

Polifenolni profil i bioaktivnost spojeva u soji, *Glycine max* (L.) Merr

Belošević, Maja

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:182:249759>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Department of Chemistry, Osijek](#)



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera

Odjel za kemiju

Preddiplomski studij kemije

Maja Belošević

Polifenolni profil i bioaktivnost spojeva u soji, *Glycine max* (L.) Merr.

Završni rad

Mentor: doc.dr.sc. Ana Amić

Osijek, 2020.

SAŽETAK

Antioksidansi su kemijski spojevi koji usporavaju ili potpuno sprječavaju nastajanje oštećenja stanica koja su uzrokovana slobodnim radikalima. Soja (*Glycine max* (L.) Merr.) je mahunarka bogata antioksidansima koji štite naš organizam od kroničnih bolesti i raka. Zbog djelotvornih sastojaka, zauzima vodeće mjesto u prehrambenoj i poljoprivrednoj industriji širom svijeta. Najvažnija skupina spojeva koja je odgovorna za antioksidacijsko djelovanje su polifenoli. Flavonoidi čine najznačajniju skupinu polifenola sa strukturom difenilpropana, dijele se u 8 podskupina, a za soju vežemo prvenstveno izoflavone. Cilj ovog završnog rada je istražiti bioaktivnost spojeva u soji te analizirati polifenolni profil soje i proizvoda na bazi soje, kako bi dobili bolji uvid u potencijalni antioksidacijski učinak soje i njezin značaj za zdravlje.

Ključne riječi: soja, antioksidacijsko djelovanje, genistein, daidzein

ABSTRACT

Antioxidants are chemical compounds that can prevent or slow damage to cells caused by free radicals. Soy (*Glycine max* (L.) Merr.) is a legume rich in antioxidants which protect our organism from chronic diseases and cancers. Because of its beneficial properties, soy takes a leading position in food and agricultural industry worldwide. Polyphenols are the most important group responsible for antioxidant activity. The most significant polyphenols are flavonoids with the structure of diphenylpropane, divided in 8 subgroups. Isoflavones are main flavonoids found in soy. The aim of this bachelor's thesis is to investigate the bioactivity of compounds found in soy and to analyse the polyphenolic profile of soy and soy products in order to get a better insight in the antioxidant potential of soy and its impact on the health.

Keywords: soy, antioxidant activity, genistein, daidzein

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. SISTEMATSKI POLOŽAJ I MORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE SOJE, <i>Glycine max</i> (L.) Merr. | 2 |
| 2.1. UTJECAJ PREHRANE BAZIRANE NA SOJI NA ZDRAVLJE..... | 4 |
| 3. FENOLI..... | 5 |
| 4. POLIFENOLI..... | 5 |
| 4.1. FLAVONOIDI..... | 6 |
| 4.1.1. PODJELA FLAVONOIDA | 7 |
| 4.2. FENOLNE KISELINE | 8 |
| 4.2.1. HIDROKSIBENZOJEVE KISELINE | 8 |
| 4.2.2. HIDROKSICINAMIČNE KISELINE | 8 |
| 4.3. LIGNANI I STILBENI..... | 9 |
| 5. KRATKI PREGLED BIOLOŠKE AKTIVNOSTI POLIFENOLNIH SPOJEVA..... | 9 |
| 6. (POLI)FENOLNI PROFIL SOJE, <i>Glycine max</i> (L.) Merr. | 11 |
| 6.1 SOJA..... | 12 |
| 6.2. PROIZVODI NA BAZI SOJE..... | 18 |
| 7. BIOAKTIVNOST SPOJEVA PRISUTNIH U SOJI, <i>Glycine max</i> (L.) Merr. I NJIHOV UTJECAJ NA LJUDSKO ZDRAVLJE..... | 25 |
| 8. ZAKLJUČAK..... | 29 |
| 9. LITERATURA..... | 30 |

1. UVOD

Unatoč stoljećima tradicionalnog uzgoja u regiji podrijetla, na Bliskom istoku, tek se u prošlom stoljeću soja (*Glycine max* (L.) Merr.) transformirala od manjeg usjeva u veliki globalni usjev koji je važan izvor proteina i ulja [1]. Prehrana bazirana na soji istražuje se već 30 godina, a primijećeno je kako igra veliku ulogu u prevenciji i liječenju kroničnih bolesti. Značajna je po kvaliteti sojinog proteina, niskom sadržaju ugljikohidrata, poticanju rasta dobrih bakterija u crijevima te kao izvor vitamina i minerala. Neki od proizvoda koji se baziraju na soji su: soja sos, tempeh, tofu, miso, *natto*, sojin jogurt, sojino mlijeko, itd. [2].

Ljekovito djelovanje soje proizlazi iz velikog udjela polifenolnih spojeva, točnije flavonoida. U ovom završnom radu, proučavali smo polifenolni profil soje i proizvoda na bazi soje pomoću online baze *Phenol-Explorer 3.6* te utvrdili prisutnost mnogobrojnih flavonoida, primjerice daidzeina i genisteina koji se ubrajaju u podskupinu izoflavona [3].

Bioaktivnost izoflavona (koje još nazivamo fitoestrogenima) temelji se na strukturnoj sličnosti s estrogenom sisavaca (17β -estradiol), što znači da mogu imitirati ulogu estrogena u našem organizmu [4]. Izoflavoni, kao i ostali flavonoidi, smanjuju rizik od nastanka stanica raka (najčešće raka prostate i dojki) i kroničnih upalnih bolesti. To rade tako što inhibiraju enzime odgovorne za proizvodnju reaktivnih kisikovih vrsta (ROS) koji uzrokuju oksidativni stres u stanicama. Uz antioksidacijsko djelovanje, flavonoidi mogu još djelovati protuupalno, antitumorski, antimikrobno i sl. Također, štite od UV zračenja te smanjuju razine lošeg, a povećavaju razine dobrog kolesterola [5].

2. SISTEMATSKI POLOŽAJ I MORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE SOJE, *Glycine max* (L.) Merr.

Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) je mahunarka velike hranjive vrijednosti, jedan od najvažnijih izvora proteina i ulja na svijetu. Pronalazi glavno mjesto u poljoprivrednim proizvodnim sustavima mnogih zemalja, uključujući SAD, Kinu, Brazil i Argentinu. Shvaćajući važnost soje, puno truda je uloženo kako bi se napravila genetska poboljšanja koja su rezultirala razvojem mnogih poboljšanih sorti prilagođenih za različite agroekološke zone, uključujući neosjetljivost na fotoperiod, poboljšanu sposobnost nodulacije i fiksiranja dušika, kao i toleranciju na biotske i abiotske stresove. Ovo je uvelike pripomoglo impresivnom razvoju u produkciji soje unazad 30 godina. Poboljšanje proteina i hranjive kvalitete zrnca soje kao i modifikacija profila masnih kiselina u sojinom ulju, postavili su soju na vrh ljestvice najisplativijih komercijalnih kultura [6].

Cjelovito zrno soje koristi se u zreloj osušenoj fazi za proizvodnju *natta*, sojinog mlijeka, tofua, misa i tempeha [2].



Slika 1. Mahuna soje sa sojinim sjemenkama (*edamame*) [7].

Tablica 1. Sistematski položaj soje [8].

| | | |
|--------------------|-------------------|-------------------------------|
| CARSTVO | <i>Regnum</i> | Plantae |
| PODCARSTVO | <i>Subregnum</i> | Tracheobionta |
| ODJELJAK | <i>Phylum</i> | Spermatophyta |
| PODODJELJAK | <i>Subphylum</i> | Magnoliophyta |
| RAZRED | <i>Classis</i> | Magnoliopsida |
| PODRAZRED | <i>Subclassis</i> | Rosidae |
| RED | <i>Ordo</i> | Fabales |
| PORODICA | <i>Familia</i> | Fabaceae |
| ROD | <i>Genus</i> | Glycine Willid |
| VRSTA | <i>Species</i> | <i>Glycine max</i> (L.) Merr. |

Sistematski položaj soje prikazan je u tablici 1. Ovisno o sorti i načinu uzgoja, sjemenka soje je različite veličine, oblika i boje. Može biti ovalnog, okruglog i jajastog oblika, dok krupnoća i veličina ovise o agroekološkim činiteljima i sorti. Sjemenka se sastoji od embrija obavijenog sjemenskom opnom. Sjemenska opna može biti zelena, žuta, crna i smeđa, ili kombinacija navedenih boja [9].

