis, izobutanolis ir butanonas, t. y., vyksta stambiamolekulinių medžiagų skilimas į mažesnės molekulinės masės junginius ir tuo pačiu metu susidaro medžiagų apykaitos produktai (rūgštys, alkoholiai, esteriai, aldehidai, ketonai ir t. t.) (Jariene ir kt., 2020). Tyrimo metu nustatyta, kad ilginant fermentacijos trukmę polifenolinių junginių kiekis mažėja, nes po 72 val. fermentacijos siauralapio gauromečio lapuose jo nustatyta mažiau ($1,314 \pm 0,003$ mg/g). Manoma, tam įtakos turėjo taninų kiekio sumažėjimas. Literatūroje nurodoma, kad fermentuojant siauralapio gauromečio lapus, taninų kiekis sumažėja apie 93 proc. (Olennikov ir kt., 2021). Leonard ir kt. pastebėjo, kad bendras polifenolinių junginių kiekis gali sumažėti dėl fermentacijos proceso metu vykstančių fermentinių arba nefermentinių oksidacijos reakcijų, tirpių fenolinių junginių difuzijos arba kondensacijos reakcijų su baltymais (Leonard ir kt., 2021).



2 pav. Siauralapio gauromečio (*Chamerion angustifolium* L.) bendrojo polifenolinių junginių kiekio priklausomybė nuo kietafazės fermentacijos trukmės (N = 5)

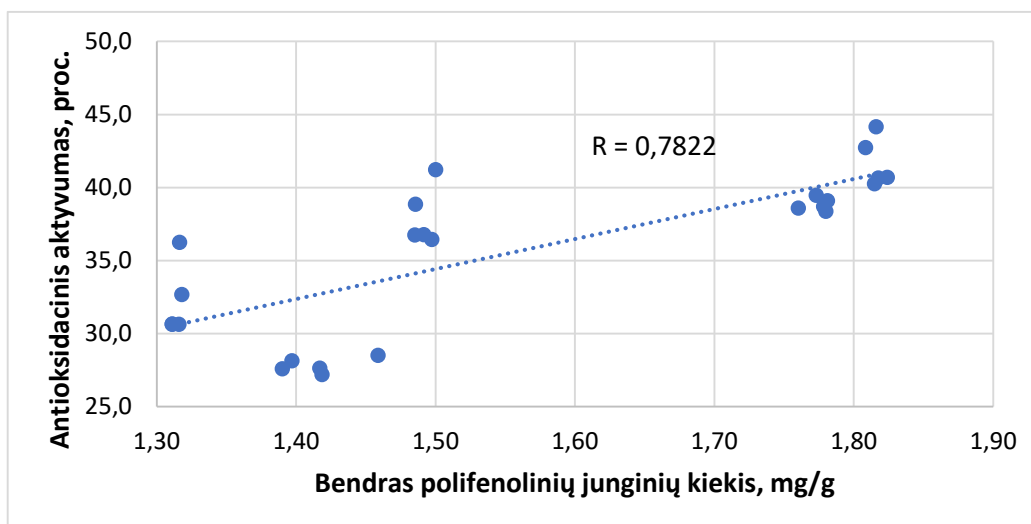
Antioksidacinį aktyvumą augalinės kilmės žaliavose nulemia polifenoliniai junginiai ir tyrimu nustatyta, kad nefermentuoto siauralapio gauromečio lapuose antioksidacinis aktyvumas yra $38,85 \pm 0,39$ proc. Literatūroje nurodoma, kad taikant ekstrakciją etanoliumi, siauralapio gauromečio augalinėje žaliavoje, surinktoje Turkijoje, nustatytas antioksidacinis aktyvumas siekia $11,3 \pm 0,19$ proc. (Kavaz Yüksel ir kt., 2021). Literatūroje nurodoma, kad fermentacija padidina augalinės žaliavos antioksidacinį aktyvumą. Manoma, kad

