

Debreceni Egyetem
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar

Alkalmazott Növénybiológiai Tanszék
Tanszékvezető: Dr. Veres Szilvia egyetemi tanár

Szója fajták zöld biomasszájának, valamint a zöld biofinomítás során keletkező ipari melléktermékének értékelése a későbbi felhasználás diverzifikálása céljából

Eged Bence
Agrármérnök hallgató
4. évfolyam

Konzulensek:
Dr. Kovács Szilvia adjunktus
Dr. Fehér Csaba adjunktus (BMGE)
Csatári Gábor PhD hallgató

Debrecen
2022

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS.....	4
1. TÉMAFELVETÉS	5
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
2.1. Rendszertani besorolása.....	6
2.2. Származás, elterjedés, termesztési területek	6
2.3. Vegetatív szervek morfológiája és növényanatómia	7
2.3.1. Gyökér	7
2.3.2. Levél	8
2.3.3. Szár.....	10
2.4. Környezeti igény.....	11
2.4.1. Éghajlatigény, hőigény.....	11
2.4.2. Víz- és talajigény	12
2.5. Fontosabb beltartalmi értékek.....	12
2.5.1. Fehérjék.....	12
2.5.2. Lipidek.....	13
2.5.3. Szénhidrátok.....	13
2.5.4. Fotoszintetikus pigmentek	13
2.6. A rost, mint ipari melléktermék és annak jelentősége	14
2.7. Felhasználás	15
2.8. Biomassza feldolgozás – „zöld biofinomító”	16
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	18
3.1. Kísérleti elrendezés és a fajták bemutatása	18
3.2. Laborban végzett tevékenységek	19
3.2.1. Növényanatómiai vizsgálatok.....	19
3.3. Szója zöld biomassza betakarítás és feldolgozás.....	21
3.4. Biokémiai és analitikai mérések	21
3.4.1. Sejtfal analitikai vizsgálatok	21
3.4.2. Mikro-, és makro elem tartalom meghatározása présrost frakciókból	22
3.4.3. Fotoszintetikus pigment tartalom meghatározása.....	22
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELESLÉSÜK.....	24

4.1. A vizsgált fajták vegetatív szerveinek összehasonlító szövettani elemzése	24
4.1.1. Szár.....	24
4.1.2. Levél	26
4.2. Levél növényanatómiai paramétereinek kvantifikálása	28
4.3. Szár növényanatómiai paramétereinek kvantifikálása.....	31
4.4. Biokémiai és analitikai vizsgálatok eredményei.....	35
4.4.1. Szója présrost mikro- és makro elemtartalma.....	35
4.4.2. Szója présrost lignocellulóz komponensei.....	38
4.4.3. Szója présrost fotoszintetikus pigment tartalma.....	39
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	41
ÖSSZEFOGLALÁS	43
IRODALOMJEGYZÉK	44
TÁBLÁZATOK, ÁBRÁK JEGYZÉKE	50

BEVEZETÉS

A népesség növekedésének következtében az egy főre jutó termőterületek nagyságának folyamatos csökkenése realizálható. A 21. századi növénytermesztés egyik legnagyobb kihívása, hogy megfelelő mennyiségű és minőségű, nyomon követhető élelmiszer-alapanyagot állítson elő, a környezet terhelésének minimalizálása mellett. A klímaváltozás mezőgazdasági hatása, a növekvő élelmiszerigény, valamint az egy főre jutó termőterületek csökkenése következtében egyre inkább felértékelődik az élelmiszeripari alapanyagok előállítása során évente keletkező 700 millió tonna mezőgazdasági eredetű hulladék és melléktermék szerepe.

A fenntarthatósági igényekkel összhangba hozható a cirkuláris ökonómia rendszere, melyben az alulértékelt melléktermékeket egyrészt újrahasznosítják, másrészt a magasabb hozzáadott értékkel rendelkező termékek alapanyagaiként hozzájárulnak a mezőgazdasági eredetű hulladékok csökkentéséhez, a termékek hosszabb élettartalmának biztosításához és a kevesebb környezeti erőforrás felhasználásához.

A zöld biofinomító rendszer alkalmazása beilleszthető a körforgásos gazdálkodásba, hiszen a mezőgazdaságból származó energianövényekből és növénytermesztési biomassa maradékokból (szalma, kéreg, olajmaradékok), állít elő számos, egymástól elkülöníthető termékcsoporthoz, egyrészt nagy energiatartalmú termékeket (biodízel, bioetanol, bioüzemanyagok, hő), és kedvező táplálkozás-élettani hatású élelmiszereket és takarmányokat.

A lignocellulóz tartalmú zöld biomassa biotechnológiai úton történő feldolgozásának egyik módja a nedves frakcionálás, amely során élelmiszeripari és takarmányozási aspektusból értékes présrostfrakció nyerhető. Az élelmi rostfogyasztás iránti érdeklődés az elmúlt időkben nagy figyelmet kapott, tekintettel annak kedvező egészségügyi és táplálkozás-biológiai hatásaira. Számos tanulmány említi úgy az élelmi rostokat, mint a napjainkban növekvő tendenciát mutató betegségek kezelésének egyik perspektívikus lehetőségei.

A rostok sokoldalúan hasznosíthatók, az élelmiszeriparban adalékanyagok és bioaktív vegyületek hordozójaként használják, mint például táplálóanyagok, antioxidánsok. Kedvező hatásuk ellenére napjainkban az átlagos rostbevitel azonban kevesebb, mint fele az ajánlott szintnek, ami felnőttek számára napi 25-38 g bevitt élelmi rostot jelent, vagy más értelmezésben 1000 kalóriára vonatkoztatva 14 g.

1. TÉMAFELVETÉS

A szójabab a negyedik legnagyobb vetésterületű szántóföldi kultúrnövény, melyet a mag értékes beltartalmi paramétereinek köszönhet. A világ növényiolaj felhasználásának 20%-a szója származású, magjának magas olajtartalmának következtében olajnövényként kerül a nemzetközi köztudatba. A faj tartós beépítése a pázsitfű dominálta hazai vetésváltási rendszerekbe javasolt, termesztése során nem csak a talajok szerkezetét javítja, hanem a *Rhizobium japonicum* baktériumokkal folytatott szimbiózisuk során elengedhetetlen szerepet töltenek be a talajok szervesanyagkészletének gyarapításában, és a nitrogén körforgásban.

A szójabab évszázadok alatt kialakult konvencionális hasznosítási irányai (mag) mellett egyre nagyobb teret nyer a *vegetatív szervek* humánélelmezésben történő hasznosítása. A faj növénytermesztési szerepe tehát egyértelmű, de táplálkozásélettani szempontból számos kihívás vár még felfedezésre. Emészthetőségi szempontból, a bélrendszer egészségmegőrzése szempontjából (prebiotikumok) a faj rostbiológiai vizsgálata előremutató, ami szoros korrelációban áll a növényanatómiai jellemzőkkel.

A szójabab növényanatómiai tulajdonságairól számos hazai és nemzetközi szakirodalom is beszámol (LERSTEN-CARLSON, 2016, KURNIK, 1970), azonban a *fajták* közti eltérő növényanatómiai és rostbiológiai tulajdonságokkal csak néhány forrás foglalkozik (JULIA et al. 2019, MARTELLI et al. 2017). A hazai növénytermesztési gyakorlatban alkalmazott fajták esetében szinte teljesen hiányos szakirodalom áll rendelkezésünkre, holott a tudomány egyetért abban, hogy a növényanatómiai jellemzők ismerete lehetővé teszi az egyes fajták fiziológiai tulajdonságaira és adaptációs képességére való következtetést.

A biomassa céljából termelt szójafajták nedves frakcionálása során ipari melléktermékként keletkező *présrost* lignocellulózainak részletes ismerete pedig megalapozhatja az élelmiszeripari vagy takarmányipari felhasználhatóság körét termékfejlesztési vonalon is.

A fentiekkel összhangban vizsgálatainkba négy, biomassa célból termesztett hazai szójafajtát vontunk be, két betakarítási időt alkalmazva.

Célkitűzéseink

- Négy szója fajta vegetatív szerveinek összehasonlító növényanatómiai értékelése
- A fajták nedves frakcionálása során keletkező présrost lignocellulóz komponenseinek, mikro- és makroelem valamint fotoszintetikus pigment tartalmának kvantifikálása a későbbi felhasználás diverzifikálása céljából és függése a betakarítási időtől

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Rendszertani besorolása

A nagy múltra visszatekintő, „ötezeréves kultúrnövényként” is emlegetett szójabab széles körben elterjedt a világon, a kutatók között azonban egyetértés alakult ki eredetét illetően, miszerint vad elődjének a *Glycine ussiriensis* (asszúriai szója) tekinthető (KURNIK, 1970).

Ázsiában a mindennapi táplálkozás alapját jelentő szójababot a „mezők húsának” tekintették, a farmakológiai hatásainak következtében a kínai kultúrában szereplő öt „szent növény” között is említik. Az amerikai növénytermesztésben elért eredmények következtében „antik örökség, modern sikerként” szerepel a nyugati köztudatban (BALIKÓ, 2007).

A napjainkban termesztett, gyakran XX. századi karriernövényként definiált szójabab (*Glycine max* L.) az *Angiospermatophyta* törzsbe, *Dicotyledonopsida* osztályba, a hüvelyesek (*Fabales*) rendjén belül a pillangósvirágúak (*Fabaceae*) családjába és a *Glycine* nemzetségbe tartozik, ami a görög eredetű „*glükinosz*” (édesbab) szóból származik (JAMES-CHARANJIT, 2011, KURNIK, 1970, BALIKÓ, 2007).

2.2. Származás, elterjedés, termesztési területek

A szójabab őshazája Kelet-Ázsiában, az é. sz. 20-45°-a között lokalizálódik (ÁBRAHÁM, 2019). A történelem előtti időkben betöltött szerepének bizonyítéka egy Csen-Nung császár Kr. e. 2838-ból származó dokumentációja, amelyben a szent növények sorában került feljegyzésre (KURNIK, 1970).

Úgy tartják, hogy a tengeri és szárazföldi kereskedelem fejlődése eredményezte a Kína közeli országokban történő megjelenését a Kr. utáni első és 11. század között. (SINGH, 2006). Európai megjelenése a XVIII. századra tehető. A magyarországi növénytermesztők hamar felfigyeltek a szójában rejlő értékekre és a növény sokoldalú hasznosításának lehetőségeire, 1850-től már sikeres hazai kutatások is nyilvánosságra kerültek (ÁBRAHÁM, 2019).

Termesztésének központja a II. világháborút követően fokozatosan Nyugatra tevődött át (ÁBRAHÁM, 2019). Az Amerikában 1940-es években zajló nemesítési eljárások és a termesztéstechnológia fejlődése az alacsony hatékonyságú takarmánynövényt egy nagy termőképességű kultúrnövényé alakította, majd Brazília és Argentína is a világ legjobb szójatermelő nemzetei közé emelkedett (WALTER et al., 1980, SINGH, 2006).

Európai termesztésének jelentősége napjainkban is feltörekvő, aminek célja a tengerentúlról géntechnológiával módosított szójatermékek fehérjeimportjának visszaszorítása és a termesztési rendszerek fenntarthatóbbá tétele (KURNIK, 1970, ÁBRAHÁM, 2019).

A magyarországi szójatermesztés gyökerei a 19. század végére vezethetők vissza. A hazai termesztési gyakorlat kardinális jelentőségű volt az európai szójatermesztés fejlődésében (BOCZ et al. 1996). A Kárpát-medencében történő honosodása egy osztrák botanikus, Haberlandt Frigyes munkásságára vezethető, aki szójafajták nemesítésébe kezdett (BOCZ et al., 1996, ANTAL, 2005).

Magyarországon a szója takarmányozási céllal történő felhasználása ma már irreverzibilisen beépült a gyakorlatba (BALIKÓ, 2007). Az intenzív és extenzív állattartás igényeinek kielégítése 600-800 ezer tonna szóját emészt fel évente, főként extrahált szójadara formájában (ÁBRAHÁM, 2019). A szójabab a magyarországi növénytermesztésben is előtérbe került az elmúlt években, hiszen GMO termékek előállítását hazánkban moratórium tiltja. Magyarországi vetésterületét az elmúlt évtizedekben nagymértékű ingadozás jellemezte, 2021-ben 62119 hektáron termesztettek hazánkban szóját az országos termésátlag 2,52 tonna/hektár volt (KSH, 2021).

2.3. Vegetatív szervek morfológiája és növényanatómia

Földrajzi eredetéből adódóan a szójabab rövidnappalos, C3-as növény. KURNIK (1970) alapján a termesztés során csökkenő megvilágítás korábbi virágzást és a termésképzés mértékének csökkenését eredményezi. Hasonló megállapításra jutott JONES et al. (2015), akik megállapították, hogy a szójafajták adaptációs mechanizmusát és fejlődését befolyásolja a fotoperiódus a vetéstől kezdve az érettségig.

2.3.1. Gyökér

A szójabab mélyreható karógyökérrendszerrel rendelkezik. A főgyökérből dúsán elágazó másodlagos és többrendű gyökerek teljesen átszövik a talaj felső rétegét. A gyökerek függőleges és oldalirányú kiterjedése fajtánként és művelési körülményenként változhat, jellemzően 150-200 cm mélyre hatol. A gyökérnyaki régióban jelennek meg legnagyobb számban az első, interspecifikus gyökérmódosulásnak tekinthető bakteriális gyökérgümők, körülbelül 10 nappal a vetést követően (LERSTEN-CARLSON, 2016).

A szójabab gyökerének szövettani felépítése a kétszikű, lágyszárú növények mintáját követi, tehát három fő szövettáj különíthető el. A gyökér bőrszöve (rizodermisz) dermatogénből származtatható, a sztéma (központi henger) elsődleges hisztogénje a pleróma, és a primer cortex (elsődleges kéreg) peribléma eredetű (TURCSÁNYI, 2000).

2.3.2. Levél

A szója ontogenezise során, merisztemoidok működése eredményeként kialakuló levelek botanikailag és morfológiailag négy különböző csoportba sorolhatók (LERSTEN-CARLSON, 2016).