Korijen soje je dobro razgranat, vretenastog je oblika te ima veliku apsorpcijsku sposobnost. Na korijenu se stvaraju kvržice unutar kojih se nalaze žive bakterije *Bradyrhizobium japonicum* (tzv. kvržične bakterije), a one vežu atmosferski dušik. Bakterije i biljka žive u simbiozi tako što bakterije uzimaju ugljikohidrate od biljke, a zauzvrat ju opskrbljuju dušikom [9].

Stabljika je razgranata i uspravna te okrugla na poprečnom presjeku. Sastavljena je od velikog broja članaka. Listovi se mogu podijeliti na četiri tipa: jednostavni primarni listovi, kotiledoni, trokutasti listovi-zalisci i trolisci. Razlikujemo različite oblike listova kao što su ovalni, jajasti, kopljasti i okrugli, a boja varira od svijetlozelene do tamnozelene [9].

Sojini cvjetovi se nalaze u pazuščima lista, a sastavljeni su od prašnjika, tučka, čaške i vjenčića. Cvjetovi se oprašuju prije otvaranja, a soja je samooplodna biljka. Cvijet može biti ljubičast, bijel ili kombinacija navedenih boja. Mahuna soje (slika 1.) može biti okruglog, spljoštenog ili srpastog oblika, a glavne boje su siva, crna i slamnato-žuta. Može imati 1-5 sjemenki te o njima ovisi oblik mahune. Čaška cvijeta, mahune, stabljika i peteljka prekrivene su dlakama [9].

2.1. UTJECAJ PREHRANE BAZIRANE NA SOJI NA ZDRAVLJE

Soja je od davnina prepoznata kao izvor visokokvalitetnih proteina i zdravih masti, a u posljednjih 25 godina temeljito se istražuje zbog njene uloge u prevenciji i liječenju kroničnih bolesti. Postoje dokazi da smanjuje rizik od koronarnih srčanih bolesti i raka. Uz to, soja ublažava vrućicu i može povoljno utjecati na rad bubrega, ublažiti depresivne simptome i poboljšati zdravlje kože. Veliki je fokus na soji jer je bogat izvor izoflavona [2].

Soja je značajna, ne samo po ukupnom udjelu proteina, već i po kvaliteti sojinog proteina koja je viša od kvalitete ostalih biljnih proteina te je po aminokiselinskom sastavu slična životinjskim proteinima. Niska količina ugljikohidrata u soji čini ju pogodnom za pacijente oboljele od dijabetesa. Velik dio sojinih ugljikohidrata sastoji se od oligosaharida (pretežno stahize) koje crijevni enzimi teško probavljaju te zato putuju u debelo crijevo gdje mogu potaknuti rast bakterija kao što su bifidobakterije, za koje se smatra da su povoljne za domaćina. Oligosaharidi soje klasificirani su kao prebiotici te mogu izazvati nadutost iako je ta nuspojava zanemariva jer se kao rezultat prerade sadržaj oligosaharida znatno smanjuje ili eliminira. Soja je dobar izvor raznih vitamina i minerala, posebno kalija. Također je bogata željezom, što ne čudi, jer iako se često ne spominje, udio željeza u biljnoj prehrani sličan je ili viši od sadržaja željeza u omnivorskoj prehrani. Iznenadujuće, unatoč prisutnosti fitata i oksalata, dva spoja koji inhibiraju apsorpciju minerala, apsorpcija kalcija iz soje je prilično dobra [2].

Na raznim internetskim stranicama te općenito u javnosti pojavljuju se informacije o negativnim utjecajima soje na ljudski organizam. Informacije najčešće nisu znanstveno potvrđene, radi se o nagađanjima koja se vrlo lako prisvajaju iako su neka od njih opovrgnuta. Da bismo ih shvatili, prvo trebamo nešto reći o ksenoestrogenima jer zrno soje sadrži fitoestrogene poput daidzeina i genisteina. Ksenoestrogeni se ubrajaju u grupu spojeva koji oponašaju funkciju estrogena u našem tijelu na način da se vežu za

estrogenske receptore i imitiraju njihovu funkciju. Smatra se da je unos ksenoestrogena, koji su ustvari različite kemikalije poput pesticida, organofosfata, nitrata itd., razlog sve većih pojava karcinoma dojke, neplodnosti, policističnih jajnika i drugih oboljenja reproduktivnog sustava. Navodno, istraživanja pokazuju da fitoestrogeni kod odraslih koji konzumiraju tofu dva puta tjedno tijekom 30 godina uzrokuju oštećenja mozga koja su ekvivalent mozgu koji bi bio 5 godina stariji nego što je. Također, pojava Alzheimerove bolesti raste 2,4 puta kao i vjerojatnost depresije te Parkinsonove bolesti. Nagađa se da konzumiranje soje povećava rizik od razvoja raka dojke zbog već navedenih izoflavona i njihovog štetnog učinka na hormone i poremećaj hormonske ravnoteže. Ipak, studije potvrđuju da je prihvatljivo i zdravo konzumirati soju i sojine proizvode, ali samo istraživanje o učinku soje na žene koje su preboljele karcinom dojke je još u punom zamahu. Nadalje, nagađa se da kod muškaraca pretjerano konzumiranje soje može dovesti do takozvane feminizacije i pada razine testosterona. Tome prethodi prevelik unos fitoestrogena koji simulira rad estrogena i u muškarcu povećava količinu ženskih hormona. Posljedično to dovodi do neplodnosti te smanjene spolne funkcije. Unatoč nagađanjima, zasad sve kliničke studije potvrđuju da je to sve samo mit te da namirnice bogate izoflavonima i sama soja ne dovode do pojave takvih stanja [10].

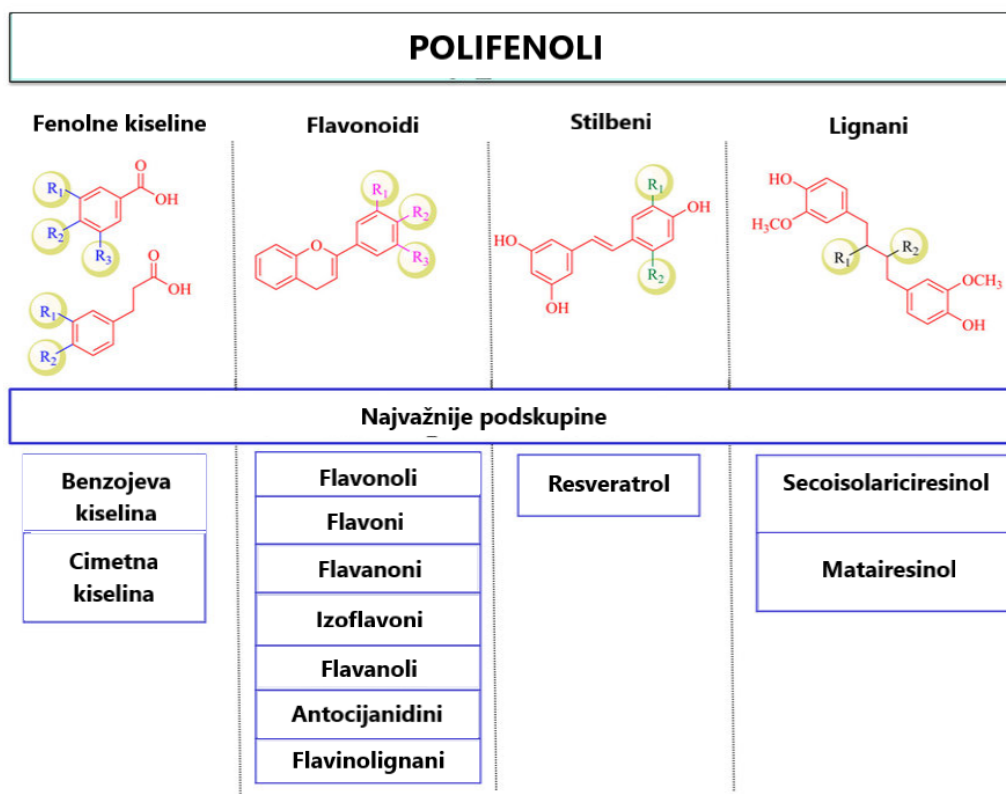
3. FENOLI

Fenol (C_6H_5OH), također poznat kao i hidroksibenzen ili karbolna kiselina ubraja se među organske spojeve poznate kao 1-hidroksi-4-nesupstuirani benzenoid. Fenol postoji u čvrstom stanju, topljivom (u vodi) i kao slabo kiseli spoj. Pronađen je u većini ljudskih tkiva, a otkriven je i u većini tjelesnih tekućina (urin, znoj, krv i izmet). Postoji u svim eukariotima – od kvasca do ljudi [11].