tai susiję su polifenolinių junginių hidrolize, kurią skatina įvairūs mikroorganizmai, skaidantys augalinę biomasę į tirpius angliavandenius, baltymus ir lipidus. Hidrolizės metu polifenoliniai junginiai yra išlaisvinami iš augalų ląstelių, kuriose jie dažnai būna susieti su angliavandeniais, baltymais ar ląstelių sienelių struktūromis, ir tampa labiau prieinami bei biologiškai aktyvūs (Herman ir Herman, 2023; Hur ir kt., 2014). Lyginant fermentuoto ir nefermentuoto siauralapio gauromečio lapuose antioksidacinį aktyvumą, stebimas ryškus antioksidacinio aktyvumo sumažėjimas po 24 val. fermentacijos. Panašus antioksidacinio aktyvumo sumažėjimas po 24 val. fermentacijos buvo nustatytas siauralapio gauromečio augalinėje žaliavoje, surinktoje Lietuvoje (Jariene ir kt., 2020). Didžiausias antioksidacinis aktyvumas fermentuoto siauralapio gauromečio lapuose stebimas po 36 val. fermentacijos (3 pav.). Ilginant fermentacijos trukmę antioksidacinis aktyvumas nežymiai mažėja (9,53 proc.). Tokia pati tendencija stebima ir polifenoliniuose junginiuose. Polifenolinių junginių kiekis sumažėjo po 36 val. kietafazės fermentacijos kaip ir antioksidacinis aktyvumas.



3 pav. Siauralapio gauromečio (*Chamerion angustifolium* L.) antioksidacinio aktyvumo priklausomybė nuo kietafazės fermentacijos trukmės (N=5).

Svarbu įvertinti siauralapio gauromečio antioksidacinio aktyvumo priklausomybę nuo bendrojo polifenolinių junginių kiekio. Antioksidacinio aktyvumo priklausomybės nuo polifenolinių junginių kiekio tyrimo rezultatai pateikti 4 pav. Iš tyrimo rezultatų matoma, kad koreliacija yra teigiama.



4 pav. Siauralapio gauromečio (*Chamerion angustifolium* L.) antioksidacinio aktyvumo priklausomybė nuo polifenolinių junginio kiekio kietafazės fermentacijos metu

Nustatytas stiprus ryšys tarp antioksidacinio aktyvumo ir polifenolinių junginių kiekio ($R = 0,782$). Tai rodo, kad fermentuotuose siauralapio gauromečio lapuose esantys polifenoliniai junginiai, turintys antioksidacinių savybių, didina antioksidacinį aktyvumą.

Išvados

1. Tyrimu nustatyta, kad bendras polifenolinių junginių kiekis ir antioksidacinis aktyvumas fermentuoto siauralapio gauromečio (*Chamerion angustifolium* L.) lapuose priklauso nuo kietafazės fermentacijos trukmės. Optimali siauralapio gauromečio kietafazės fermentacijos trukmė yra 36 val.
2. Siauralapio gauromečio lapų ekstraktuose nustatytas didžiausias polifenolinių junginių kiekis šiomis sąlygomis yra $1,816 \pm 0,005$ mg/g, o antioksidacinis aktyvumas – $41,7 \pm 1,51$ proc. Ilginant kietafazės fermentacijos trukmę bendras polifenolinių junginių kiekis ir antioksidacinis aktyvumas mažėja.
3. Įvertinta antioksidacinio aktyvumo priklausomybė nuo bendrojo polifenolinių junginio kiekio ir nustatyta koreliacija tarp šių rodiklių, $R = 0,782$. Galima teigti, kad kuo daugiau polifenolinių junginių yra fermentuoto siauralapio gauromečio lapuose, tuo didesniu antioksidaciniu aktyvumu jis pasižymi.