A korai vegetatív fázisban a magvak epigeikus csírázásának eredményeként egy sziklevelel pár jelenik meg a hajtáson. A sziklevelek feletti internódiumot követő első nódusról egyszerű levél ered, majd a vegetatív fázis előrehaladtával kialakulnak a fotoszintetikus lombzatot alkotó, átellenes levélállással jellemezhető hármasan összetett levelek, melyek lándzsa alakúak. A negyedik levéltípus, a profillum, ritkán 1 mm-nél hosszabb, kétszikű növényekre jellemző módon párosan előforduló egyszerű levélpár az egyes oldalhajtások eredési pontjainál. ANTAL (2005) alapján a csúcslevelek morfológiája a fajtaazonosítás egyik alappillére.

A szójabab dorziventrális (bifaciális) levelének szövettani paraméterei befolyásolhatják a biotikus és abiotikus stresszhatásokkal szembeni ellenálló képességet, így a növényanatómiai paraméterek ismeretében összehasonlíthatók az egyes fajták értékmérő tulajdonságai (MANGENA, 2018).

A levéllemez színi és fonáki oldalát az alsó- és felső epidermisz borítja, körülvéve a mezofillumot. Az epidermiszt lapos, enyhén vastagodott radiális sejtfalakkal rendelkező sejtek alkotják (LERSTEN-CARLSON, 2016). A kutikula vastagságából a vizsgált fajták szárazságtűrésére lehet következtetni, illetve „első védelmi vonalként” részt vesz a patogénekkal szembeni védekezésben. ugyanis fertőzés során a nem optimális kutikulaszerkezettel rendelkező növények termőképessége jelentősen csökkenhet (JULIA et al., 2019).

SHARKEY (2015) szerint a levéllemezének vastagsága kiemelt jelentőséggel bír a levéltömeg növekedésében, mivel a teljes levéltömeg-növekedés, a levélterület és a levélvastagodás növekedésének összegeként definiálható, ezáltal, a megfelelő mennyiségű biomassa produkció egyik indikátorának tekinthető a levéllemez vastagsága.

Julia et al. (2019) a szója levéllemezvastagságának vizsgálata során legmagasabb értéket (0,31 mm) a Brg/Myp-3, míg legalacsonyabb értéket (0,17 mm) a *Grb/Lwt-17* nevű fajta esetében tapasztalták, esetükben, tehát az átlagérték 0,17 és 0,31 mm közé esett (JULIA et al., 2019).

LUGG és SINCLAIR (1980) megfigyelték, hogy a palisad és szivacsos mezofillum egyidejű megvastagodása eredményezi a levéllemez vastagodását, valamint hogy bizonyos esetekben a legvastagabb levelek mezofillumában egy harmadik palisad réteg is kialakulhat.

A növény levelét trichoma (növényi szőr) borítja, melyek egységnyi felületre eső száma, habitusa és növekedési iránya befolyásolhatja a levelek kártevőkkel szembeni ellenállóképességét, védelmet nyújtanak az erőteljes hőingadozásokkal szemben. A szójabab hajtásain többsejtű trichomák alakulnak ki, amelyek egy hosszabb, 0,5-1,5 mm-es disztális, valamint egy rövidebb bazális sejtből állnak, amelyek módosult epidermisz sejtekből emelkednek ki. A trichomák enyhén ferdén helyezkednek el a levelek csúcsa és széle felé, egymástól körülbelül 1mm-es távolságban a levélfelület 10%-át alkotva (LERSTEN-CARLSON, 2016, JULIA et al., 2019).

A szárazságra adott anatómiai és fiziológiai válaszok elengedhetetlenek a növényi adaptációs mechanizmus mértékének megismeréséhez, ezért az optimális szöveti struktúrával rendelkező fajták kiválasztása növelheti a termésbiztonságot (MAKBUL et al., 2022, BOUGHALLEB et al., 2014).

MAKBUL et al. (2022) alapján vízhiány hatására összefüggő szklerenchimaréteg alakul ki a floém és primer kortex között, így vízdeficites állapotban a levél szilárdító alapszöveteinek szignifikáns növekedése mérhető. Megállapították, hogy az epidermisz vastagságának növekedése a vízhiány egyik jelének tekinthető, valamint BOUGHALLEB et al. (2014) a levél értékmérő paramétereinek (levéllemez vastagság, mezofillum vastagság) szignifikáns csökkenését tapasztalta.

Napjainkban a szántóföldi kultúrnövények a fokozott nehézfém-szennyezés hatásainak vannak kitéve (MAO et al., 2018). A nehézfémakkumulációra vonatkoztatott toleranciát tekintve a szójabab a legérzékenyebb szántóföldi kultúrnövények sorát gyarapítja (WERYSZKO-CHMIELEWSKA, 2005).

WERYSZKO et al. (2005) szerint, az ólomkoncentráció hatására szignifikánsan kisebb vastagságú epidermális sejtek alakulnak ki. A szállítószövetek kiterjedése a középső érben szintén csökkent a nehézfém koncentráció növelésével párhuzamosan, továbbá ólom hatására

megnövekedett a szója levéllemezőnek epidermiszén kialakuló trichomák egységnyi felületre eső száma.

WU et al. (2017) alapján árnyék hatása a levéllemező méretének, vastagságának, illetve mezofillum vastagságának csökkenését eredményezi. Megfigyelték az árnyékban nevelt növények szövettani okokra vezethető csökkent zöld biomassza-produkcióját is, amit a vegetatív szervek sejtjeinek szignifikánsan kisebb vastagsága eredményez. A vastagabb levéllemezőhöz képest, a kisebb levéllemezővastagsággal rendelkező levelekben vékonyabb palisad parenchima alakul ki, amelyek alacsonyabb kloroplasztisztartalmuk révén, csökkent fotoszintetikus képességgel rendelkeznek.

2.3.3. Szár

A föld feletti hajtásrendszer jellemzően 75-125 cm hosszúságú. A szójabab hosszú szártagú, lágy, erőteljes dudvaszárral rendelkezik (BÓDIS, 1988). A szár lehet hengeres és négyszög alakú is, de minden esetben tömött, kezdetben sok vizet magába foglaló, a vegetációs időszak végére barna színű, elfásodó dudvaszár. Az oldalhajtások ritkasága és gyakorisága termesztési körülményenként és fajtánként változhat. Egyes források alapján az oldalhajtások habitusát a nappalok hossza és a talaj termékenysége is befolyásolja, de taxonómiai bélyegnek is tekinthető (LERSTEN-CARLSON, 2016).

A szója szár keretszmetisének vizsgálata során három fő szövettáj határolható el egymástól: bőrszövet (epidermisz); elsődleges kéreg (primer cortex); központi henger (sztéle) (LERSTEN-CARLSON, 2016).

A szár elsődleges bőrszöveve portodermais eredetű, oldalirányban megnyúlt, vékony falú sejtekből felépülő egy sejt sor vastagságú szövettáj (LERSTEN-CARLSON, 2016, TURCSÁNYI, 2000). Az epidermais sejtek teljes felülete kutikulával borított. A hipoderma szilárdító alapszövetét a kollenchyma és szklerenchyma alkotja több sejt soros vastagságban. A floém körül elhelyezkedő szklerenchimasapka sejtjeit gyakran lignizált, másodlagos sejt falak jellemzik, növelve a növényi szövetek rezisztenciáját a rovarok kártételével szemben (CHIANG-NORRIS, 1983).

A szárban lokalizálódó szállítószövetek létfontosságú szerepet töltenek be a reprodukív szervek fejlődésében, egyrészt tápanyagokkal látja el, másrészt a másodlagos vastagodás során inkusztáló anyagok révén hozzájárulnak a termés megtartásához. A hüvelyesek egyik kritikus fejlődési szakasza a magtelítődés stádiuma. ALERDING et al. (2018) alapján magtelítődés

során a szár és a szállítószövetek egyidejű másodlagos vastagodása szükséges a termés hozamok javulásához.

A xilémben és a floémában egyaránt lignizált sejtek helyezkednek el, amelyek másodlagos vastagodásuk során hozzájárulnak a szárátmérő növekedéséhez (HUSSAIN et al., 2020). ALERDING et al. (2018) alapján a lignizáció megvastagítja a növekedés során keletkező sejtfalakat, ami a szár radiális kitágulásához vezet.

A szója megfelelő vegetatív fejlődésének egyik korlátozó faktora a nem megfelelő szárszilárdság kialakulása, ami a szár megdőlését eredményezi. A szállítószövetek nagyobb xilém területe és lignin tartalma szignifikánsan hozzájárul a szár szakítószilárdságának és megdőlési rezisztenciájának kialakulásához sávos termesztésben (LIU et al., 2019, LIU et al., 2016).

2.4. Környezeti igény

2.4.1. Éghajlati igény, hőigény

Géncentrumához igazodó éghajlati igénye egyrészt genetikailag determinált, azonban a termőterület adottságaihoz igazított fajtaválasztás és a helyes agrotechnika hozzájárulhat a szójával szemben támasztott értékmérő tulajdonságok megteremtéséhez.

ANTAL (2005) a hazai termesztésben szereplő fajtákat öt éréscsoportba sorolja, míg hőösszeg igény alapján négy csoportot részletez: szuper korai fajták (000): 80 napnál rövidebb tenyészidő; igen korai fajták (00): 80-100 nap; korai fajták (0): 100-120 nap; Középérésű fajták (I): 120-140 nap; késői fajták (II): 140 napnál hosszabb vegetációs idő.

VARGA J. (1996) szerint a szójatermesztés során kardinális jelentőségű a jó termőképesség és termésbiztonság, a megfelelő tenyészidő, érésidő, és egyenletes érés, az alsó hüvelyek magassága, a jó szárszilárdság, a jó beltartalmi jellemzők, a megfelelő rezisztencia, a jó öntözési reakció. A termesztés eredményességét a fajták genetikai adottságán túl, a tenyészidőszak alatti csapadék és hőösszeg is befolyásolja. A magyarországi szójatermesztésre alkalmas területek képesek kielégíteni a növény tenyészideje alatti 2200-2500°C-os hőösszeg igényét (KURNIK, 1970). A szójabab vetése szempontjából április közepét, végét tartják optimális időpontnak (IZSÁKI, 2004).

A magok csírázási intenzitását nagymértékben befolyásolja a hőmérséklet (IZSÁKI, 2004, BÓDIS, 1988, BUTLER et al., 2014). Az alacsony hőmérséklet esetén elhúzódó, magas

hőmérséklet esetén pedig korábban bekövetkező csírázással számolhatunk (BUTLER et al., 2014, ANDA et al., 2014). A szerzők tapasztalatai alapján a szójabab csírázási intenzitása 25°C-on volt a legnagyobb, 5°C-on pedig a csírázás teljes hiánya volt tapasztalható.

2.4.2. Víz- és talajigény

A szójabab víz-és tápanyagfelvételét tekintve „talajzsaroló” növénynek tekinthető, ugyanis az egy egyedre jutó tenyészterületet nagymértékben átszővi erőteljes gyökérzetével, ezáltal kiválóan hasznosítja annak tápanyag- és vízkészletét (ANTAL, 2005; PEPÓ et al., 2019). A kritikus időszakban (virágzás, hüvelykötődés) 160-180mm a kívánt csapadékmennyiség. ANDA et al. (2021) eredményei is alátámasztják, hogy a szójabab reprodukív szakaszában fellépő vízhiány esetében terméseszkkenés figyelhető meg.

A szójabab talajjal szemben támasztott igényeiről több forrás is beszámol (CARTTER et al., 1962, ÁBRAHÁM, 2019). Szinte minden talajtípuson sikeresen termesztendő, kivételt képeznek a sekély termőrétegű, laza homok és szikes talajok. A szójatermesztés számára alkalmas talajok jellemzője a mély termőréteg, ideális víz, tápanyag-és hógazdálkodás. A kukoricához és gyapothoz viszonyítva nagyobb biztonsággal termesztendő agyagtalajokon. (CARTTER et al., 1962). A legjobb termésátlagok a 6-6,5 pH értékű csernozjom talajokon érhetők el.

2.5. Fontosabb beltartalmi értékek

Esszenciális táplálkozásbiológiai értékei közül a fehérjék, lipidek, szénhidrátok, élelmi rostok és mikroelemek szerepével számos hazai és külföldi szakirodalom is részletesen foglalkozik (CSATÁRI et al., 2022, KIM et al., 2014, SEAN O'KEEFE et al., 2015).

2.5.1. Fehérjék

Az alapvetően nagy fehérjetartalmú hüvelyes növények sorából is kiemelkedik, magva 38-42%-os fehérjetartalommal bír (KISMÁNYOKI, 2005, SEAN O'KEEFE et al., 2015). Kedvező aminosavprofiljának köszönhetően biológiai értéke is kiváló (BALIKÓ, 2007). Megfelelő mennyiségben és arányban tartalmazza a négy legfontosabb aminosavat (lizin 1,82-2,86%, metionin 0,3-0,64%, cisztein 0,37-0,73%, treonin 1,4- 2,17%). A fehérjék sorát számos antinutritív hatású anyagok bővítik. A szójabab antinutritív anyagai táplálkozásbiológiai szempontból kedvezőtlennek számítanak, hiszen csökkentik más tápanyagok, elsősorban a

takarmányfehérjék hasznosulását, azonban 20%-os nedvességtartalom mellett történő hőkezeléssel denaturálhatók (SEAN O'KEEFE et al., 2015, BALIKÓ, 2007).

2.5.2. Lipidek

A világ növényiolaj felhasználásának 20%-a szója származású, magjának magas olaj-(18%) tartalmának következtében olajnövényként kerül a nemzetközi köztudatba (BALIKÓ, 2007, ÁBRAHÁM, 2019). Magas linol (50-63%)- és linolénsavtartalommal (2-11%) rendelkezik. A telítetlen zsírsavak közül az α -linolénsav (ALA) az eikozapentaénsav (EPA) és dokozahexaénsav (DHA) prekursora található meg benne (SEAN O'KEEFE et al., 2015)

A nyers szójaolaj finomítását követően visszamaradó lecitin (nyers szójaolajban: 2-3%) összetételét meghatározza a fajtajelleg és a finomítási eljárás módja (BALIKÓ, 2007).