4. POLIFENOLI

Polifenolni spojevi su sekundarni metaboliti dobiveni iz biljnog tkiva i tkiva gljiva. Sekundarni metaboliti su kemikalije koje biljke proizvode, a nemaju ulogu u rastu, fotosintezi, razmnožavanju ili drugim „primarnim“ funkcijama [12]. Ova složena grupa spojeva sastoji se od više od 8000 spojeva u jednoj od sljedećih skupina: flavonoidi, fenolne kiseline, lignani, acetofenoni, kumarini, ksantoni, stilbeni, floriglucinoli i drugi fenolni spojevi koji uključuju njihove derivatne spojeve (npr. sa supstituentima

glukuronida i sumpora) i oligomerne/polimerne strukture. Sažeta podjela prikazana je na slici 2. Svi fenolni spojevi sadrže barem jedan aromatski prsten s hidroksilnim supstituentom. Polifenole najčešće nalazimo u biljnim i voćnim sokovima, pivu, čaju, kavi, crnom vinu, voću, povrću te čokoladi [13].



Slika 2. Shematski prikaz opće podjele polifenolnih spojeva [14].

4.1. FLAVONOIDI

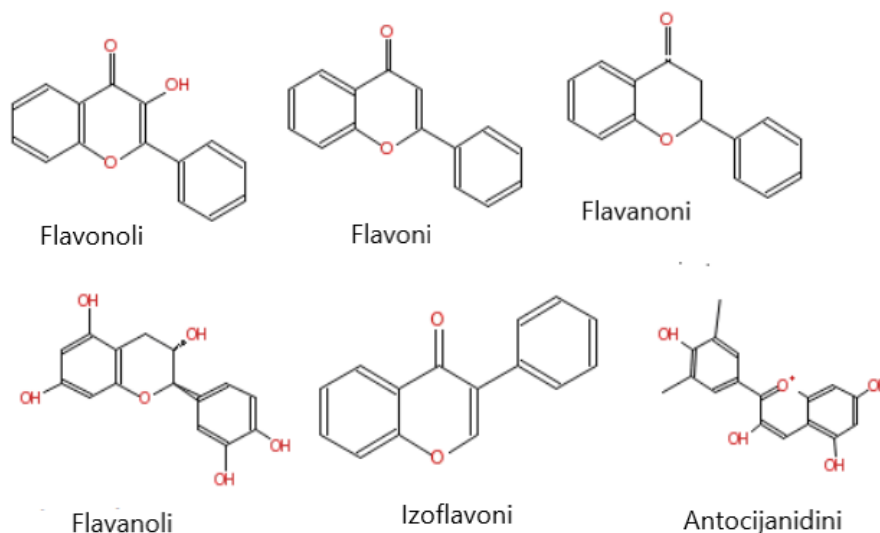
Flavonoidi čine najvažniju skupinu polifenola sa zajedničkom strukturom difenilpropana (C6–C3–C6), koja se sastoji od dva aromatska prstena povezana kroz tri ugljika koji obično tvore oksigenirani heterocikl. Na temelju varijacija heterocikličkog prstena, flavonoidi se mogu podijeliti u osam glavnih podrazreda, uključujući flavonole, flavone, flavanone, izoflavone, flavanole, antocijane, proantocijanide i tanine [4]. Biosinteza flavonoida započinje fenilalaninom koji postupno prolazi kroz enzimsku supstituciju [13].

Mnoge biljke sadrže flavonoide prisutne u skoro svim dijelovima, najčešće u kori i sjemenkama voća. Ljekovitost biljaka proizlazi iz antioksidacijskog i antiradikalskog

djelovanja flavonoida. Flavonoidi utječu na dugovječnost biljaka zbog sposobnosti da hvataju slobodne radikale i djeluju na mikroorganizme te na taj način osiguravaju duži životni vijek biljkama [15].

4.1.1. PODJELA FLAVONOIDA

Naziv 4-okso-flavonoidi odnosi se na flavonole, flavone, izoflavone i flavanone (slika 3.). Mogu se razlikovati na temelju modifikacije jezgre, uključujući i broj i položaj hidroksilnih skupina i stupanj metilacije i glikozilacije [4].



Slika 3. Strukturne formule flavonoida [16].

Flavonole karakterizira prisustvo hidroksilne skupine na položaju C3 te se ubrajaju u najvažniju skupinu flavonoida. Glavni predstavnik skupine je kvercetin. Flavoni se razlikuju od flavonola po tome što nemaju hidroksilnu skupinu na položaju C3. Oni doprinose boji biljnog tkiva. Izoflavoni su dio skupine izoflavonoida, imaju kemijsku strukturu sličnu strukturi estrogena sisavaca (17β -estradiol) pa se još nazivaju „fitoestrogenima“. Izoflavoni su prisutni u biljnoj hrani kao aglikoni (genistein ili daidzein – spojevi koji se nalaze u soji) ili, pretežno, kao različiti jako polarni i topivi u vodi glikozidi, uključujući acetil- i malonil-glukozide i *p*-glukozide daidzeina i genisteina. Mahunarke su glavni izvor izoflavona, a mogu regenerirati vitamine C i E. Flavanoni

nastaju iz flavona nakon redukcije dvostruke veze u heterociklu, a doprinose okusu citrusa. Flavanoli imaju strukturu C-prstena sličnu strukturi 4-okso-flavonoida, ali karakterizira ih nedostatak dvostruke veze na položaju C2–C3. Proantocijanidini (ili kondenzirani tanini) uključuju oligo- i polimerne oblike monomernih flavanola [4].

4.2. FENOLNE KISELINE

Fenolne kiseline kemijski su definirane kao karboksilne kiseline sastavljene od kostura benzojeve ili cimetine kiseline. Ti se spojevi sintetiziraju šikimatnim putem koji šikiminsku kiselinu pretvara u *L*-fenilalanin ili *L*-tirozin (glavni spojevi na tom putu), što, zatim, dovodi do stvaranja cimetine kiseline i *p*-kumarne kiseline. Nakon tog koraka nastaje benzojeva kiselina [13].

4.2.1. HIDROKSIBENZOJEVE KISELINE

Derivati hidoksibenzojeve kiseline (HBA) fenolni su spojevi opće strukture C6–C1. Povezane C6–C2 kiseline (feniloctene kiseline) pojavljuju se povremeno kao manje komponente hrane. Varijacije u osnovnoj strukturi HBA uključuju hidroksilaciju i metoksilaciju aromatskog prstena. 4-Hidroksibenzojeva kiselina (4-HBA), vanilinska kiselina (3-metoksi-4-hidroksi), siringična kiselina (3,5-dimetoksi-4-hidroksi) i protokatehuinska kiselina (3,4-dihidroksi) konstituenti su lignina. Ove se kiseline javljaju i kao esteri glukoze [4].

4.2.2. HIDROKSICINAMIČNE KISELINE

Cimetine kiseline su *trans*-fenil-3-propenske kiseline koje se razlikuju u supstituciji prstena. Ovisno o identitetu, broju i položaju acilnih ostataka, ove kiseline mogu se podijeliti u slijedeće skupine: mono-esteri kavene, *p*-kumarinske i ferulične kiseline; di-, tri- i tetra-esteri kavene kiseline; miješani di-esteri kavene i ferulične kiseline ili kavene i sinapične kiseline; pomiješani esteri kavene kiseline s dvoprotonskim alifatskim kiselinama [4].

4.3. LIGNANI I STILBENI

Lignani su fenolni dimeri koji imaju strukturu 2,3-dibenzilbutana. Poznato je da takvi spojevi tvore temeljni dio za stvaranje lignina u staničnoj stijenci biljke. Spojevi se uglavnom javljaju u glikozidnom obliku [17].