Literatūra

1. Adamczak, A., Dreger, M., Seidler-Łożykowska, K., & Wielgus, K. (2019). Fireweed (*Epilobium angustifolium* L.): botany, phytochemistry and traditional uses. A review. *Herba Polonica*, 65 (3), 51–63. <https://doi.org/10.2478/HEPO-2019-0018>
2. Cui, Y., Li, J., Deng, D., Lu, H., Tian, Z., Liu, Z., & Ma, X. (2021). Solid-state fermentation by *Aspergillus niger* and *Trichoderma koningii* improves the quality of tea dregs for use as feed additives. *PLOS ONE*, 16 (11), e0260045. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0260045>
3. de Menezes, L. H. S., Oliveira, P. C., do Espírito Santo, E. L., Gonçalves, M. S., Bilal, M., Ruiz, H. A., da Silva, E. G. P., Salay, L. C., de Oliveira, J. R., & Franco, M. (2023). Solid-State Fermentation as a Green Technology for Biomass Valorization: Optimization Techniques for Bioprocess—An Overview. *BioEnergy Research*, 17 (1), 42–58. <https://doi.org/10.1007/s12155-023-10670-y>
4. Deng, L. Q., Zhou, S. Y., Mao, J. X., Liu, S., Lan, X. Z., Liao, Z. H., & Chen, M. (2018). HPLC-ESI-MS/MS analysis of phenolics and in vitro antioxidant activity of *Epilobium angustifolium* L. *Natural Product Research*, 32 (12), 1432–1435. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1344659>
5. Dreger, M., Seidler-Łożykowska, K., Szalata, M., Adamczak, A., & Wielgus, K. (2021). Phytochemical variability during vegetation of *Chamerion angustifolium* (L.) Holub genotypes derived from in vitro cultures. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 147 (3), 619–633. <https://doi.org/10.1007/S11240-021-02154-8>
6. Farnworth, E. R. (2005). Kefir - a complex probiotic. *Food Science and Technology Bulletin: Functional Foods*, 2 (1), 1–17. <https://doi.org/10.1616/1476-2137.13938>
7. Granica, S., Bazylko, A., & Kiss, A. K. (2012). Determination of Macrocyclic Ellagitannin Oenothetin B in Plant Materials by HPLC-DAD-MS: Method Development and Validation. *Phytochemical Analysis*, 23 (6), 582–587. <https://doi.org/10.1002/PCA.2358>
8. Granica, S., Piwowski, J. P., Czerwińska, M. E., & Kiss, A. K. (2014). Phytochemistry, pharmacology and traditional uses of different *Epilobium* species (Onagraceae): A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 156, 316–346. <https://doi.org/10.1016/J.JEP.2014.08.036>
9. Herman, A., & Herman, A. P. (2023). Biological Activity of Fermented Plant Extracts for Potential Dermal Applications. *Pharmaceutics*, 15 (12), 2775. <https://doi.org/10.3390/PHARMACEUTICS15122775>
10. Hur, S. J., Lee, S. Y., Kim, Y. C., Choi, I., & Kim, G. B. (2014). Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. *Food Chemistry*, 160, 346–356. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.03.112>
11. Jariene, E., Lasinskas, M., Danilcenko, H., Vaitkeviciene, N., Slepeliene, A., Najman, K., & Hallmann, E. (2020). Polyphenols, Antioxidant Activity and Volatile Compounds in Fermented Leaves of Medicinal Plant Rosebay Willowherb (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub). *Plants*, 9 (12), 1683. <https://doi.org/10.3390/PLANTS9121683>
12. Kadam, P., Patil, M., & Yadav, K. (2018). A Review on Phytopharmacopial Potential of *Epilobium angustifolium*. *Pharmacognosy Journal*, 10 (6), 1076–1078. <https://doi.org/10.5530/pj.2018.6.181>
13. Kavaz Yüksel, A., Dikici, E., Yüksel, M., Işık, M., Tozoğlu, F., & Köksal, E. (2021). Phytochemical, phenolic profile, antioxidant, anticholinergic and antibacterial properties of *Epilobium angustifolium* (Onagraceae). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15 (6), 4858–4867. <https://doi.org/10.1007/S11694-021-01050-1>
14. Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of Food Science and Technology*, 48 (4), 412.
15. Lasinskas, M., & Jariene, E. (2018). Siauralapio gauromečio (*Chamerion angustifolium* L.) panaudojimo galimybės: tyrimų apžvalga. *Žemės Ūkio Mokslai*, 25 (3), 125–130.
16. Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., Adhikari, B., & Fang, Z. (2021). Fermentation transforms the phenolic profiles and bioactivities of plant-based foods. *Biotechnology Advances*, 49. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2021.107763>