2.5.3. Szénhidrátok

A szója magjában viszonylag alacsony, 14,7 – 18,3 g/100g szénhidráttartalom realizálható, amely jelentős részét (3,3 – 9,9 g/100g) a szacharóz képezi. A szója elsődleges nem rosttermészetű szénhidrátjai közül két oligoszacharid, a raffinóz (5.2–15.8%) és a sztachióz (12.1–35.2%) mennyisége nem elhanyagolható (HOU et al., 2009). A raffinóz a galaktóz, glükóz és fruktóz triszacharidja, amelyben a monomerek 1-6 és 1-2 glikozidkötéssel kapcsolódnak, a sztachióz pedig 2 galaktózból, glükózból és fruktózból álló tetraszacharid. A raffinózt és a sztachiózt képesek a probiotikumok hasznosítani, ezáltal a két oligoszacharid elősegíti a legtöbb bifidobaktérium és lactobacillus faj növekedését (ANDERSON et al., 2009).

2.5.4. Fotoszintetikus pigmentek

A szója zöld hajtása jelentős forrása a fotoszintetikus pigmentek közül a klorofillnak, karotinoidoknak, ami növénytermesztési és táplálkozási szempontból is figyelmet igényel. A pigmenttartalomról következtetni lehet a fotoszintetikus folyamatok intenzitására, a növények növekedési és fejlődési dinamikájára, valamint hozzájárul a megfelelő termés eléréséhez (MUSURMONOVICH – KOMILJONOVNA, 2022). MUSURMONOVICH et al. (2022) vizsgálatai alapján a szójafajták fotoszintetikus pigmenttartalma között szignifikáns eltérés tapasztalható, továbbá megállapították, hogy tenyészidőszak alatt a virágzás stádiumában éri el legmagasabb mennyiségét a klorofill-tartalom, ezt követően csökkenni kezd. A fotoszintetikus pigmentek növényélettani folyamatokban betöltött esszenciális szerepük mellett, a humánélelmezésben és takarmányozásban is kiemelt jelentőséggel bírnak. A klorofill részt vesz a szabadgyökök megkötésében és a lipidoxidáció mérséklésében. A klorofill a hemoglobinnal

azonos molekulaszervezetű, porfirinváz pigment, csak a centrális atomban van különbség, mert a hemoglobin központi atomja vas. Ez a hasonlóság teszi a klorofillt táplálkozás szempontjából jelentőssé, javítja az emésztést, erősíti az immunrendszert, segíti a szervezet méregtelenítését. A karotinoidok szerkezetében lévő konjugált kettős kötések lehetővé teszik a szabad oxigénradikálok megkötését, így természetes antioxidánsként funkcionálnak a szervezetben, továbbá apoptózist válthatnak ki daganatos sejtekben (KAN et al., 2018).

2.6. A rost, mint ipari melléktermék és annak jelentősége

A rost, mint fogalom meghatározására számos elmélet született a nemzetközi szakirodalmakban (CHAWLA et al., 2010, COSGROVE, 1997, RODRÍGUEZ, 2006). Táplálkozás-élettani szempontból az élelmi rostok a nem hidrolizálható poliszacharidok csoportjába sorolhatók, hiszen az emésztő enzimek hatása nélkül a táplálékkal felvett, változatlan formában kerülnek a vastagbélbe, ahol mikrobiális fermentáció során alakulnak rövid szénláncú zsírsavakká (SCFA) (SLAVIN, 2013).

Növényanatómiai értelemben a rost a sejtplazma által kiválasztott, a sejtmembránt határoló szilárdító funkcióval rendelkező sejtfalból származtatható. A sejtfalak a növények fontos szerkezeti alkotóelemei, amelyek befolyásolják a szójában található tápanyagok biológiai hozzáférhetőséget, és meghatározzák a növényi alapú élelmiszerekben található tápanyagok későbbi emészthetőségét. A növényanatómiai meghatározás szerinti rostfrakció legnagyobb arányban a másodlagosan vastagodott növényi szövetekből származik, jellemzően a vegetatív szerveket felépítő szállító-és szilárdítószövetek sejtjeinek vastagodott falából. A sejtfal felépítésében résztvevő anyagok a lignin, cellulóz, hemicellulóz, pektin, szerkezeti fehérjék (COSGROVE, 1997).

A hagyományosan alulértékelt agronómiai melléktermékek gyakran magas, kémiai és funkcionálisan eltérő rosttartalommal rendelkeznek, amelyek eltérő biológiai hatást váltanak ki a szervezetben. A visszamaradó rosttartalom oldható és oldhatatlan frakcióból tevődik össze. Az oldható frakció a teljes élelmi rost (TDF) enzim és víz által oldható részeként definiálható. Az oldható rostfrakció felépítésében résztvevő polimerek közül a pektin, β -glükán, inulin, galaktomannán és frukto-oligoszacharidok (FOS) (MUDGIL et al., 2019).

A lignin az oldhatatlan rostfrakciók közé tartozik, kémiai azonban eltér a többi rostkomponenstől (melyek főleg szénhidrátok), hiszen a fenolpropán származékok közé sorolható. Alapvetően a másodlagos sejtfalvastagodás során épül be többnyire a szilárdító

alapszövetekbe. Szerkezeti stabilitást biztosít a növények, hidrofób természete következtében csökkenti a növényi szövetek átjárhatóságát vízre vonatkoztatva és növeli a mikrobiális aktivitásokkal szembeni ellenálló képességet. (BARROS et al., 2015) szerint a lignin a második legnagyobb mennyiségben előforduló szárazföldi biopolimer a cellulóz után.

A ligninben található sziringil és gvajacil oldalláncok aránya meghatározza a sejtfalban lévő fermentálható cukrok kinyerhetőségét, melynek gyakorlati relevanciája a biogáz, bioüzemanyag előállítás során van (FÁRI et. al, 2016). A betakarítást követően visszamaradó lignocellulóz tartalmú szója biomasszában 18% körüli Klason-lignin tartalmat figyeltek meg (KOVACIC, 2017). A szója szár háromszor annyi lignint tartalmaz, mint a levél, továbbá szeneszcencia során az inkrusztálás mértéke növekszik, ezért a zöldtömeg takarmányozási céllal történő hasznosítása esetén fontos az optimális időben történő betakarítás. Megfigyelték, hogy a levelek lehullását követően a tápanyagok jelentős része elveszik (GUPTA et al., 1973).

A világon évente 220 millió tonna szójaszalma marad a szántóterületeken. A szárból, levelekből és hüvelyekből álló szénájában 35% cellulóz, 21% oldhatatlan lignin, 17% hemicellulóz. A szójabab szalmáját gyakran szántóföldi melléktermékként definiálják, azonban a nagy mennyiségben visszamaradó beltartalmi értékek megalapozzák sokoldalú hasznosítási lehetőségeit. Megújuló erőforrásként történő hasznosítása már ismert, fizikai, kémiai és enzimatis kezelések lehetővé teszik a szójaszalma biológiai lebonthatóságát és emészthetőségét (MARTELLI et al., 2017). MARTELLI (2017) fenntartható zöld polimerként említi a szójaszalmát, ami lehetőséget biztosít a megújuló erőforrásokon alapuló fehérje-és poliszacharid produkcióhoz. COLLETI et al. (2020) említi, hogy a szójabetakarítás során visszamaradó hüvely fehérjetartalma 10-12% körüli értékkel jellemezhető, míg a poliszacharidok közül a cellulóz 20%, a hemicellulóz 50% és a pektin 30%-os részarányt képez, ezáltal funkcionális összetevőként felhasználhatók a népesség ételmi rostbevitelének növelése céljából.

2.7. Felhasználás

A szójababot elsősorban *magjáért* termesztik világszerte, amelynek minőségét beltartalmi összetétele determinálja. A korábban már említett komponensek mellett jelentős mennyiségű B, valamint E-vitamint tartalmaz (KIM et al., 2014, BALIKÓ, 2007). A szójaolaj csökkentheti a koleszterinszintet az emberi szervezetben, mivel magas a többszörösen telítetlen zsírsav

tartalma. Tanulmányok kimutatták, hogy az ilyen telítetlen zsírsavakban gazdag étrend jelentősen csökkenti az emelkedett összkoleszterinszintet (HUTH et al., 2015).

A héjtalanított szójababból készült, 46% fehérjetartalmú *szójaliszt* előnyös táplálkozás-élettani hatása, hogy fehérje és szénhidrátforrást jelent a lisztérzékeny betegek számára, emészthetősége jellemzően 75-92%. A szójaliszt további feldolgozása során állítják elő a legalább 65% fehérjetartalmú szójakoncentrátumot (BALIKÓ, 2007).

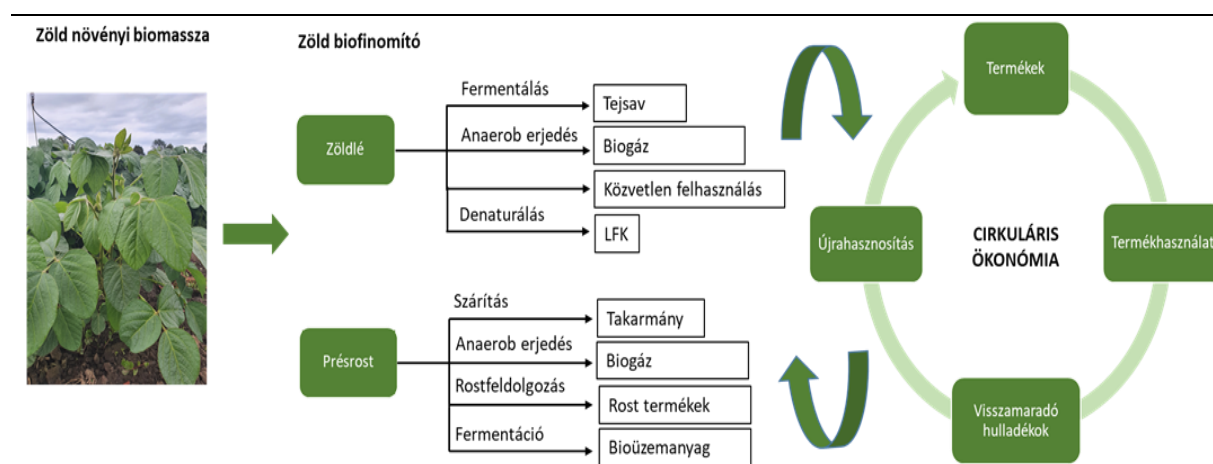
A *levél*, a maggal egyenértékű fehérjeforrást jelenthet, míg a nagy szénhidráttartalmú *szár* prekursora lehet a második generációs üzemanyagoknak (TAKKELLAPATI et al., 2018). A zöldsztakarmányként történő hasznosítására fejlődésének reprodukív fázisában nyílik lehetőség a kezdeti virágzás szakaszában, hektáronként 25-30 tonna zöldsztömeg nyerhető (BALIKÓ, 2007).

A szója zöld biomassza célú termesztése gazdaságos, hiszen egy tenyészidőszakban többször és nagy termésátlaggal takarítható be. A nagytömegű biomassza a zöld biofinomítás rendszerében inputként szolgáló értékes növényanyag.

2.8. Biomassza feldolgozás – „zöld biofinomító”

A pillangósvirágúak (*Fabaceae*) családjába tartozó növények esetében már a múlt században felmerült a levél, fehérje célú hasznosítása, amelynek következtében a szója is górcső alá került, lehetőséget biztosítva a GMO eredetű szójamag import csökkentéséhez. A Nemzetközi Energia Ügynökség definiálása alapján a biofinomítás a biomassza fenntartható, széles spektrumú feldolgozása értéknövelt termékekké, mint például élelmiszeripari és takarmánykomponensek, bioüzemanyagok, vegyszerek (TAKKELLAPATI et al., 2018). A biofinomítás koncepciója kiválóan illeszkedik a körforgásos gazdasághoz, azonban a nedves frakcionálás melléktermékei gyakran alulértékeltek, de komponensei jelentős értéket képviselnek. VAN REE et al. (2011) alapján a biofinomító rendszereken belül három alrendszer különíthető el. A „gabona biofinomítók” (WCB) nyersanyagai kizárólag mezőgazdasági eredetű termények, a „lignocellulóz alapú biofinomítók” (LCFB) lignocellulóz tartalmú maradékokat dolgoznak fel, míg a „zöld biofinomítók” (GB) kategóriájába az éretlen gabonaféléket, lágyszárú kultúrnövényeket feldolgozó rendszerek tartoznak. A szója nagy tömegű, egy tenyészidőszakon belül többször betakarítható zöld biomasszája kedvező beltartalmi értékkel rendelkezik, aminek következtében alkalmas a zöld biofinomítóban való feldolgozásra. A szója zöld biomasszájának

innovatív feldolgozása során préseléssel két eltérő beltartalmú frakció nyerhető (1. ábra). A folyamat fő termékének tekinthető zöldlé 70% körüli frakciót képez, biológiai értékét nagy mennyiségű fehérje, aminosav, oldható cukor, esszenciális zsírsav, polifenol és színanyagtartalma határozza meg (FÁRI, 2016, KAMM et al., 2007). Szubsztrátot jelent meghatározó iparágak számára, mint a bioipar, gyógyszeripar, kozmetika ipar számára, azonban elsődlegesen a takarmányozásban és élelmezésben kerül felhasználásra levélfehérje koncentrátum (LFK) formájában. A zöldlé frakció hasznosítása nagy lehetőséget rejt magában, de jelen kutatás témája a 30% körüli mennyiségben visszamaradó présrost frakció vizsgálata, mely nagy mennyiségű cellulózt, hemicellulózt és lignint tartalmaz (RAMBO, 2015, KAMM et al., 2007; CSATÁRI et al., 2022). Sokoldalúan hasznosítható ipari melléktermék, amelyből fermentáció útján bioüzemanyag, anaerob erjedéssel biogáz és szárítással takarmányok nyerhetők (BALAGURUMURTHY et al., 2015). Takarmányozási jelentőségét emészthetősége határozza meg, ami a sejtfalalkotó komponensek arányától függ. Napjaink aktuális problémája a fosszilis energiahordozókra alapozott energiahasználat, aminek következtében nagy mennyiségű szén-dioxid kerül a légkörbe. A szója zöld biomasszájából előállított présrost fermentálható és biológiailag hozzáférhető cukortartalma jelentős mértékben befolyásolja a későbbi felhasználást, valamint értékét növelik a benne található egyéb kémiai komponensek.