Naziv stilbeni (1,2-difeniletlen) izveden je iz grčke riječi *stilbos*, što znači sjaj. Postoje u dva izomerna oblika 1,2-difeniletlena: (*E*)-stilben (*trans*-stilben) koji nema steričke smetnje i (*Z*)-stilben koji ima steričke smetnje i zbog toga je nestabilniji. Stilbeni su povezani s intenzivnim djelovanjima apsorpcije i fluorescencije. Najpoznatiji predstavnik je resveratrol [18].

5. KRATKI PREGLED BIOLOŠKE AKTIVNOSTI POLIFENOLNIH SPOJEVA

U biljci, polifenoli djeluju tako da štite od UV zračenja, patogena, oksidativnog stresa i oštrih klimatskih uvjeta. U ljudskom tijelu, polifenoli su antioksidansi te imaju raznolika biološka djelovanja. Neka od njih su antifugalno, antibakterijsko, antiviralno, protuupalno i antiseptičko djelovanje, a također štite od dijabetesa, raka, srčanih bolesti, osteoporoze, bolesti živčanog sustava, astme, hipertenzije, cerebrovaskularnih bolesti, preuranjenog starenja, bolesti jetre te snižavaju kolesterol. Oksidativni stres koji stvaraju reaktivne vrste kisika (ROS) uzrokuje mnoge kronične i degenerativne bolesti. Zbog svojih antioksidacijskih svojstava i sposobnosti uklanjanja slobodnih radikala, polifenoli inhibiraju enzime odgovorne za proizvodnju ROS i reduciraju koncentraciju ROS [5].

Antioksidacijsko djelovanje

Među drugim značajnim bioaktivnostima fenolnih spojeva, antioksidacijsko djelovanje koje uključuje uklanjanje slobodnih radikala, inhibiciju oksidacije lipida te redukciju nastajanja hidroperoksida se uveliko istražuju. U *in vitro* uvjetima, fenolni spojevi mogu lako donirati elektron ili proton iz aromatske hidroksilne skupine slobodnom radikalu i tako ga „neutralizirati“. Polifenoli u maslinovom ulju (derivati hidroksitirosola) smanjuju razinu oksidiranog lipoproteina male gustoće (engl. *Low Density Lipoprotein*, LDL) u plazmi. Konzumacija oraha i badema smanjuje peroksidaciju lipida u plazmi. Antocijani nađeni u riži uklanjaju slobodne radikale, a štite i od tumora, ateroskleroze, hipoglikemije te alergija [5].

Antitumorsko djelovanje

Vinski ekstrakti i izolirani polifenoli (resveratrol, kvercetin, katehin i epikatehin) kao i fenolne kiseline pronađene u djevičanskom maslinovom ulju (kavena, sinapična, siringična, protokatehuinska, ferulična i 3,4-dihidroksifeniloctena) smanjuju proliferaciju stanica raka dojke i prostate. Stilben resveratrol i flavonol kvercetin dva su polifenola koja također pokazuju snažan inhibicijski učinak na proliferaciju stanica karcinoma. Njihovi učinci proučavali su se na raznim vrstama raka kao što su rak dojke, prostate, jetre, debelog crijeva i leukemija. Istraživanja su pokazala kako se inhibicijski učinak polifenola na rast tumorskih stanica može ostvariti izmjenom redoks statusa i/ili ometanjem osnovnih staničnih funkcija (apoptoze, staničnog ciklusa, angiogeneze, metastaza) [19].

Protuupalno djelovanje

Pretjerane upale u organizmu smatraju se kritičnim čimbenikom za puno bolesti, uključujući pretilost, dijabetes tipa II, kardiovaskularne bolesti i neurodegenerativne bolesti. Kvercetin mogao bi igrati presudnu ulogu u smanjenju rizika od ateroskleroze. Resveratrol, koji se nalazi u proizvodima od grožđa, smanjuje kronične upale uzrokovane pretilošću. Dušikov oksid (NO) bitna je komponenta za održavanje krvožilnog zdravlja, ali izaziva upale ako se pretvori u peroksitnitrit, u prisutnosti slobodnih radikala. Neka istraživanja su pokazala kako polifenoli mogu inhibirati otpuštanje NO [5].

Antimikrobno djelovanje

Polifenoli su pokazali potencijalna antibakterijska, protugljivična i antivirusna djelovanja. Jedno od mnogobrojnih istraživanja vezano je za polifenole u listu duhana u kojem su dominantni polifenoli klorogenska kiselina i rutin. Testiranje na bakterijama *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* i *Bacillus subtilis* pokazalo je kako su navedeni polifenoli odlična antimikrobna sredstva. Dokazano je da polifenoli u kombinaciji s antibioticima pojačavaju njihovu učinkovitost te smanjuju nuspojave antibiotika [5].

Ostale bioaktivnosti polifenola

Polifenoli djeluju kao zaštita nakon oštećenja kože, eritema i peroksidacije lipida zbog izlaganja UV zračenju. Resveratrol i epigalokatehin-3-galat, *in vivo*, djeluju na metabolizam te na taj način smanjuju rizik od pretilosti i inzulinske rezistencije [5]. Enterolignani mogu aktivirati estrogenski receptor specifičan za tkivo te djeluju protuupalno [17].

6. (POLI)FENOLNI PROFIL SOJE, *Glycine max* (L.) Merr.

Sadržaj (poli)fenolnih spojeva u soji i u proizvodima na bazi soje istražili smo pomoću baze podataka *Phenol-Explorer 3.6*. Baza predstavlja najtočniju i najobuhvatniju bazu podataka (poli)fenolnih spojeva u hrani. Izvor podataka u bazi *Phenol-Explorer 3.6* je 236 znanstvenih publikacija i 221 znanstveno istraživanje. Sadrži podatke za otprilike 500 spojeva koji su dobiveni analizom 400 različitih prehrambenih izvora [3].

U tablicama 2.-14. prikazani su (poli)fenolni profili soje te najpoznatijih proizvoda na bazi soje. Korištene su metode kromatografije i kromatografije nakon hidrolize.

6.1 SOJA

Tablica 2. (Poli)fenolni profil mahune soje sa zrnjem (*edamame*) [20-22].

Korištena metoda bila je kromatografija.

| | Spoj | mg/100g | min | max | SD |
|---------------|--------------------------------|---------|------|-------|-------|
| FLAVONOIDI | | | | | |
| IZOFLAVONOIDI | 6''- <i>O</i> -Acetilgenistin | 0,5287 | 0,00 | 0,67 | 0,29 |
| | 6''- <i>O</i> -Malonildaidzin | 10,73 | 5,51 | 51,50 | 16,42 |
| | 6''- <i>O</i> -Malonilgenistin | 16,28 | 6,91 | 85,10 | 28,83 |
| | 6''- <i>O</i> -Malonilglicitin | 5,15 | 2,84 | 15,95 | 4,67 |
| | Daidzeol | 0,58 | 0,00 | 1,00 | 0,44 |
| | Daidzin | 3,78 | 0,95 | 45,10 | 16,38 |
| | Genistein | 0,54 | 0,00 | 1,60 | 0,60 |
| | Genistin | 4,55 | 1,26 | 43,00 | 15,25 |
| | Glicitein | 0,47 | 0,00 | 1,80 | 0,68 |
| | Glicitin | 2,39 | 1,58 | 6,75 | 1,90 |

Tablica 3. (Poli)fenolni profil mahune soje sa zrnjem (*edamame*) [23].

Korištena metoda bila je kromatografija nakon hidrolize.

| | Spoj | mg/100g | min | max | SD |
|---------------|----------------------|---------|-------|-------|-----------------------|
| FLAVONOIDI | | | | | |
| IZOFLAVONOIDI | Daidzein | 12,20 | 12,20 | 12,20 | 0,00 |
| | Genistein | 14,40 | 14,40 | 14,40 | 0,00 |
| LIGNANI | Lariciresinol | 0,07 | 0,07 | 0,08 | $7,07 \times 10^{-3}$ |
| | Medioresinol | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,00 |
| | Pinoresinol | 0,03 | 0,03 | 0,04 | $7,07 \times 10^{-3}$ |
| | Sekoisolariciresinol | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,01 |
| | Siringaresinol | 0,20 | 0,10 | 0,30 | 0,14 |

Tablica 4. (Poli)fenolni profil prženog zrna soje [21, 24, 25].