17. Llauradó Maury, G., Méndez Rodríguez, D., Hendrix, S., Escalona Arranz, J. C., Fung Boix, Y., Pacheco, A. O., García Díaz, J., Morris Quevedo, H. J., Ferrer Dubois, A., Isaac Aleman, E., Beenarts, N., Méndez Santos, I. E., Orberá Ratón, T., Cos, P., & Cuypers, A. (2020). Antioxidants in Plants: A Valorization Potential Emphasizing the Need for the Conservation of Plant Biodiversity in Cuba. *Antioxidants*, 9 (11), 1–39. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX9111048>
18. Losada-Barreiro, S., Sezgin-Bayindir, Z., Paiva-Martins, F., & Bravo-Díaz, C. (2022). Biochemistry of Antioxidants: Mechanisms and Pharmaceutical Applications. *Biomedicines*, 10 (12). <https://doi.org/10.3390/BIMEDICINES10123051>
19. Maruška, A., Ragažinskiene, O., Vyšniauskas, O., Kaškonienė, V., Bartkuvienė, V., Kornysova, O., Briedis, V., & Ramanauskienė, K. (2014). Flavonoids of willow herb (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub) and their radical scavenging activity during vegetation. *Advances in Medical Sciences*, 59 (1), 136–141. <https://doi.org/10.1016/J.ADVMS.2013.10.002>
20. Ng, Z. X., Soh, E. Y. W., & Yong, P. H. (2022). The influence of fermentation and drying methods on the functional activities and sensory quality of *Artemisia argyi* H.Lév. & Vaniot herbal tea. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 30, 100393. <https://doi.org/10.1016/J.JARMAP.2022.100393>
21. Nurzyńska, R., & Nurzyńska-Wierdak, N. (2023). Phenolic Compounds from New Natural Sources—Plant Genotype and Ontogenetic Variation. *Molecules* 2023, 28 (4), 1731. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES28041731>
22. Olennikov, D. N., Kirillina, C. S., & Chirikova, N. K. (2021). Water-soluble melanoidin pigment as a new antioxidant component of fermented willowherb leaves (*Epilobium angustifolium*). *Antioxidants*, 10 (8). <https://doi.org/10.3390/antiox10081300>
23. Sadh, P. K., Kumar, S., Chawla, P., & Duhan, J. S. (2018). Fermentation: A Boon for Production of Bioactive Compounds by Processing of Food Industries Wastes (By-Products). *Molecules: A Journal of Synthetic Chemistry and Natural Product Chemistry*, 23 (10). <https://doi.org/10.3390/MOLECULES23102560>
24. Slinkard, K., & Singleton, V. L. (1977). Total Phenol Analysis: Automation and Comparison with Manual Methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28 (1), 49–55. <https://doi.org/10.5344/AJEV.1974.28.1.49>
25. Slobodianiuk, L., Budniak, L., Feshchenko, H., Sverstiuk, A., & Palaniza, Y. (2022). Quantitative analysis of fatty acids and monosaccharides composition in *Chamerion angustifolium* L. by GC/MS method. *Pharmacia*, 69 (1), 167–174. <https://doi.org/10.3897/PHARMACIA.69.E76687>
26. Srivastava, N., Srivastava, M., Ramteke, P. W., & Mishra, P. K. (2019). Solid-State Fermentation Strategy for Microbial Metabolites Production: An Overview. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, 345–354. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63504-4.00023-2>
27. Vitalone, A., Bordi, F., Baldazzi, C., Mazzanti, G., Saso, L., & Tita, B. (2001). Anti-proliferative effect on a prostatic epithelial cell line (PZ-HPV-7) by *Epilobium angustifolium* L. *Il Farmaco*, 56 (5–7), 483–489. [https://doi.org/10.1016/S0014-827X\(01\)01067-9](https://doi.org/10.1016/S0014-827X(01)01067-9)
28. World Flora Online. (n.d.). *Chamerion angustifolium* L. Retrieved August 14, 2024, from <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000668750>