1. ábra: A zöld biofinomítás egyes melléktermékeinek bekapcsolódása a körforgásos gazdálkodásba

Forrás: Saját szerkesztés (FÁRI, 2016 alapján)

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Kutatómunkám növényanyaga kispercellás szántóföldi kísérletből származik. A növények begyűjtése után munkám két, alapvetően laborkörnyezetben végzett tevékenységből állt össze. Növényanatómiai vizsgálatokból a szöveti szerkezet feltárása céljából és a faj présrost frakciójának fitokémiai komponenseit tanulmányozó analitikai mérésekből.

3.1. Kísérleti elrendezés és a fajták bemutatása

A Debreceni Egyetem MÉK bemutató kertjében 2021-ben, randomizált blokk elrendezésben beállított kispercellás (4,52 m²) szántóföldi kísérlet során, 24x10 cm-es vetéstávolságot alkalmaztunk. Négy hazai szójafajta (*Advisor*, *Bólyi 612*, *Pannónia Kincse*, *Isidor*) 3 ismétlésben került beállításra. A vizsgálatba tudatosan 2 korai és 2 középérésű fajtát vontunk be (1. táblázat). A dolgozat ábráin/táblázataiban a vizsgált fajták az alábbi kódokkal szerepelnek: *Advisor* (ADV), *Bólyi 612* (BOL), *Isidor* (ISI), *Pannónia kincse* (PAN).

ADVISOR: Igen korai (00) / korai (0) éréscsoportú, interdeterminált növekedésű fajta. Eredményesen termeszthető az ország bármelyik szójatermő táján. Kiemelkedő termőképessége mellett figyelmet igényel optimális fehérje- és nyerszsír tartalma is. A *Sclerotinia sclerotiorum*mal szemben magas szintű tolerancia jellemzi. Jó szárszilárdsága következtében megdőlésre kevésbé hajlamos, ami csökkenti a mechanikai betakarításból adódó veszteségeket.

BÓLYI 612.: Korai (0) éréscsoportba sorolható, féldeterminált növekedésű fajta. Növekedése során elágazó, jól bokrosodó fajta. A nagy ezermagtömeg mellett kedvező beltartalmi paraméterekkel rendelkező, élelmiszeripari minőségű termést ad.

ISIDOR: Középérésű (I), Magyarországon a termeszthők által kedvelt fajta, népszerűsége nagy terméshozamaira vezethető vissza. Elsősorban a jó termőtalajok fajtája, ezért az középső-déli termőterületei élveznek prioritást az eredményes termesztés szempontjából. Jó szárazságtűrő fajtaként tartják számon.

PANNÓNIA KINCSE: Középérésű (I), széles körben elterjedt fajta, ami nagyfokú adaptációs és szárazságtűrő képességével magyarázható. Kiemelkedő terméshozamok azonban intenzív termesztési körülmények között érhetők el.

1. táblázat: A vizsgálatba bevont fajták összehasonlítása

Fajta Paraméterek	ADVISOR	BÓLYI	ISIDOR	PANNÓNIA KINCSE
Tenyészdő	128-132 nap	130-140 nap	130-145 nap	135-145 nap
Növekedési típus	féldeterminált	féldeterminált	determinált	interdeterminált
Ezermagtömeg	190-220 gramm	180-210 gramm	200-220 gramm	180-190 gramm
Javasolt tőszám	450.000-550.000 csíra/ha	400.000-430.000 csíra/ha	400.000-430.000 csíra/ha	450.000-500.000 csíra/ha
Javasolt sortávolság	24-45 cm	24-76 cm	45 cm	24-76 cm
Javasolt vetési idő	április közepe-április vége	április 15-május 15.	április 10-április 30.	április közepe-május eleje.

Forrás: Saját szerkesztés

3.2. Laborban végzett tevékenységek

3.2.1. Növényanatómiai vizsgálatok

Mintavételezés, előkészítés

A négy szójafajta szövettani elemzését a Debreceni Egyetem MÉK, Alkalmazott Növénybiológiai Tanszékének növényteni laboratóriumában végeztem. A vegetatív szervek megmintázása a vetést követő 47. napon történt. Ismétlésenként 3-3 db, véletlenszerűen kiválasztott egyedről szár és levélminták kerültek begyűjtésre. A szegélyhatás elkerülése érdekében az állomány (parcella) belsőbb, azonos fenológiai stádiumában lévő növény egyedeinek 5. nóduszáról eredő levelek, míg szár esetében a 4. és 5. nódusz közötti internódiumok (szártagok) kerültek begyűjtésre.

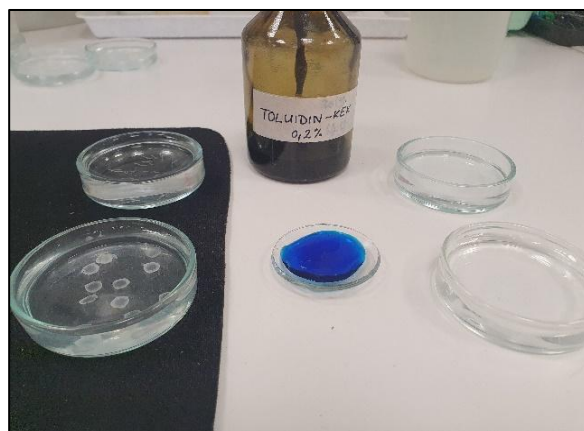
A szárból és levélből származó minták konzerválása Strasbourger – Flemming oldattal (glicerín:víz:alkohol 1 : 1 : 1 arányú elegye) történt, egyedi kóddal ellátott mintatartó üvegekben (2 hét), ami elősegítette puhulásukat és növelte a metszhetőség sikerét (2. ábra).



2. ábra: A minták konzerválása (saját fotó)

Keresztmetszet készítése

A minták metszése kézzel, borotvapenge alkalmazásával történt. Növényenként és szervenként is legalább 15 darab, egy sejtsor vastagságú keresztmetszet készült (fajtánként és szervenként legalább 45 db metszet) melyeket hypo és desztillált víz 1:1 arányú keverékébe helyeztem a jobb mikroszkópos vizsgálhatóság céljából. A derítési idő tapasztalati úton megállapított 4 órát jelentett, melyet a minta háromszori desztillált vizes átmosása követett. A metszetek sorozatok festése 10-15 másodperc alatt történt 0,2%-os toluidin-kék festék alkalmazásával, melyet háromszori desztillált vizes kimosás zárt le (3. ábra).



3. ábra: A metszetek derítése (saját fotó)

Fénymikroszkópos vizsgálat, digitalizálás

A fajták szövettani paramétereit Zeiss Axioskop 2+ típusú fénymikroszkóppal vizsgáltam eltérő nagyítású objektívekkel (2,5x, 4x, 10x, 20x, 40x). Valamennyi metszet digitalizálásra került, majd a fotókon a Scope Photo mérő szoftverrel mértem a szöveti paramétereket. A szója levél esetében 5 szövettáj (levéllemez vastagság, alsó epidermisz-, felső epidermisz vastagság, mezofillum vastagság, kutikula vastagság) a szár esetében további 8 értékmérő paraméter került kvantifikálásra (szár teljes átmérője, epidermisz vastagsága, sztéle (központi henger) átmérő, primer cortex (elsődleges kéreg) vastagsága, kutikula vastagsága, elsődleges és másodlagos xilém (farész) vastagsága, szilárdító alapszövetek vastagsága. Minden mért paraméterből 70 adat került rögzítésre és kiértékelésre.

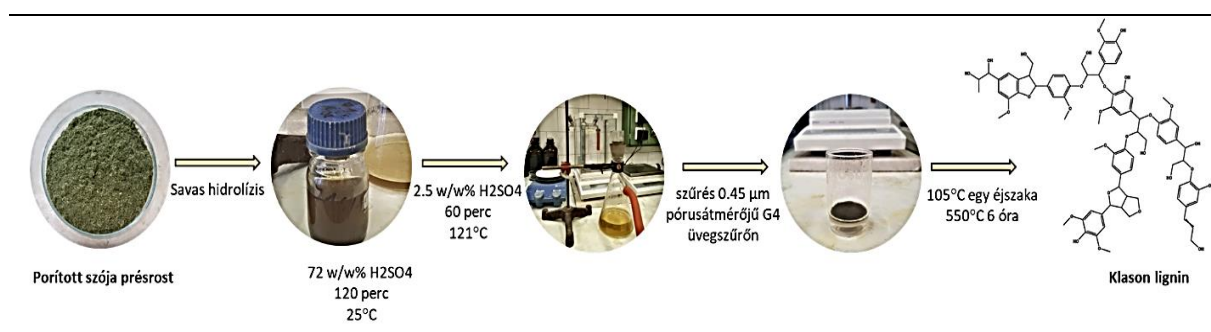
3.3. Szója zöld biomassza betakarítás és feldolgozás

A kétszeri vetésnek megfelelően a betakarítás is két időpontban 2021. júniusában és szeptemberében zöldbimbós fenológiai állapotban történt. A mintavételezés során a talajfelszíntől számított 10 centiméteres magasságban kaszáltunk biomasszát, és ismétlésenként 1-1 kg mintát gyűjtöttünk nedves frakcionáláshoz. A minták hatékony feldolgozásához ikercsigás présgépet használtunk (Angel Juicer 5500, Csehország), a kinyert présrost és zöldlé frakció egy része fagyasztásra került. (A zöldlé frakcióból $80\pm 3^\circ\text{C}$ -on történő hőkezelésen alapuló koagulálással zöld túró (LFK) és barnalé nyerhető).

3.4. Biokémiai és analitikai mérések

3.4.1. Sejtfal analitikai vizsgálatok

Sejtfal analitikai vizsgálatokat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Alkalmazott Biotechnológiai és Élelmiszer-tudományi Tanszékén végeztem el. A Klason lignin tartalom meghatározása Håglund-módszer (SLUITER, 2008) alapján történt, mely alkalmas a lignocellulóz tartalmú biomassza össz-szénhidrátmennyiségének meghatározására. A folyamat azon alapul, hogy a növényi biomasszát alkotó lignocellulózokban a szénhidrátok cellulózban és hemicellulózban kötve fordulnak elő, tömény sav jelenlétében azonban a cukor monomerek kinyerhetők (4. ábra).



4. ábra: A Klason-lignin kinyerés folyamatábrája

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A Klason-lignin meghatározásához első lépésként bemértünk 0,5g finomra darált, egy éjszakán át 105°C -on szárított levél- és szármintát, majd hozzá adtunk 2,5 ml 72%-os H₂SO₄-et automata pipettával. A mintákat kénsav jelenlétében termosztáltuk 2 órán keresztül, majd hígítottuk 75ml desztillált vízzel. Ezt követően a minták autoklávba kerültek (121°C) egy órára. Az oldatot előzetesen kiizzított és lemért G4 üvegszűrőkön szűrtük át vákuum alkalmazásával és

mindegyikből félretettünk 1,5ml-t nagyteljesítményű folyadékkromatográfiás (HPLC) analízis céljából. Az üvegszűrőket egy éjszakára 105°C-os szárítószekrénybe helyeztük, miután lemértük tömegét kemencében kiizzítottuk és a Klason lignint a hidrolízis után visszamaradó, hamutartalommal korrigált szilárd maradéknak tekintettük. A lignintartalmat a következő képlettel számítottuk ki:

$$\text{lignin } (\%) = \frac{(m_2 - m_1) - (m_3 - m_1)}{m_0} \cdot 100$$

ahol, **m₀**; 0,5g szárított minta pontos tömege, **m₁**; G4 üvegszűrők tömege, **m₂**; 105°C-os szárítás utáni tömeg, **m₃**; 550°C-os izzítás utáni tömeg.

Folyadékkromatográfia (HPLC)

A 0,45 µm pórusátmérőjű üvegszűrőkön, vákuum alatt történő szűrést követően az oldatba került cukorkomponensek koncentrációját Aminex HPX-87H kationcserélő oszlopon határoztuk meg, 65°C hőmérsékleten, 5mmol/L H₂SO₄ eluenst alkalmazva 0,5 mL/perc áramlási sebesség mellett. Méréseinket három párhuzamos ismétléssel végeztük.

3.4.2. Mikro-, és makro elem tartalom meghatározása présrost frakciókból

A présrost frakció mikro-, és makroelem tartalmának meghatározása két betakarítási időpontból származó, porított és liofilizált mintákból történt. A folyamat első lépéseként bemértünk 1 gramm reprezentatív növénymintát, majd 10cm³ cc. HNO₃ hozzáadásával roncsoltuk Labor MIM OE 718/A blokkroncsolóban 30 percig 60°C-on. A roncsolás második fázisában, miután mintáink kihültek, további 10 cm³ 30%-os H₂O₂-t adagoltunk a rendszerhez és 90 percig 120°-ra helyeztük. A termosztálást követően 50cm³ desztillált vizet adtunk mintáinkhoz, majd MN 640W típusú szűrőpapírral történő szűrést követően a mérést Thermo Electron Corporation iCAP 6300 Dual Induktív Csatlósú Plazma Optikai Emissziós Spektrométerrel (ICP-OES) végeztük el.