Korištena metoda bila je kromatografija.

| | Spoj | mg/100g | min | max | SD |
|---------------|-----------------------|---------|-------|-------|-------|
| FLAVONOIDI | | | | | |
| IZOFLAVONOIDI | 6''-O-Acetilaidzin | 38,26 | 7,10 | 67,98 | 30,47 |
| | 6''-O-Acetilgenistin | 49,33 | 5,40 | 74,30 | 38,16 |
| | 6''-O-Acetilglicitin | 4,83 | 0,00 | 10,20 | 5,12 |
| | 6''-O-Malonilaidzin | 5,34 | 4,50 | 6,92 | 1,37 |
| | 6''-O-Malonilgenistin | 7,78 | 6,30 | 10,55 | 2,40 |
| | 6''-O-Malonilglicitin | 5,37 | 1,50 | 7,40 | 3,35 |
| | Daidzein | 5,17 | 3,90 | 7,20 | 1,78 |
| | Daidzin | 46,70 | 46,00 | 47,40 | 0,99 |
| | Genistein | 4,89 | 1,16 | 6,90 | 2,55 |
| | Genistin | 67,76 | 55,10 | 96,81 | 19,61 |
| | Glicitein | 6,45 | 5,20 | 7,70 | 1,77 |
| | Glicitin | 5,07 | 0,00 | 7,00 | 3,39 |

Tablica 5. (Poli)fenolni profil prženog zrna soje [26, 27]. Korištena metoda bila je kromatografija nakon hidrolize.

| | Spoj | mg/100g | min | max | SD |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------|-------|-----------------------|-----------------------|
| FLAVONOIDI | | | | | |
| IZOFLAVONOIDI | Daidzein | 28,35 | 28,35 | 28,35 | 0,00 |
| | Formononetin | 6,16 | 6,16 | 6,16 | 0,00 |
| | Genistein | 36,26 | 36,26 | 36,26 | 0,00 |
| | Glicitein | 3,89 | 3,89 | 3,89 | 0,00 |
| LIGNANI | Lariciresinol | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,00 |
| | Matairesinol | $2,33 \times 10^{-4}$ | 0,00 | $1,40 \times 10^{-3}$ | $9,90 \times 10^{-4}$ |
| | Pinoresinol | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,00 |
| | Sekoisolariciresinol | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,01 |
| DRUGI POLIFENOLI | Kumestrol | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,00 |

Tablica 6. (Poli)fenolni profil sojine sirove klice [22, 28].

Korištena metoda bila je kromatografija.

| | Spoj | mg/100g | min | max | SD |
|---------------------------------------|--------------------------------|---------|------|------|------|
| FLAVONOIDI | | | | | |
| IZOFLAVONOIDI | 6''-O-Acetilgenistin | 0,19 | 0,14 | 0,77 | 0,45 |
| | 6''-O-Malonildaidzin | 4,64 | 0,00 | 5,03 | 3,56 |
| | 6''-O-Malonilgenistin | 4,96 | 0,18 | 5,36 | 3,66 |
| | 6''-O-Malonilglicitin | 0,43 | 0,39 | 0,90 | 0,36 |
| | Daidzein | 0,22 | 0,16 | 0,92 | 0,54 |
| | Daidzin | 1,27 | 1,24 | 1,63 | 0,28 |
| | Genistein | 0,12 | 0,10 | 0,35 | 0,18 |
| | Genistin | 2,22 | 1,29 | 2,30 | 0,71 |
| HIDROKSIBENZOJEVA KISELINA | Galna kiselina | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,00 |
| | Gentisična kiselina | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,00 |
| HIDROKSICINAMIČNA KISELINA | 5-Kafeoil kininska kiselina | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,00 |
| | Ferulična kiselina | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,00 |
| | <i>p</i> -Kumarinska kiselina | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,00 |
| | Sinapična kiselina | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,00 |

Tablica 7. (Poli)fenolni profil sojine sirove klice [23, 29-31].

Korištena metoda bila je kromatografija nakon hidrolize.

| | Spoj | mg/100g | min | max | SD |
|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| FLAVONOIDI | | | | | |
| IZOFLAVONOIDI | Daidzein | 12,99 | 0,26 | 22,50 | 8,66 |
| | Genistein | 30,76 | 0,51 | 51,70 | 22,22 |
| | Glicitein | 1,74 | $4,5 \times 10^{-3}$ | 2,81 | 1,52 |
| LIGNANI | Lariciresinol | 0,03 | $7,0 \times 10^{-4}$ | 0,06 | 0,04 |
| | Matairesinol | $5,0 \times 10^{-4}$ | 0,00 | $1,0 \times 10^{-3}$ | $7,07 \times 10^{-4}$ |
| | Medioresinol | $1,0 \times 10^{-2}$ | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| | Pinoresinol | 0,03 | $5,0 \times 10^{-4}$ | 0,06 | 0,04 |
| | Sekoisolariciresinol | 0,03 | $9,0 \times 10^{-4}$ | 0,05 | 0,03 |
| | Siringaresinol | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,00 |

6.2. PROIZVODI NA BAZI SOJE

Tablica 8. (Poli)fenolni profil sojinog mlijeka [22, 24, 25, 32, 33].

Korištena metoda bila je kromatografija.

| | Spoj | mg/100g | min | max | SD |
|----------------------|-------------------------------|---------|------|-------|-------|
| FLAVONOIDI | | | | | |
| IZOFLAVONOIDI | 6"- <i>O</i> -Acetildaidzin | 0,17 | 0,00 | 2,20 | 0,47 |
| | 6"- <i>O</i> -Acetilgenistin | 1,07 | 0,00 | 82,00 | 17,82 |
| | 6"- <i>O</i> -Acetilglicitin | 0,25 | 0,00 | 1,87 | 0,44 |
| | 6"- <i>O</i> -Malonildaidzin | 2,51 | 0,13 | 69,00 | 14,06 |
| | 6"- <i>O</i> -Malonilgenistin | 2,77 | 0,21 | 87,10 | 18,10 |
| | 6"- <i>O</i> -Malonilglicitin | 0,52 | 0,00 | 3,90 | 0,90 |
| | Daidzein | 0,34 | 0,00 | 1,80 | 0,42 |
| | Daidzin | 4,08 | 1,30 | 41,00 | 8,11 |
| | Genistein | 0,41 | 0,00 | 5,68 | 1,00 |
| | Genistin | 4,94 | 2,38 | 71,00 | 12,35 |
| | Glicitein | 0,13 | 0,00 | 1,90 | 0,40 |
| | Glicitin | 0,83 | 0,00 | 8,80 | 2,06 |

Tablica 9. (Poli)fenolni profil sojinog mlijeka [23, 29, 34, 35].

Korištena metoda bila je kromatografija nakon hidrolize.

| | Spoj | mg/100g | min | max | SD |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| FLAVONOIDI | | | | | |
| IZOFLAVONOID I | Daidzein | 3,15 | 0,67 | 8,70 | 2,97 |
| | Formononetin | $1,20 \times 10^{-3}$ | $1,20 \times 10^{-3}$ | $1,20 \times 10^{-3}$ | 0,00 |
| | Genistein | 7,02 | 1,85 | 12,20 | 3,64 |
| | Glicitein | 0,08 | 0,00 | 0,16 | 0,11 |
| LIGNANI | Lariciresinol | $6,17 \times 10^{-3}$ | $4,90 \times 10^{-3}$ | $6,60 \times 10^{-3}$ | $1,20 \times 10^{-3}$ |
| | Matairesinol | $5,00 \times 10^{-5}$ | 0,00 | $2,00 \times 10^{-4}$ | $1,41 \times 10^{-4}$ |
| | Pinoresinol | 0,02 | $1,60 \times 10^{-3}$ | 0,03 | 0,02 |
| | Sekoisolariciresinol | $2,25 \times 10^{-3}$ | $1,10 \times 10^{-3}$ | $5,70 \times 10^{-3}$ | $3,25 \times 10^{-3}$ |
| DRUGI POLIFENOLI | Kumestrol | $6,00 \times 10^{-4}$ | $6,00 \times 10^{-4}$ | $6,00 \times 10^{-4}$ | 0,00 |