DETERMINATION OF THE TOTAL AMOUNT OF POLYPHENOLIC COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY IN THE FERMENTED LEAVES OF ROSEBAY WILLOWHERB (*CHAMERION ANGUSTIFOLIUM* L.)

Summary

Polyphenolic compounds present in plants, like other biologically active substances, have currently been receiving considerable attention due to their antioxidant, antimicrobial, and other properties. Studies have shown that antioxidants in plant-based raw materials and food can reduce or inhibit the production of free radicals in the body and help prevent cardiovascular disease, inflammatory and neurodegenerative disorders, the proliferation of cancer cells, etc. The leaves of Rosebay willowherb (*Chamerion angustifolium* L.) have long been used in traditional and folk medicine for their anti-inflammatory, antioxidant, anticancer, and pain-relieving effects. The process of fermentation has been increasingly used in the search for new flavours to preserve the organoleptic qualities of teas and the bioactive substances contained in medicinal herbs, so it is important to choose the right fermentation time. This study aimed to determine the impact of solid-phase fermentation on the amount of polyphenolic compounds and antioxidant activity in the leaves of Rosebay willowherb. The total amount of polyphenolic compounds in the leaf extracts of the Rosebay willowherb was determined by Folin-Ciocalteu spectrophotometry, and the antioxidant activity was determined using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH-) radical scavenging method. The study showed that the total amount of polyphenolic compounds and antioxidant activity in the fermented leaves of Rosebay willowherb depend on the duration of solid-phase fermentation. The optimum duration of the solid-phase fermentation of the Rosebay willowherb was 36 hours, and the highest amount of polyphenolic compounds (1.816 ± 0.005 mg/g) and antioxidant activity (41.7 ± 1.51 per cent) were observed under these conditions. The total amount of polyphenolic compounds and the antioxidant activity decreased with increasing duration of solid-phase fermentation. When the antioxidant activity was evaluated in relation to the total polyphenolic compound content, a correlation between these parameters was found ($R = 0.782$). It can be argued that the more polyphenolic compounds are present in the fermented leaves of the rosebay willowherb, the more antioxidant activity it has.

Keywords: *Chamerion angustifolium* L., polyphenolic compounds, antioxidant activity, solid-phase fermentation

Informacija apie autorius

Irena Čerčikienė. Vilniaus kolegijos Agrotechnologijų fakulteto Chemijos ir maisto technologijos katedros lektorė. Mokslinių tyrimų kryptis – chemija.
El. pašto adresas: i.cercikiene@atf.viko.lt

Ingrida Radveikienė. Vilniaus kolegijos Agrotechnologijų fakulteto Chemijos ir maisto technologijos katedros lektorė. Mokslinių tyrimų kryptis – chemija.
El. pašto adresas: i.radveikiene@atf.viko.lt

Jolanta Jurkevičiūtė. Vilniaus kolegijos Agrotechnologijų fakulteto Chemijos ir maisto technologijos katedros lektorė. Mokslinių tyrimų kryptis – chemija.
El. pašto adresas: j.jurkeviciute@atf.viko.lt