3.4.3. Fotoszintetikus pigment tartalom meghatározása

A fotoszintetikus pigmenttartalom meghatározása porított présrostfrakcióból történt (0,1±0,001 g/minta), A reprezentatív növényminták kémcsőbe kerültek, ahol DUMA et al. (2014) alapján a fotoszintetikus pigmenteket (klorofilok, karotinoidok és xantofiliek) 5 ml 96%-os etanollal vontuk ki a bemért mintákból. Etanol hozzáadását követően a kémcsövek 30 percig ultrahangos

vízfürdőben sötétben voltak szobahőmérsékleten. Inkubálás után mintáimat 13.000 rpm sebességgel centrifugáltam 5 percig Eppendorf Centrifuge 5415 R készüléken. A fotoszintetikus pigmenttartalom kvantifikálásához Ultraspec 2011 pro (Biochrom) spektrofotométert használtam. Az abszorbanciákat 665 nm, 649 nm, 440 nm, 480 nm és 490 nm hullámhosszon mértem, a fotoszintetikus pigmenttartalmat az alábbi képletek alapján számítottam ki:

$$\text{Klorofill a (mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{)} = \frac{13.7 \cdot A_{665} - 5.76 A_{649}}{\text{tömeg} \cdot 200}$$

$$\text{Klorofill b (mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{)} = \frac{25.8 \cdot A_{649} - 7.6 A_{665}}{\text{tömeg} \cdot 200}$$

$$\text{Karotinoidok (mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{)} = \frac{4.7 \cdot A_{480} - 0.263 c_{\text{chla} + \text{chl b}}}{\text{tömeg} \cdot 200}$$

$$\text{Xantofillok (lutein) (mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{)} = \frac{11.51 \cdot A_{480} - 20.61 A_{495}}{\text{tömeg} \cdot 200}$$

Adatfeldolgozás, statisztikai elemzés

A mérések eredményeként magas mérési szintű adatokat kaptunk. Az adatok statisztikai feldolgozását Microsoft Excel 2016-os verziójával és IBM SPSS24 statisztikai szoftverrel végeztem el. A normalitásvizsgálat után a centrális adatok közül a számtani átlag, az adathalmaz eloszlását jellemző mutatók közül a szórás (SD) került kiszámításra. A fajták közötti szignifikáns különbségek meghatározásához egytényezős varianciaanalízis (ANOVA) és kéttényezős varianciaanalízist (Two-way ANOVA) alkalmaztunk ($p < 0,05$). A kezeléspárok közti szignifikáns különbségeket LSD és a szigorúbb feltételekkel dolgozó Tukey teszttel is elvégeztük.

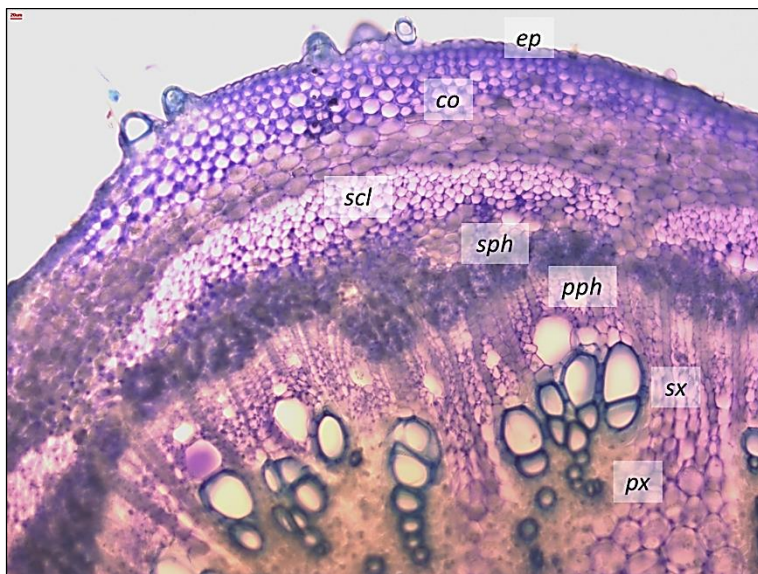
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. A vizsgált fajták vegetatív szerveinek összehasonlító szövettani elemzése

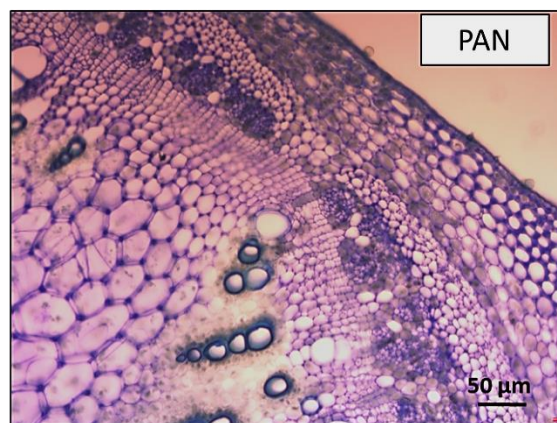
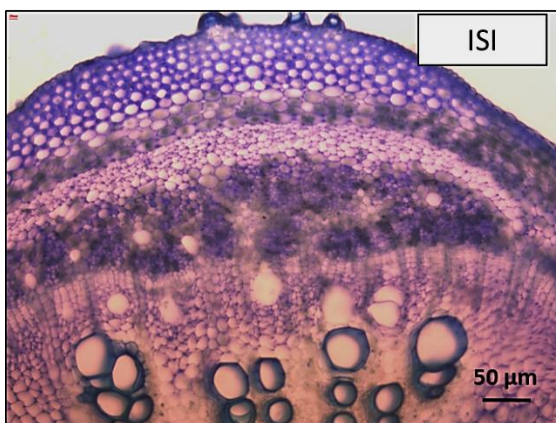
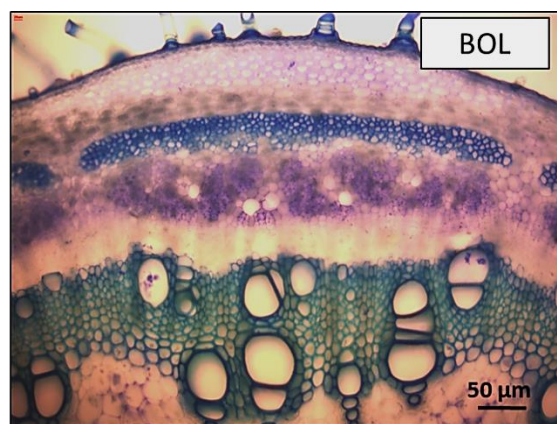
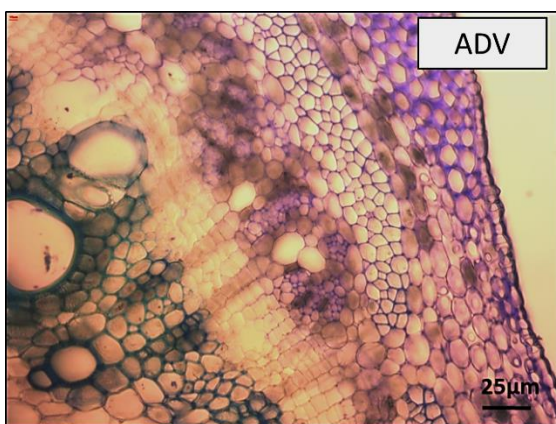
4.1.1. Szár

A szója szára a kétszikű növényekre jellemző hármastagolódás mutatja. A jellemző szövatarányok kialakulása a negyedik interenódiumot követően tapasztalható, ugyanis ezalatt rendeződnek át egymásba a gyökér és szár szállítóyalábjai (KURNIK, 1970).

A vegetációs időszak vége felé elfásodó, négyszögletes dudvaszár legkülső sejtsorát a levéllel megegyező habitusú egy sejtsoros, vékony kutikula réteggel borított epidermisz alkotja. A szár teljes lefutásán fejcskében végződő többsejtű trichómák találhatók. Az egymáshoz szorosan illeszkedő sejtekből álló epidermisz alatt lévő hipoderma három részre különíthető. Az asszimiláló alapszövet klorenchimáját alkotó kettő-öt sor parenchima sejt mindegyike tartalmaz kloroplasztiszt. A szilárdító alapszövetek elrendeződése, habitusa fajtajelleg. A bordák környékén a parenchima sejtek helyét mechanikai funkcióval rendelkező 7-10 sejtsorból álló sarkos kollencyma veszi át. A bordák alatti szöveti részek kivétel nélkül megfigyelhetők a kollaterális nyílt szállítóyalábok háncsrésze felett kialakuló 5-8 sejtsoros, erősen vastagodott sejtfallal rendelkező szklerenchimasapkák. A szár központi része felé haladva fokozatosan nő az alapszöveti sejtek vastagsága. A sztéle (központi henger) alapszöveti sejtjei között lokalizálódnak a kívülről floém (háncsrész), belülről xilém (farész) elemekből felépülő kollaterális nyílt szállítóyalábok. A két szerkezeti elem között bipleurikus osztódásra képes nyálbkcambium található (5. ábra).



ep:epidermis
c: primer cortex
scl: szlkerenchyma
sph:secunder floém
pph: primer floém
sx:szekunder xilém
px:primer xilém



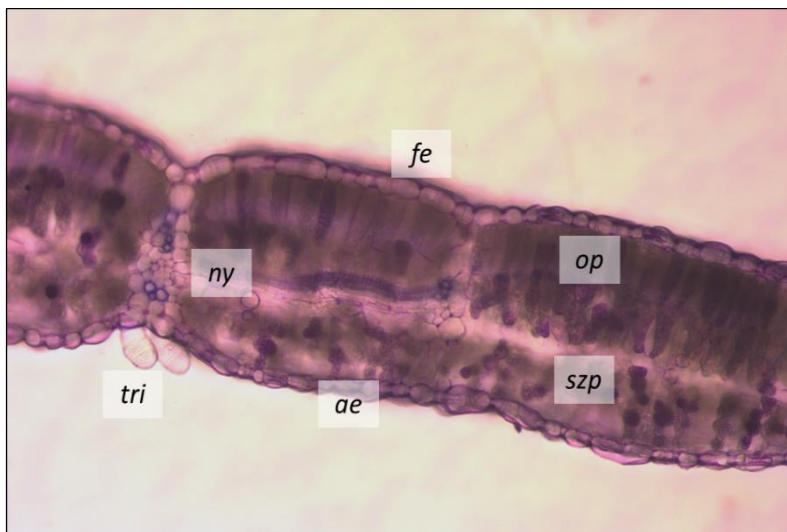
5. ábra: Szójafajták szárának szövettani összehasonlítása (saját képek)

ep: epidermisz c: primer cortex scl: szlkerenchyma sph: secunder floém pph: primer floém sx: szekunder xilém px: primer xilém

4.1.2. Levél

Általános szövettani vizsgálatok során megállapítottam, hogy a szójabab dorziventrális levelének szöveti felépítése egy klasszikus kétszikű növény mintáját követi, tehát három fő szövettípusból áll: bőrszövet, alapszövet, szállítószövet.

A levél színi és fonáki oldalán egy sejtsor vastagságú epidermisz figyelhető meg vékony kutikula réteggel. A leveleket alkotó sejtrétegek száma viszonylagos állandóságot mutat, ami szójabab esetében 7-8 réteg a levéllemezben. A levél heterogén mezofillumát öt-hat belső sejtrétegből áll. Az adaxiális epidermisz alatt található két réteg palisad parenchima a felületre merőleges irányba megnyúlt oszlopos sejtekből áll, amelyek mindegyike tartalmaz kloroplasztiszt, ami az oszlopos sejtek fotoszintetikus aktivitását bizonyítja. A levélben a felvett víz és tápanyagok transzportja a kollaterális zárt edénynyalábokon keresztül történik, tehát az nyalábot alkotó xylém és floémelemek között működőképes nyalábkambium nem figyelhető meg. A levelekben futó szállítónyalábok a szivacsos és palisad parenchima között lokalizálódnak. A C3-mas növényekre jellemző módon a nyalábok körül egy vagy két rétegű parenchimából felépülő nyalábhüvely figyelhető meg. Alapvető különbségnek tekinthető a vizsgált fajták között a kiegészítő edénynyalábok száma és elrendeződése, egyes levelek esetében ezek teljes hiánya volt megfigyelhető. További különbségként definiálható a szerkezeti funkcióval rendelkező, szilárdító alapszövetet felépítő sarkos kollenchyma sejtsorainak száma, ami 6-8 sorból áll. A szivacsos mezofillum két vagy három sejtrétegből áll az alsó epidermiszig, ahol a sejtek szabálytalanul parenchimatikusak, szembetűnő intercelluláris terekkel rendelkeznek, valamint kevesebb kloroplasztiszt tartalmaznak, mint a palisad sejtek (6. ábra).