Tablica 10. (Poli)fenolni profil sojinog ulja [36]. Korištena metoda bila je kromatografija.

| | Spoj | mg/100g | min | max | SD |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| FENOLNE KISELINE | | | | | |
| HIDROKSIBENZOJEVA KISELINA | 4-Hidroksibenzojeva kiselina | $8,00 \times 10^{-4}$ | $8,00 \times 10^{-4}$ | $8,00 \times 10^{-4}$ | 0,00 |
| | Vanilinska kiselina | $1,10 \times 10^{-3}$ | $1,10 \times 10^{-3}$ | $1,10 \times 10^{-3}$ | 0,00 |
| HIDROKSICINAMIČNA KISELINA | Kavena kiselina | $8,00 \times 10^{-4}$ | $8,00 \times 10^{-4}$ | $8,00 \times 10^{-4}$ | 0,00 |
| | Ferulična kiselina | $1,20 \times 10^{-3}$ | $1,20 \times 10^{-3}$ | $1,20 \times 10^{-3}$ | 0,00 |
| | <i>p</i> -Kumarna kiselina | $1,50 \times 10^{-3}$ | $1,50 \times 10^{-3}$ | $1,50 \times 10^{-3}$ | 0,00 |
| | Sinapična kiselina | $9,00 \times 10^{-4}$ | $9,00 \times 10^{-4}$ | $9,00 \times 10^{-4}$ | 0,00 |

Tablica 11. (Poli)fenolni profil sojinog sosa [24, 37].

Korištena metoda bila je kromatografija.

| | Spoj | mg/100g | min | max | SD |
|---------------|------------------------------|---------|------|------|------|
| FLAVONOIDI | | | | | |
| IZOFLAVONOIDI | 6"- <i>O</i> -Acetilglicitin | 0,15 | 0,00 | 0,30 | 0,21 |
| | Daidzein | 0,20 | 0,10 | 0,30 | 0,14 |
| | Genistein | 0,23 | 0,00 | 0,40 | 0,17 |
| | Genistin | 0,75 | 0,00 | 2,01 | 0,96 |
| | Glicitein | 0,15 | 0,00 | 0,30 | 0,21 |

Tablica 12. (Poli)fenolni profil sojinog sosa [27, 29, 35, 38].

Korištena metoda bila je kromatografija nakon hidrolize.

| | Spoj | mg/100g | min | max | SD |
|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| FLAVONOIDI | | | | | |
| IZOFLAVONOIDI | Daidzein | 0,72 | 0,02 | 1,59 | 0,55 |
| | Formononetin | $5,80 \times 10^{-3}$ | $5,80 \times 10^{-3}$ | $5,80 \times 10^{-3}$ | 0,00 |
| | Genistein | 0,93 | 0,00 | 2,56 | 0,95 |
| | Glicitein | 0,01 | 0,00 | 0,05 | 0,02 |
| LIGNANI | Matairesinol | $1,70 \times 10^{-3}$ | $1,70 \times 10^{-3}$ | $1,70 \times 10^{-3}$ | 0,00 |
| | Pinoresinol | $2,40 \times 10^{-3}$ | $2,40 \times 10^{-3}$ | $2,40 \times 10^{-3}$ | 0,00 |
| | Sekoisolariciresinol | $1,00 \times 10^{-2}$ | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| DRUGI POLIFENOLI | Kumestrol | $4,00 \times 10^{-4}$ | $4,00 \times 10^{-4}$ | $4,00 \times 10^{-4}$ | 0,00 |

Tablica 13. (Poli)fenolni profil sojinog brašna [21, 32, 39].

Korištena metoda bila je kromatografija.

| | Spoj | mg/100g | min | max | SD |
|----------------------|-------------------------------|---------|--------|--------|-------|
| FLAVONOIDI | | | | | |
| IZOFLAVONOIDI | 6"- <i>O</i> -Acetildaidzin | 5,35 | 0,00 | 13,88 | 7,47 |
| | 6"- <i>O</i> -Acetilgenistin | 3,37 | 0,10 | 8,43 | 4,44 |
| | 6"- <i>O</i> -Acetilglicitin | 2,90 | 1,03 | 4,47 | 1,74 |
| | 6"- <i>O</i> -Malonildaidzin | 100,60 | 26,10 | 179,26 | 76,66 |
| | 6"- <i>O</i> -Malonilgenistin | 120,31 | 102,30 | 139,5 | 18,62 |
| | 6"- <i>O</i> -Malonilglicitin | 34,37 | 5,70 | 61,07 | 27,24 |
| | Daidzein | 2,58 | 0,00 | 18,90 | 3,80 |
| | Daidzin | 77,31 | 1,30 | 163,4 | 58,14 |
| | Genistein | 3,62 | 0,00 | 34,52 | 6,66 |
| | Genistin | 103,28 | 1,90 | 229,00 | 74,20 |
| | Glicitein | 1,90 | 1,90 | 1,90 | 0,00 |
| | Glicitin | 11,41 | 0,30 | 33,60 | 13,85 |

Tablica 14. (Poli)fenolni profil sojinog brašna [26, 29].
Korištena metoda bila je kromatografija nakon hidrolize.

| | Spoj | mg/100g | min | max | SD |
|----------------------|----------------------|-----------------------|-------|-----------------------|-----------------------|
| FLAVONOIDI | | | | | |
| IZOFLAVONOIDI | Biochanin A | 0,01 | 0,00 | 0,07 | 0,05 |
| | Daidzein | 50,22 | 30,88 | 67,36 | 10,25 |
| | Formononetin | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,01 |
| | Genistein | 46,43 | 12,40 | 96,91 | 23,43 |
| | Glicitein | 8,60 | 4,01 | 13,60 | 3,26 |
| LIGNANI | Matairesinol | $7,50 \times 10^{-3}$ | 0,00 | $9,00 \times 10^{-3}$ | $6,36 \times 10^{-3}$ |
| | Sekoisolariciresinol | 0,30 | 0,13 | 0,33 | 0,14 |

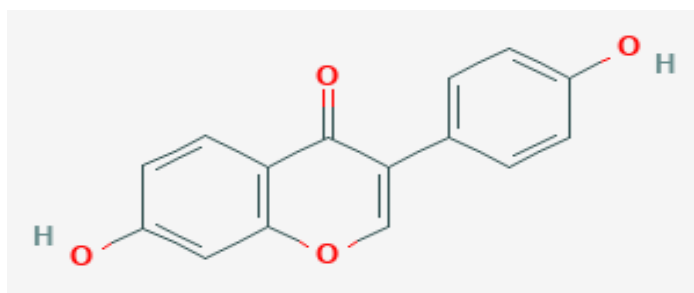
7. BIOAKTIVNOST SPOJEVA PRISUTNIH U SOJI, *Glycine max* (L.) Merr. I NJIHOV UTJECAJ NA LJUDSKO ZDRAVLJE

Izoflavoni prisutni u soji nalaze se u aglikonskom, beta-glukozid, 6-*O*-metil-beta-glukozid ili 6-*O*-acetil-beta-glukozid obliku, a biološki aktivne komponente uključuju genistein, daidzein i biochanin A. Bazirat ćemo se na spojevima daidzein (40,7-dihidroksiizoflavon) i genistein (40,5,7-trihidroksiizoflavon) jer iz pretrage *Phenol-Explorera* vidimo da su ovo najzastupljeniji izoflavoni u soji [40].

Konzumacija soje i proizvoda od soje povezana je sa smanjenjem rizika od raznih vrsta raka, kao što su rak prostate i dojki te nekoliko drugih kroničnih upalnih bolesti. Strukturne sličnosti izoflavona i prirodnog estrogena mogu zaštititi od raka promjenom aktivnosti estrogen kolesterola. Sojini izoflavoni navodno povećavaju koncentraciju lipoproteina velike gustoće (engl. *High Density Lipoprotein*, HDL) i smanjuju koncentraciju LDL-a. Još se istražuje je li oponašanje estrogena pomoću fitoestrogena iz soje (genisteina i daidzeina) štetna ili korisna za mozak. Budući da većina prirodnih estrogenih tvari pokazuje slabu aktivnost, normalna konzumacija hrane koja sadrži fitoestrogene ne bi trebala predstavljati opasnost [40].