fe: felső epidermisz

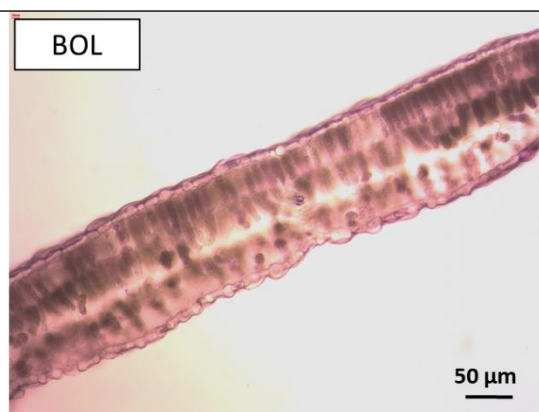
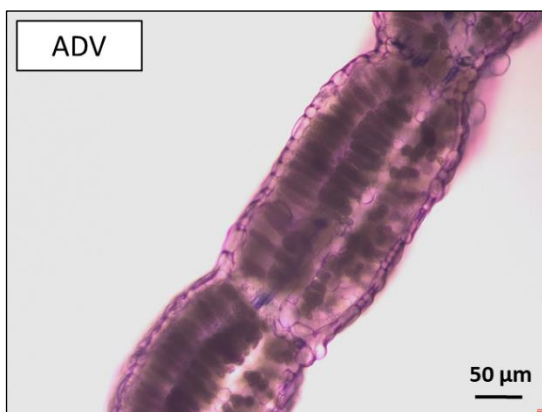
op: oszlopos klorenchyma

szp: szivacsos klorenchyma

ny: levélnyomnyaláb

ae: alsó epidermisz

tri: trichoma



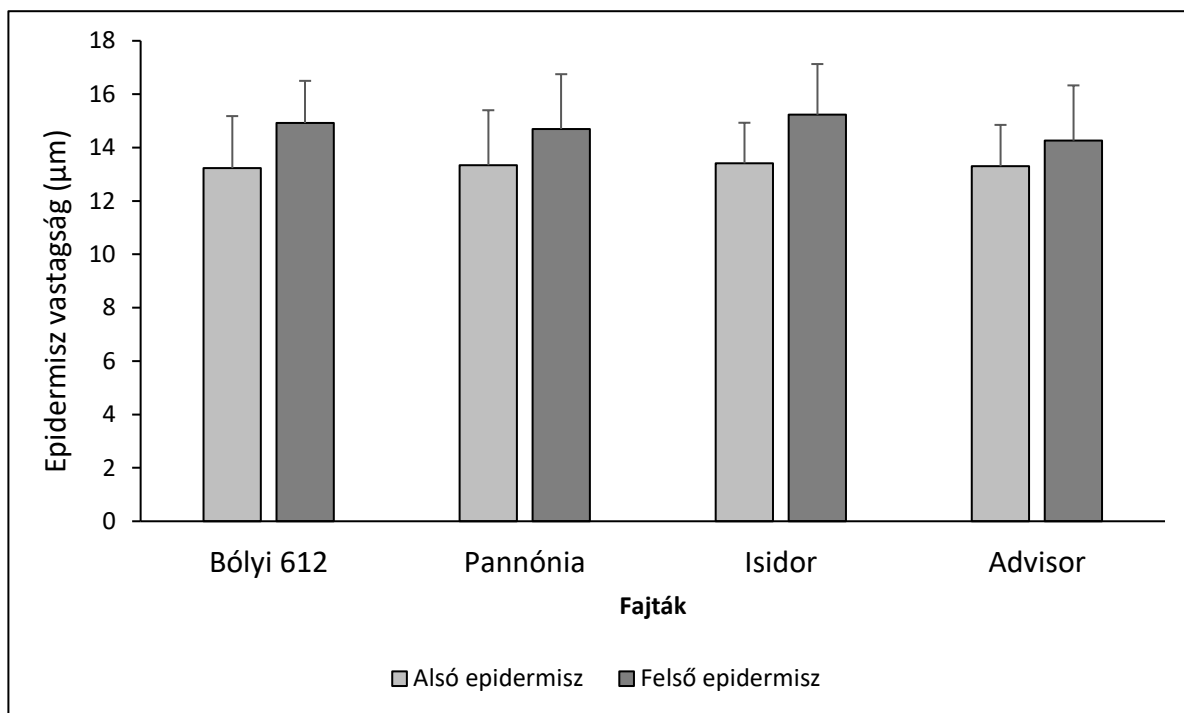
6. ábra: Szójafajták levelének szövettani összehasonlítása (saját képek)

fe: felső epidermisz op: oszlopos klorenchyma szp: szivacsos klorenchyma ny: levélnyomnyaláb

ae: alsó epidermisz tri: trichoma

4.2. Levél növényanatómiai paramétereinek kvantifikálása

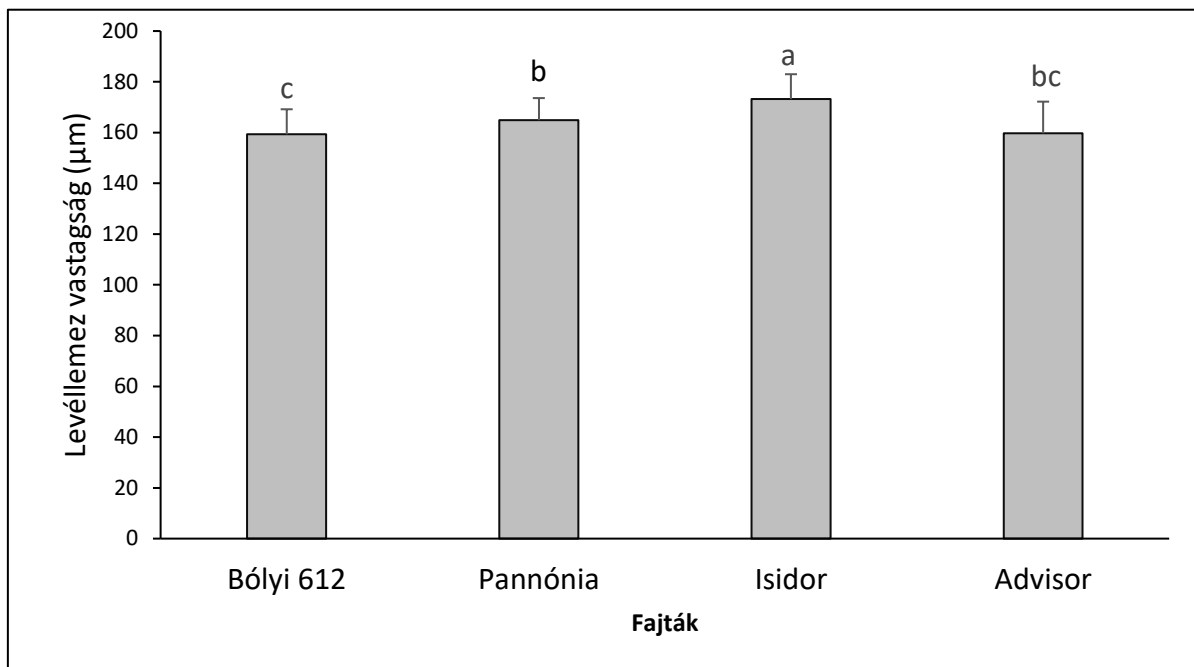
Az általános szöveti jellemzést követően, számszerűsíthető módon kimutatható eltérések meghatározására törekedtünk az egyes fajták értékmérő tulajdonságai között. Az adatok középértékének meghatározása számtani közép, míg eloszlásuk definiálásához szórást alkalmaztunk.



7. ábra: Szója fajták levelének átlagos alsó és felső epidermisz vastagsága (+SD)

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

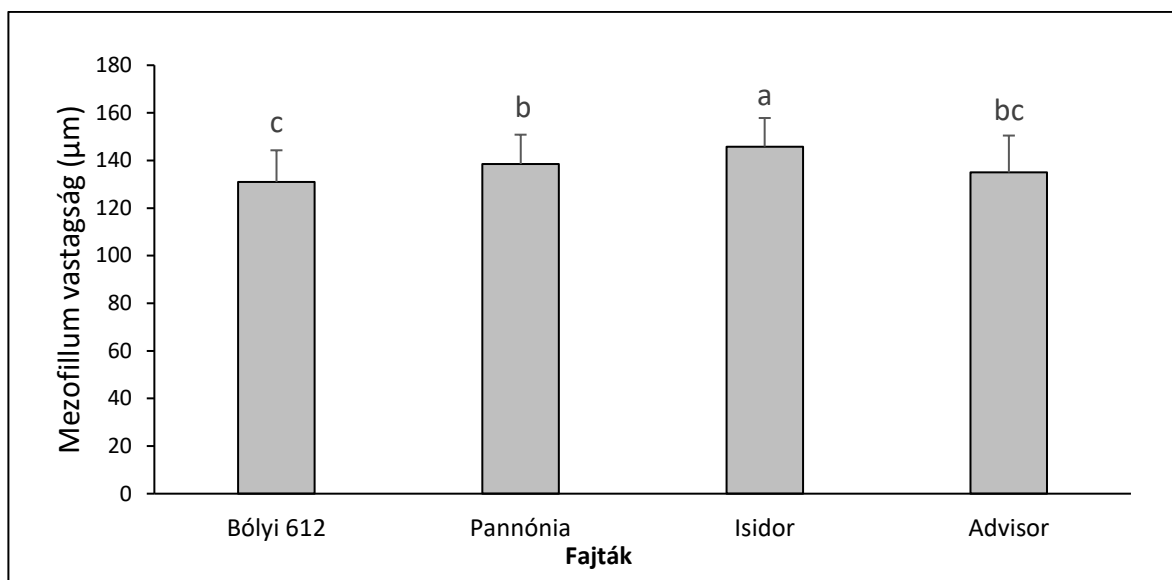
A szójabab felső és alsó epidermiszének vizsgálata során a fajták között nem volt tapasztalható szignifikáns különbség ($p < 0,05 \pm SD$). Az általunk végzett mérések alapján a felső epidermális sejtek vastagsága minden esetben nagyobb átlagértékkel jellemezhető, mint az alsó epidermális sejteké. Az alsó epidermisz vastagságának vizsgálata során legalacsonyabb átlagértéket a Bólyi 612 fajta (13,23 µm), legmagasabb átlagértéket az Isidor fajta (13,41 µm) esetében tapasztaltuk, míg a felső epidermisz esetében a minimális átlagérték az Advisor (14,26 µm), maximális átlagérték ismét az Isidornál (15,23 µm) jelentkezett (7. ábra).



8. ábra: Szója fajták levéllemezőnek átlagos vastagsága (+SD)

Forrás: *Saját szerkesztés, 2022*

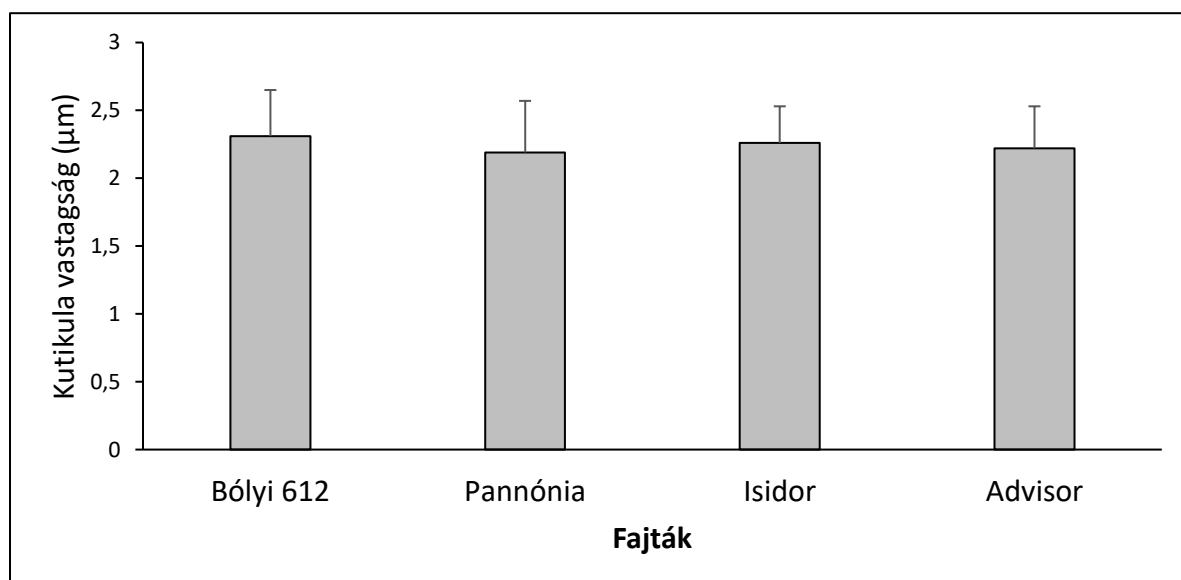
A szójabab levéllemező vastagságának vizsgálata során az Isidor fajta levéllemezőnek vastagsága mindhárom vizsgált fajtától különbözött, illetve szignifikáns különbség tapasztalható a Bólyi 612 és Pannónia kincse fajták levéllemezőnek átlagos vastagsága között. Legmagasabb átlagértékkel az Isidor (173,15 µm), legalacsonyabb átlagértékkel a Bólyi 612 fajta (159,29 µm) volt jellemezhető. A levéllemező vastagság vizsgálata során tapasztalt fajták közötti szignifikáns különbségeket (JUMRANI et al., 2017) eredményei is alátámasztják. 12 fajtán végzett kísérleteik során a levéllemező vastagság maximumát az NRC7 (188.1µm), minimumát az NRC37 (142.2 µm) esetében tapasztalták.



9. ábra: Szója fajták levelének átlagos mezofillum vastagsága (+SD)

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A levél mezofillumának vizsgálata során a fajták között szintén szignifikáns különbséget sikerült kimutatni ($P < 0,05 \pm SD$). A különbségek a levéllemez esetével megegyező módon voltak tapasztalhatók, tehát az Isidor fajta mezofillum vastagsága ($145,82 \mu m$) mindhárom vizsgált fajta mezofillum vastagságától különbözik, illetve szignifikáns különbség tapasztalható a Bólyi 612 és Pannónia kincse fajták mezofillumának átlagos vastagsága között.



10. ábra: Szója fajták levéllemezének átlagos kutikulavastagsága (+SD)

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A kutikula esetében nem volt kimutatható szignifikáns különbség a fajták között ($P < 0,05 \pm SD$). A fajták kutikula vastagságának elemzése alapján legalacsonyabb átlagértéket a Pannónia kincse ($2,19 \mu m$), legmagasabb átlagértéket ($2,31 \mu m$) az Bólyi 612 fajta esetében tapasztaltam, amiből nagyobb szárazság tűrőképességre lehet következtetni.

4.3. Szár növényanatómiai paramétereinek kvantifikálása

Szármintáinkat a kísérletben szereplő növények 5. nódusza felett vételeztük, hiszen a kétszikű növények szárát jellemző szöveti felépítés ALERDING et al. (2018) alapján a 4. internódiumot követően alakul ki. A mikroszkópi képek elemzése során a szójabab szárában először három értékmérő paramétert kvantifikáltunk, amelyek a következők voltak; szár teljes átmérője, sztéle átmérő, primer cortex vastagsága.

A szár teljes hossza önmagában nem elegendő, hogy egy fajta dőlési hajlamára következtessünk. A növénytermesztés egyik nehezítő tényezője a nem megfelelő szárszilárdság kialakulása, ami korábbi tanulmányok alapján pozitív korrelációban áll a szár átmérővel. A környezeti tényezőkhez viszonyított alacsony szárátmérő, a hiányos szemtelítődésen, illetve a kedvezőtlen szem minőségen túl a termésvesztésben is megmutatkozik, hiszen csökkenti a mechanikai betakarítás hatékonyságát szárdőlés révén (SUN et al., 2021).

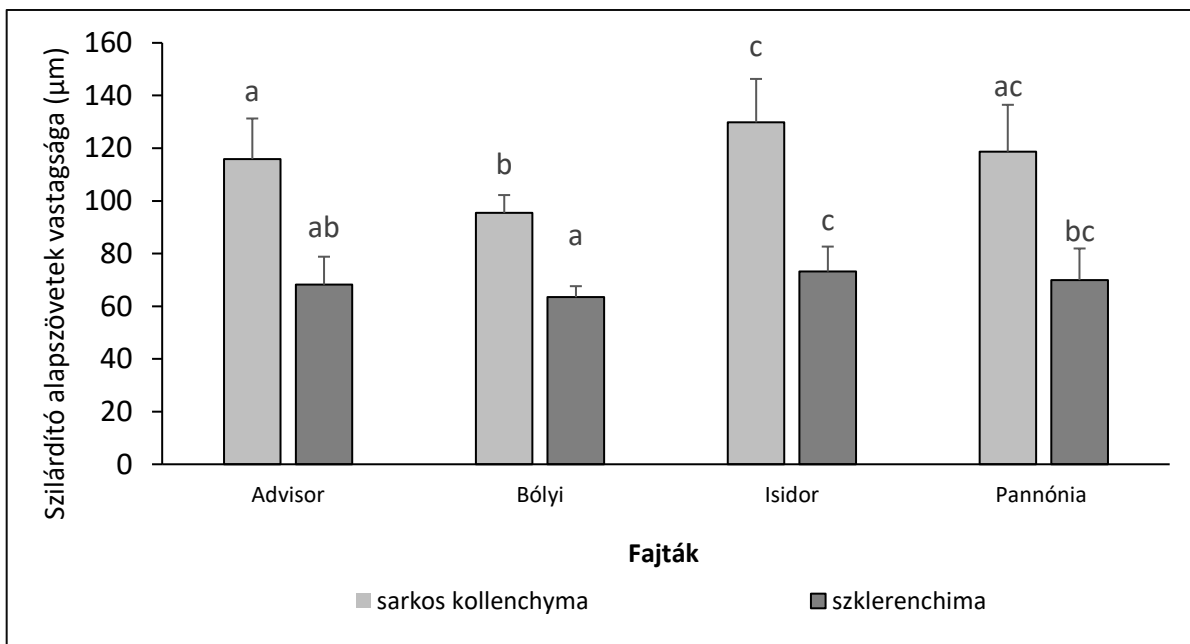
	Szár teljes átmérő	Sztéle átmérő	Primer cortex vastagsága
Advisor	$4920,95 \pm 551,55$	$4515,1 \pm 569,43$ ^{ab}	$119,34 \pm 13,81$ ^A
Bolyi	$4775,00 \pm 324,08$	$4449,03 \pm 332,57$ ^{bc}	$111,14 \pm 6,56$ ^B
Isidor	$4548,09 \pm 332,28$	$4102,73 \pm 333,28$ ^a	$118,84 \pm 13,66$ ^A
Pannónia kincse	$4652,22 \pm 568,11$	$4395,96 \pm 661,82$ ^{ab}	$117,49 \pm 11,19$ ^A

2. táblázat: Szója fajták szárának elsődleges értékmérő paraméterei (+SD)

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A szár átmérőjét ezek alapján kiemelten fontos paraméternek tekintettük, ami egyrészt meghatározhatja a szántóföldi növények dőlési hajlamát, másrészt hozzájárulhat a magasabb termésátlagok eléréshez.

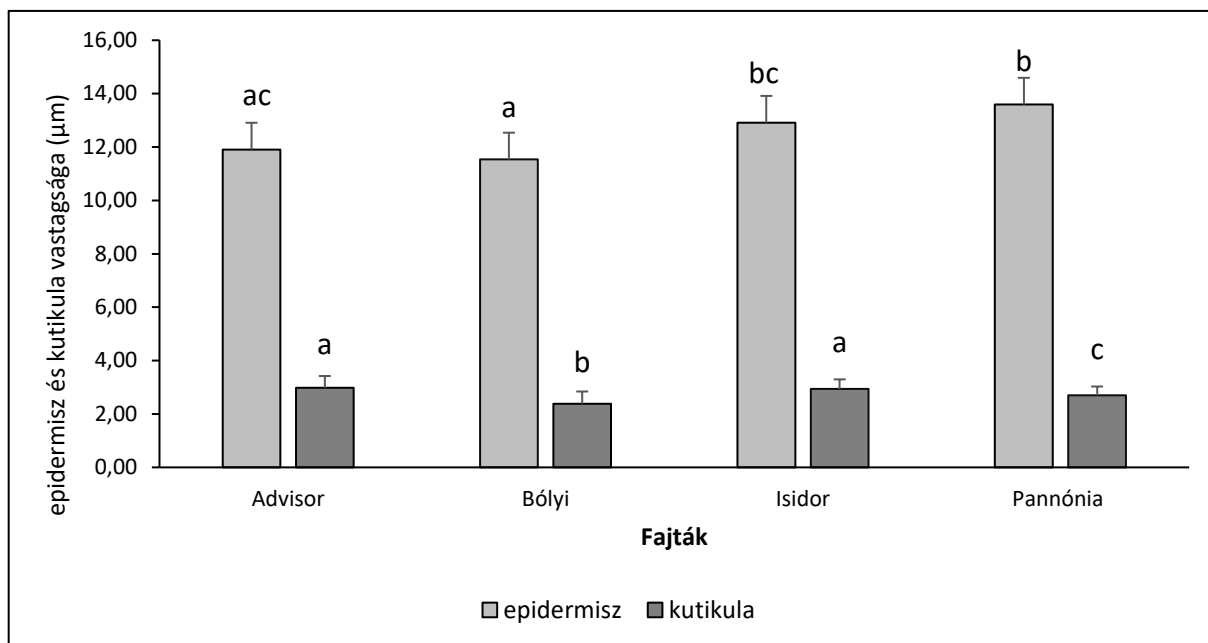
A mért adatok statisztikai kiértékeléséből következően a fajták sztele átmérője és primer cortex vastagsága között szignifikáns eltérés tapasztalható. Az Advisor kiemelkedik a vizsgált fajták közül, tekintettel, hogy a legnagyobb átlagos szár (4920,95 μm), illetve sztele (4515,1 μm) átmérő, továbbá a primer cortex vastagságának átlagos maximumát (119,34 μm) is ez a fajta produkálta.



11. ábra: Szója fajták szilárdító alapszöveteinek átlagos vastagsága (+SD)

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

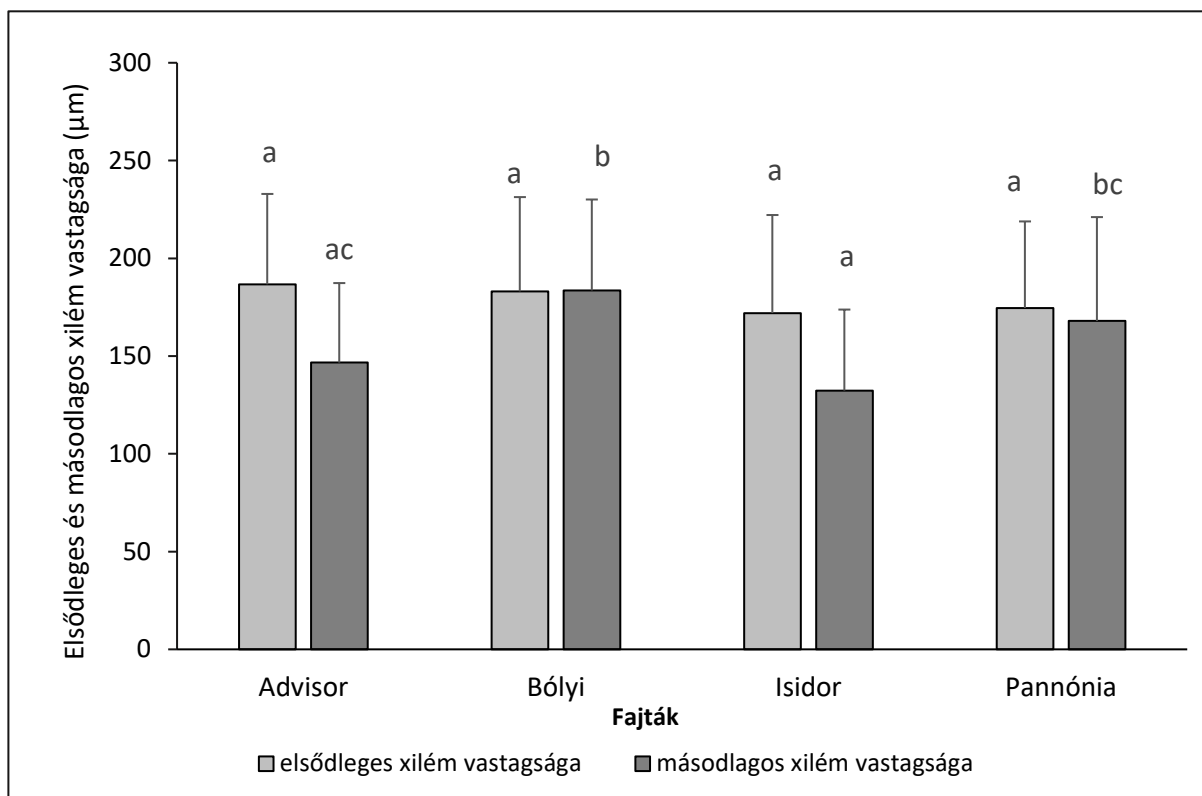
Az epidermisz alatt kialakuló hipodermában jól elkülöníthető réteget képeznek a szilárdító alapszövetek. Méréseink alapján a vizsgált fajtáknál minden esetben alacsonyabb volt a sarkos kollenchyma vastagsága, mint a kollaterális nyílt szállítónyalábok körül elhelyezkedő szklerenchyma átlagos vastagsága. A sarkos kollenchyma több sejtsoros vastagságban főként a bordáknál figyelhetők meg, aminek vastagsága fajtánként szignifikánsan eltért. Az Isidor fajta szilárdító alapszöveteinek átlagos vastagságának következtében szignifikánsan kiemelkedik a vizsgált fajták közül. A sarkos kollenchyma maximális átlagértéke 129,84 μm , míg a szklerenchyma 73,17 μm volt.



12. ábra: Szója fajták szárának átlagos epidermisz és kutikula vastagsága (+SD)

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

Az Advisor és Isidor fajták szárának epidermális felületét borító vékony kutikularéteg átlagos vastagsága szignifikánsan nagyobb volt a vizsgált fajtákhoz viszonyítva, ami megnövekedett szárazságtűrő képességet jelezhet. Az kutikula vastagság minimumát (2,39 µm) a Bólyi 612 fajta esetében tapasztaltuk, ez a vizsgált fajtáknál szignifikánsan alacsonyabb volt, legnagyobb átlagértékét (2,98 µm) a Pannónia kincse fajta mutatta. A vizsgált fajták szárának legkülső sejtsorát alkotó epidermális sejtek vastagsága között szintén szignifikáns különbséget figyeltünk meg. Ebben az esetben a Pannónia kincse fajta rendelkezett legnagyobb átlagértékkel (13,59 µm), ami szignifikánsan meghaladta az Advisor és Bólyi 612 fajták értékeit.



13. ábra: : Szója fajták levelének átlagos elsődleges és másodlagos xilémvastagsága (+SD)
 Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A szójabab szárának másodlagosan vastagodott szöveteinél Helianthus-típusú vastagodást figyeltünk meg. Az interfaszculáris (nyalábközi) kambium által képzett másodlagos szállítónyalábok vastagodása révén az idősödő szárban nő a nyalábok száma, valamint a másodlagos floém,-illetve xylém területe. Az elsődleges xilém esetében a fajták között nem volt kimutatható szignifikáns különbség, legnagyobb átlagértéket az Advisor (186,71 µm), míg legalacsonyabb átlagértékkel az Isidor (171,98 µm) fajtánál figyeltünk meg. A szója másodlagos xilémvastagsága esetében a fajták között szignifikáns különbség tapasztalható, ami alapján az Isidor fajta szignifikánsan kisebb vastagságú másodlagos xilémelemekkel rendelkezik, mint a Bólyi 612 és Pannónia kincse fajták. Megállapítható, hogy legnagyobb értékkel a Bólyi 612 fajta rendelkezik (183,58 µm), legalacsonyabb értékkel pedig az Isidor (132,37 µm).

4.4. Biokémiai és analitikai vizsgálatok eredményei

4.4.1. Szója présrost mikro- és makroelem tartalma

A 3. táblázat adatai alapján megállapítható, hogy a présrost mikro- és makroelem tartalmában a fajták közötti különbségek nem jelentősek. A présrostban vizsgált elemek közül legnagyobb mennyiségben Ca-t sikerült kimutatnunk. Legnagyobb átlagértéket a Bólyi 612 (12295,59 mg/kg), legalacsonyabb átlagértéket az Advisor (9804,57 mg/kg) fajtánál figyeltünk meg.