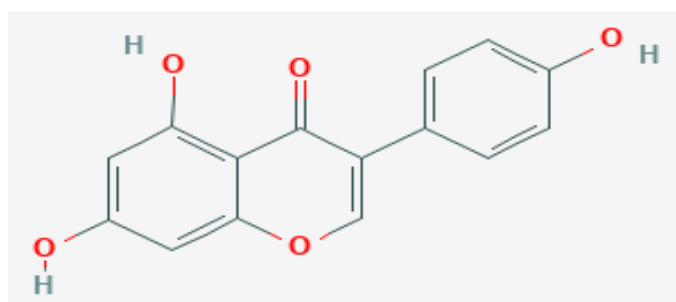
Daidzein (slika 4.), koji se javlja kao daidzin (glikozidni oblik), u prirodi je primarna komponenta izoflavona te se metabolizira u reducirane oblike (ekvol i *O*-desmetilangolensin (*O*-DMA)) i oksidirane oblike (3',4',7-trihidroksiizoflavoni i 4',6,7-trihidroksiizoflavoni) putem gastrointestinalnih bakterija kod ljudi. Samo 30-50% populacije može proizvoditi ekvol, dok 80-90% stanovništva proizvodi *O*-DMA. Pojedina istraživanja o *O*-DMA, ekvolu, daidzeinu i daidzinu potvrđuju njihovo antioksidacijsko djelovanje [41].

Porast slobodnih radikala i ROS dovodi do oksidativnog stresa. Što se tiče antioksidacijskog obrambenog sustava, superoksid dismutaza (SOD) služi kao prva linija enzimske obrane od oksidativnog stresa i radikala kisika. SOD uklanja superoksid pretvarajući ga u peroksid, a peroksid pak uništava katalaza. Antioksidacijska djelovanja *O*-DMA, ekvola, daidzeina i daidzina su prikazana slijedećim redoslijedom: daidzein > ekvol > *O*-DMA > daidzin za katalazu i ekvol > *O*-DMA > daidzein > daidzin za ukupni SOD. Na temelju istraživanja možemo zaključiti da je antioksidacijsko djelovanje daidzina slabije od djelovanja njegovih metabolita. Također, čini se kako aglikonski flavonoidi imaju bolji pristup teško dostupnim mjestima radikala [41].



Slika 4. Struktura daidzeina [42].

Genistein (slika 5.) se koristi kao antioksidans jer potencijalno ima sposobnost da uklanja ROS i reaktivne vrste dušika (RNS). Antioksidacijski mehanizam fenolnih spojeva, poput genisteina, ovisi o atomu vodika ili prijenosu elektrona s fenolne C3 hidroksilne skupine. Genistein, kao spoj koji uklanja slobodne radikale, donira atome vodika fenolne hidroksilne skupine. Postoje, međutim, i drugi mogući učinci genisteina koji mogu biti značajni u suzbijanju oksidativnog stresa i upala. U istraživanju s 18 makrofaga, genistein je inhibirao aktivaciju nuklearnog faktora kB (NF-kB), koji je induciran oksidativnim stresom te regulira ekspresiju gena zaduženih za imunološki odgovor. Genistein povećava ekspresiju antioksidacijskih enzima kao što je glutation peroksidaza u stanicama raka prostate. Potencijal genisteina da inhibira oksidaciju LDL-a, navodno se pojačava u prisutnosti upaljenih stanica koje proizvode reaktivni kisik i dušik, a to dovodi do izmjene genisteina u klorirane i nitrirane derivate što može biti važno za suzbijanje ateroskleroze [43].



Slika 5. Struktura genisteina [44].

Iz tablica 2.–14. možemo iščitati kako se izoflavoni genistein i daidzein nalaze u svim analiziranim proizvodima od soje osim u sojinom ulju. Također, primjećujemo kako

je njihova koncentracija utvrđena korištenjem metode kromatografije nakon hidrolize veća nego u slučaju kada se koristi samo kromatografija. U sojinom ulju nalazimo fenolne kiseline, tj. hidroksibenzojeve i hidroksicinamične kiseline kao što su npr. vanilinska, ferulična, *p*-kumarinska kiselina. Fenolne kiseline nalazimo i u sojinoj sirovoj klici, a njihova je prisutnost dokazana u radovima koji koriste metodu kromatografije. Kromatografijom nakon hidrolize dokazani su novi polifenolni spojevi u većini proizvoda, kao što su izoflavonoid biochanin A i lignani (matairesinol, sekoisolariciresinol, lariciresinol i sl.). Međutim, ovom metodom nije dokazana prisutnost izoflavonoida koji se pojavljuju u 6"-*O*-acetil- i 6"-*O*-malonil- oblicima. U sojinom sosu, mlijeku te u prženom zrnju soje nalazi se i polifenol kumestrol.

Kao što se može vidjeti u tablici 2., u *edamame* dominira 6"-*O*-malonilgenistin čija je koncentracija 16,28 mg u 100 g biljnog materijala. Idući dominantni bioaktivni spoj je 6"-*O*-malonildaidzin čija je koncentracija 10,73 mg u 100 g. Nasuprot tome, prilikom analize *edamame* kromatografijom nakon hidrolize, u tablici 3. vidljivo je da su dominantniji spojevi izoflavonoidi, točnije genistein koncentracije 14,40 mg u 100 g i daidzein koncentracije 12,20 mg u 100 g.

Kromatografijom prženog zrna soje dobiveni polifenolni profil ukazuje na dominaciju genistina i 6"-*O*-acetilglucitin čije koncentracije iznose 67,76 i 49,33 mg u 100 g, što je vidljivo iz tablice 4. U tablici 5. prikazan je polifenolni profil prženog zrna soje, dobiven kromatografijom nakon hidrolize, gdje se također kao u tablici 4. ističe koncentracija genisteina koja iznosi 36,26 mg u 100g soje.

Prilikom analize sirove sojine klice (tablica 6.) koncentracijom se ističu 6"-*O*-malonilgenistin s 4,96 mg u 100g i 6"-*O*-malonildaidzin s 4,64 mg u 100 g. U tablici 7., kromatografijom nakon hidrolize dobiveni polifenolni profil sirove sojine klice također upućuje na dominaciju genisteina čija koncentracija iznosi 30,76 mg u 100 g.

Analizom proizvoda na bazi soje, najprije sojinog mlijeka u tablici 8. vidljiva je dominantna koncentracija spojeva genistina (4,94 mg u 100 g) i daidzina (4,08 mg u 100g), dok su koncentracije ostalih flavonoida prisutne u koncentracijama između 0,13 i 2,77 mg u 100 g sojinog mlijeka. Nakon hidrolize i obavljene kromatografije, polifenolni profil sojinog mlijeka u tablici 9. ponovno pokazuje dominaciju spojeva genisteina i daidzeina s koncentracijama 7,02 i 3,15 mg u 100 g.

Drugi analizirani proizvod je sojino ulje. Kromatografijom ulja, u tablici 10. analizirane su koncentracije fenolnih kiselina, gdje je najzastupljenija kiselina bila *p*-kumarinska kiselina s $1,50 \times 10^{-3}$ mg u 100 g ulja.

Nadalje, u tablici 11., kromatografijom sojinog sosa, dobivena vrijednost koncentracije genistina je bila najveća i iznosila je 0,75 mg u 100g sosa. Usporedno s tablicom 11., u tablici 12. nakon hidrolize možemo zamijetiti znatno veću koncentraciju daidzeina i genisteina s koncentracijama od 0,72 i 0,93 mg u 100 g.

Posljednji analizirani proizvod od soje, bilo je sojino brašno. Rezultati dobiveni kromatografijom prije i nakon hidrolize vidljivi su u tablicama 13. i 14. Proučavanjem tablice 13. vidljivo je kako je dominantni spoj u brašnu 6"-*O*-malonilgenistin s koncentracijom od 120,31 mg u 100g brašna, te ga slijede genistin i 6"-*O*-malonildaidzin s koncentracijama od oko 100 mg u 100 g. U posljednjoj tablici 14. korištena metoda bila je kromatografija nakon hidrolize, a polifenolni profil pokazuje dominaciju daidzeina i genisteina s koncentracijama od 50,22 i 46,43 mg u 100 g uzorka.

8. ZAKLJUČAK

Izoflavone u soji možemo pronaći u aglikon, beta-glukozid, 6-*O*-metil-beta-glukozid ili 6-*O*-acetil-beta-glukozid obliku. Najzastupljenije biološki aktivne komponente soje koje smo temeljitije proučavali su genistein i daidzein. Daidzein se metabolizira u reducirane i oksidirane oblike (O-DMA, ekvol i daidzin) putem gastrointestinalnih bakterija, te svi oblici pokazuju antioksidacijsko djelovanje. Istraživanja su pokazala kako daidzein ima slabije antioksidacijsko djelovanje od njegovih metabolita. Aglikonski flavonoidi imaju bolji pristup teško dostupnim mjestima radikala. Genistein pokazuje antioksidacijsko djelovanje tako što uklanja slobodne radikale doniranjem atoma vodika fenolne hidroksilne skupine. Na taj način suzbija oksidativni stres i rizik od upalnih procesa u organizmu. Uz to, povećava ekspresiju antioksidacijskih enzima u stanicama raka.

Iz tablica vezanih za polifenolni profil soje i sojinih proizvoda potvrđujemo kako su izoflavoni genistein, daidzein te njihovi metaboliti najzastupljeniji spojevi u soji. Nalaze se u svim proizvodima osim u sojinom ulju. Kromatografskom analizom utvrđene su puno manje vrijednosti navedenih izoflavona nego kromatografskom analiza nakon hidrolize.

Sojini izoflavoni genistein i daidzein koriste se u medicinske svrhe u dnevnim dozama od 50 mg za prevenciju raka prostate i dojke. Uz antioksidacijsko djelovanje, mogu regenerirati vitamine E i C te se smatraju čimbenikom koji doprinosi dugovječnosti ljudi koji redovito konzumiraju proizvode od soje u raznim oblicima.

9. LITERATURA

- [1] D. Malenčić, Z. Maksimović, M. Popović, J. Miladinović, *BIORESOURCETECHNOL* **99** (2008), 6688-6691.
- [2] M. Messina, *Nutrients* **8** (2016), 754-755.
- [3] <http://phenol-explorer.eu/> (20. 9. 2020.)
- [4] P. Pietta, M. Minoggio, L. Bramati, *Studies in Natural Products Chemistry* **28** (2003), 257-312.
- [5] A.N. Li, S. Li, Y.j. Zhang, X.R. Xu, Y.M. Chen, H.B. Li, *Nutrients* **6** (2004), 6020-6047.
- [6] S.K. Gupta, *Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production*, Academic Press, Cambridge, 2016.
- [7] <https://www.medicalnewstoday.com/articles/280285#benefits> (20. 9. 2020.)
- [8] <https://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=display&classid=GLMA4> (11. 9. 2020.)
- [9] M. Vratarić, A. Sudarić, *Soja-Glycine max (L.) Merr.*, Poljoprivredni institut, Osijek, 2008.
- [10] https://www.todaysdietitian.com/newarchives/040114p52.shtml?fbclid=IwAR3-086Kf70JB17RYF0ZFIT1Uv9JRfBwIUZEqKrl_saSHfYkiQNh8mKVIE (24. 9. 2020.)
- [11] <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Phenol> (11. 9. 2020.)
- [12] <http://www.biologyreference.com/Re-Se/Secondary-Metabolites-in-Plants.html> (20. 9. 2020.)
- [13] J.M. Lorenzo, M. Estévez, F.J. Barba, R. Thirumdas, D. Franco, P.E.S. Munekata, *Innovative Thermal and Non-Thermal Processing, Bioaccessibility and Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds*, Woodhead Publishing, Mumbai, 2019.
- [14] https://www.researchgate.net/figure/Polyphenol-classification-The-classes-of-polyphenols-include-phenolic-acids-flavonoids_fig1_319219463 (20. 9. 2020.)
- [15] S.P. Kazazić, *Arh. Hig. Rada Toksikol.* **55** (2004), 279-290.
- [16] https://www.akspublication.com/paper05_jul-dec2007.htm (19. 9. 2020.)
- [17] B. Caballero, P. Finglas F. Toldra, *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, Academic Press, Cambridge, 2003.
- [18] V. de Luca, L. Varin, R. Ibrahim, J. Romeo, *Evolution of metabolic pathways*, Pergamon, Oxford, 2000.

- [19] M. Kampa, A.P. Nifli, G. Notas, E. Castanas, *Physiol Biochem Pharmacol.* **159** (2007), 79-113.
- [20] A.H. Simonne, M. Smith, D.B. Weaver, T. Vail, S. Barnes, C.I. Wei, *J Agr Food Chem* **48** (2000), 6061-6069.
- [21] H.J. Wang, P.A. Murphy, *J Agr Food Chem* **42** (1994), 1666-1673.
- [22] S.G. Chan, P.A. Murphy, S.C. Ho, N. Kreiger, G. Darlington, E.K.F. So, P.Y.Y. Chong, *J Agr Food Chem* **57** (2009), 5386-5390.
- [23] A.A. Franke, L.J. Custer, W. Wang, C.Y. Shi, *P Soc Exp Biol Med* **217** (1998), 263-273.
- [24] M. Fukutake, M. Takahashi, K. Ishida, H. Kawamura, T. Sugimura, K. Wakabayashi, *Food Chem Toxicol* **34** (1996), 457-461.
- [25] T.T. Song, K. Barua, G. Buseman, P.A. Murphy, *Am J Clin Nutr* **68** (1998), 1474S-1479.
- [26] G.G.C. Kuhnle, C. Dell'Aquila, S.M. Aspinall, S.A. Runswick, A.M.C.P. Joosen, A.A. Mulligan, S.A. Bingham, *Food Chem* **116** (2009), 542-554.
- [27] L.U. Thompson, B.A. Boucher, Z. Liu, M. Cotterchio, N. Kreiger, *Nutr Cancer* **54** (2006), 184-201.
- [28] S. Morandi, A. D'Agostina, F. Ferrario, A. Arnoldi, *Eur Food Res Technol* **221** (2005), 84-91.
- [29] M.K. Akitha Devi, G. Mahendranath, G. Sakthivelu, P. Giridhar, T. Rajasekaran, G.A. Ravishankar, *Food Chem* **114** (2009), 771-776.
- [30] G. Dinelli, I. Aloisio, A. Bonetti, I. Marotti, A. Cifuentes, *J Sep Sci* **30** (2007), 604-611.
- [31] L. Plaza, B. de Ancos, M. Pilar Cano, *Eur Food Res Technol* **216** (2003), 138-144.
- [32] B. Klejdus, J. Vacek, V. Adam, J. Zehnalek, Kizek, *J Chromatogr B* **86** (2004), 101-111.
- [33] H. Wiseman, K. Casey, D.B. Clarke, K.A. Barnes, E. Bowey, *J Agr Food Chem* **50** (2002), 1401-1410.
- [34] C. Mullner, G. Sontag, *Eur Food Res Technol* **211** (2000), 301-304.
- [35] K. Mitani, S. Narimatsu, H. Kataoka, *J Chromatogr A* **986** (2003), 169-177.
- [36] A. Siger, M. Nogala-Kalucka, E. Lampart-Szczapa, *J Food Lipids* **15** (2008), 137-149.
- [37] P.A. Murphy, T.T. Song, G. Buseman, K. Barua, G.R. Beecher, D. Trainer, J. Holden, *J Agr Food Chem* **47** (1999), 2697-2704.
- [38] B. Preinerstorfer, G. Sontag, *Eur Food Res Technol* **219** (2004), 305-310.

- [39] T. Bajer, M. Adam, L. Galla, K. Ventura, *J Sep Sci*, **30** (2007), 122-127.
- [40] B.S. Ponnusha, S. Subramaniam, P. Pasupathi, B. Subramaniam, R. Virumandy, *Int J Cur Bio Med Sci* **1** (2011), 49-62.
- [41] E.J. Choi, G.H. Kim, *Mol Med Rep* **9** (2014), 328-332.
- [42] <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281708> (20. 9. 2020.)
- [43] A.A. Ganai, H. Farooqi, *Biomed Pharmacother* **76** (2015), 30-38.
- [44] <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Genistein#section=2D-Structure>
(20. 9. 2020.)