3. táblázat: Szója fajták présrostjának mikro- és makro elemtartalma az 1. betakarítás során

	ADV	BOL	ISI	PAN
B	27,21 ± 3,34	31,34 ± 1,67	27,77 ± 3,42	27,97 ± 1,07
Ba	13,12 ± 1,50	15,84 ± 2,02	13,19 ± 0,54	13,16 ± 1,07
Ca	9804,57 ± 1111,91	12295,59 ± 957,20	10152,18 ± 371,95	10281,92 ± 945,79
Cu	6,64 ± 0,21	7,20 ± 0,44	6,43 ± 0,25	4,91 ± 0,51
Fe	491,97 ± 229,95	719,35 ± 362,93	622,49 ± 213,89	359,89 ± 112,65
K	7736,91 ± 828,95	6542,01 ± 180,21	6951,15 ± 702,87	6567,96 ± 548,35
Mg	1724,81 ± 205,48	2115,66 ± 165,56	1818,33 ± 103,96	1648,68 ± 246,48
Mn	88,77 ± 21,15	116,95 ± 25,00	93,72 ± 6,52	61,29 ± 12,41
Mo	1,70 ± 0,15	1,15 ± 0,37	1,34 ± 0,36	0,35 ± 0,07
Na	8,29 ± 1,44	9,51 ± 2,21	12,35 ± 4,27	9,96 ± 2,21
P	1846,54 ± 178,07	1930,42 ± 88,45	1598,94 ± 226,97	1780,29 ± 155,73
S	866,96 ± 88,31	923,47 ± 50,14	815,23 ± 96,22	821,88 ± 87,06
Sr	80,60 ± 11,46	99,59 ± 7,75	77,72 ± 9,63	84,68 ± 7,30
Zn	22,85 ± 4,89	22,92 ± 1,15	18,99 ± 2,65	22,57 ± 2,16

Forrás: Saját szerkesztés

Összevetve az első és második betakarítás (4. táblázat) során mért elemtartalom értékeket megállapítható, hogy a második betakarítás során nyert présrost Fe és Zn tartalma minden vizsgált fajta esetében alacsonyabb volt, mint az első betakarításnál. Továbbá megállapítottuk, hogy a második betakarítása során kapott présrost K, Mg, Na, S, Sr tartalma mind a négy vizsgált fajta esetében meghaladta az első betakarításnál mért adatokat.

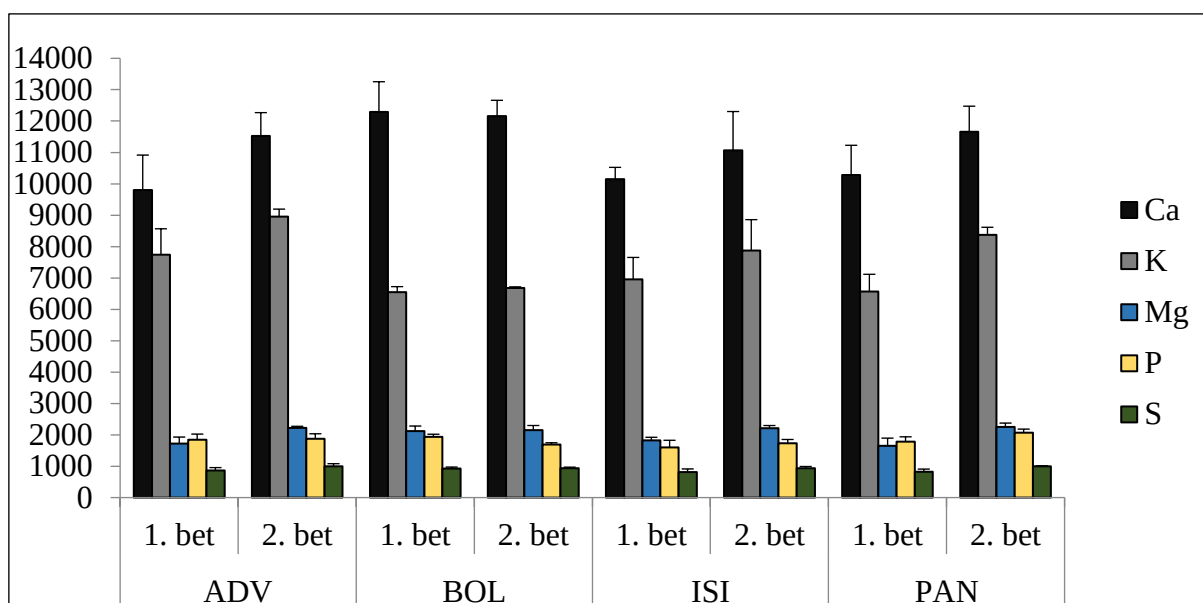
4. táblázat: Szója fajták présrostjának mikro- és makro elemtartalma az 2. betakarítás során

	ADV	BOL	ISI	PAN
B	29,07 ± 1,62	31,07 ± 0,94	31,63 ± 2,63	30,26 ± 0,48
Ba	14,08 ± 0,84	14,31 ± 0,36	13,32 ± 2,18	14,54 ± 0,69
Ca	11520,63 ± 748,08	12161,08 ± 500,45	11070,87 ± 1232,84	11660,09 ± 814,48
Cu	5,93 ± 0,25	5,32 ± 0,18	5,41 ± 0,37	5,26 ± 0,15
Fe	316,14 ± 91,95	236,75 ± 17,76	213,55 ± 68,53	242,86 ± 27,66
K	8957,59 ± 236,72	6680,69 ± 33,74	7873,51 ± 983,66	8371,67 ± 243,80
Mg	2217,03 ± 54,88	2153,96 ± 142,96	2208,35 ± 87,74	2248,13 ± 127,49
Mn	±	±	±	±
n	126,97 ± 3,82	136,80 ± 17,32	135,71 ± 5,32	102,96 ± 9,78
Mo	0,82 ± 0,09	0,32 ± 0,01	0,66 ± 0,28	0,38 ± 0,09
Na	22,56 ± 1,53	22,07 ± 2,80	21,37 ± 6,44	21,46 ± 2,86
P	1871,65 ± 161,58	1688,97 ± 57,59	1727,06 ± 125,11	2069,99 ± 113,54
S	997,85 ± 81,53	933,90 ± 36,08	935,07 ± 55,34	995,96 ± 15,73
Sr	86,46 ± 6,00	94,19 ± 3,89	89,98 ± 5,42	87,57 ± 4,89
Zn	18,36 ± 4,12	14,24 ± 1,46	15,43 ± 1,31	19,56 ± 2,64

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

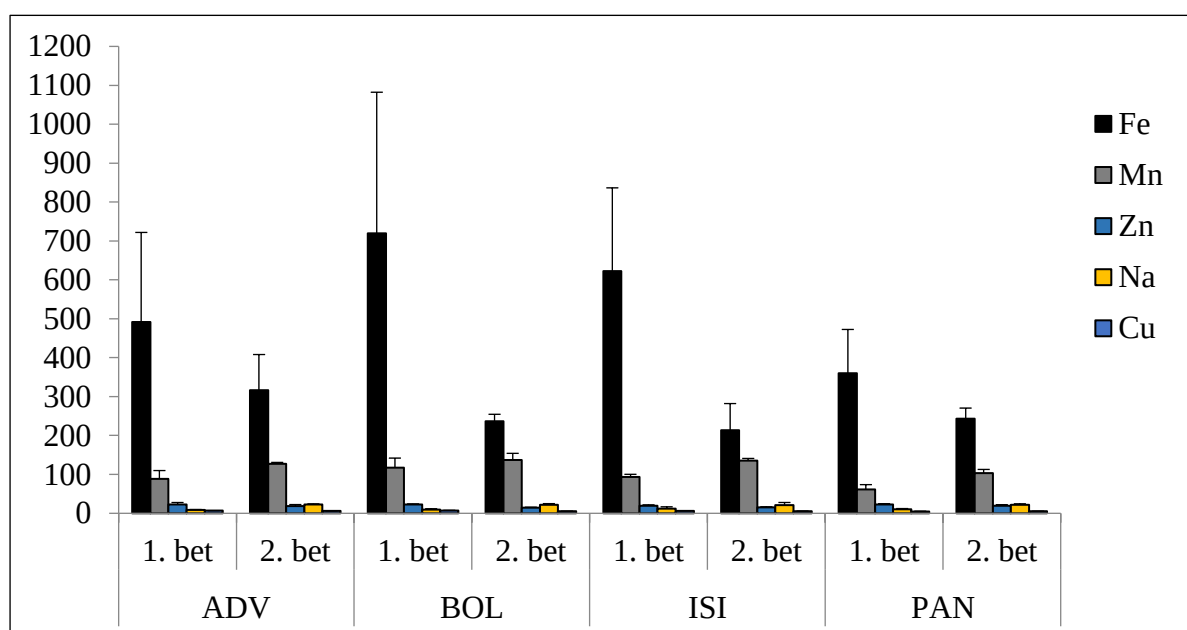
A makroelemek adatait kiemelve megállapítható, hogy az első betakarítás során a K esetében legnagyobb értéket az Advisor (7736,91 mg/kg), legalacsonyabb értéket a Bólyi 612 fajtánál (6542,01 mg/kg) mértünk. A 2. betakarítás során legnagyobb K tartalom szintén az Advisor fajtánál mérhető (8957,59), míg legkisebb értéket a Bólyi 612 (6680,69 mg/kg) esetében tapasztaltuk. Megfigyelhető, hogy a kiemelten fontos makroelemek közül az első betakarítás K, Mg és S tartalma alulmaradt a második betakarítás adataihoz képest (14. ábra).

A mikroelemek közül az első betakarítás során mért Fe tartalom minden fajtánál több volt, mint második betakarításban. Fe tartalom mérés során az első betakarítás esetén legnagyobb értéket a Bólyi 612 (719,35 mg/kg), legalacsonyabb értéket a Pannónia kincse (359,89mg/kg) fajta présrostjában mértük. A Bólyi (116,95 mg/kg) fajta présrostjának Mn tartalma meghaladta a vizsgált fajtákét első betakarítás alkalmával. A fajták első betakarítás során mért Zn tartalma minden esetben meghaladta a második betakarítás eredményeit, legnagyobb érték az első betakarításnál a Bólyi 612 fajtánál (22,92 mg/kg) látható, míg a legkisebbel értékkel az Isidor (18,99 mg/kg) fajta jellemezhető. A présrostban mért Na mennyisége az előzőekkel ellentétben a második betakarítás során volt nagyobb a fajtáknál (15. ábra).



14. ábra: **Présrost makroelem tartalma**

Források: *Saját szerkesztés, 2022*

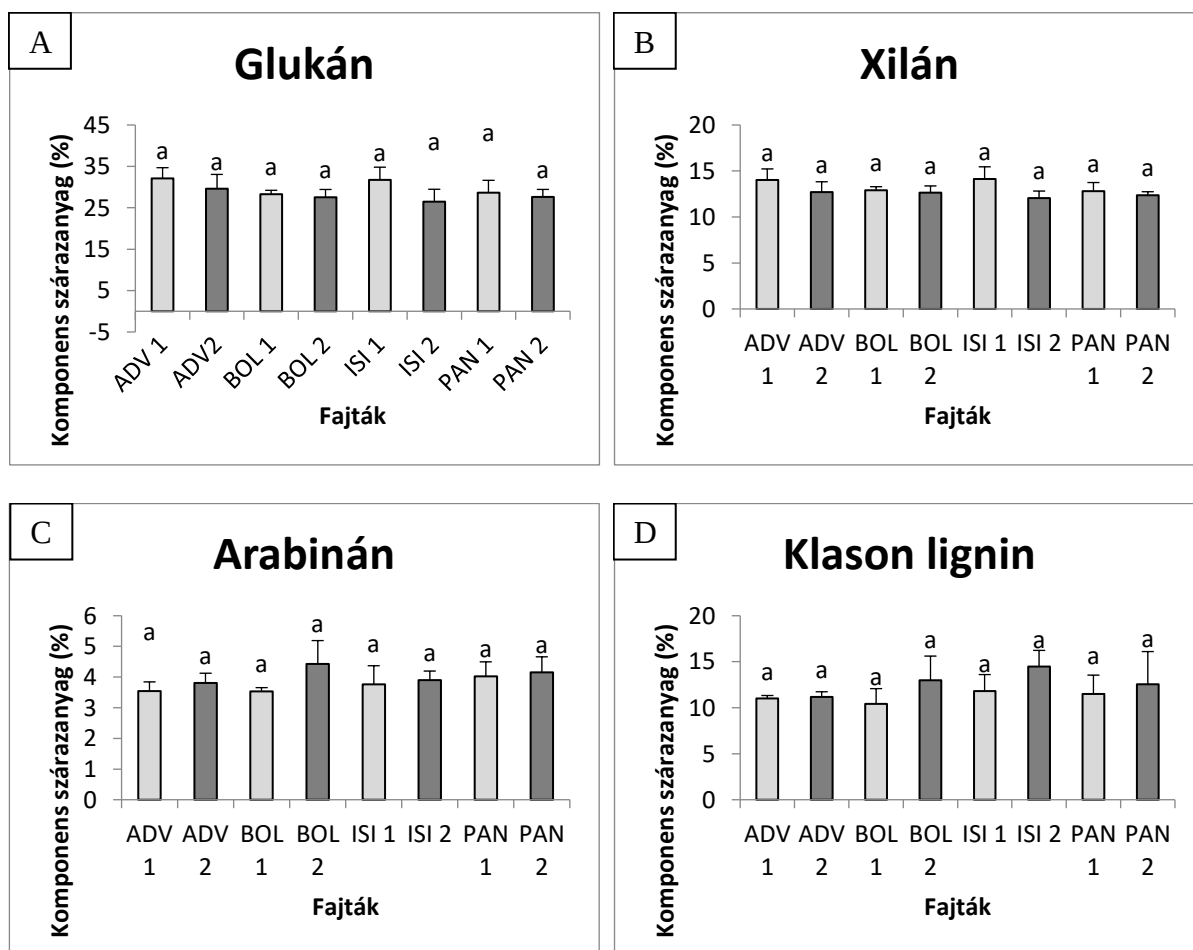


15. ábra: **Présrost mikroelem tartalma**

Forrás: *Saját szerkesztés, 2022*

4.4.2. Szója présrost lignocellulóz komponensei

A szója zöld biomasszájában mért Klason lignin és oldható cukortartalom adatainak értékelését foglalja össze a 16. ábra. A fajták és betakarítási időpontok között nem volt interakció, és a változók egyenkénti vizsgálatát sem mutatott szignifikáns különbséget. Az első betakarítás során mért glukán tartalom minden fajta esetében meghaladta a második betakarítás során mért adatokat. Az első betakarítás során legmagasabb átlagértéket az Advisor (32,01 w/w%), míg legalacsonyabb átlagértéket a Bólyi 612 (28,28 w/w%) esetében mértünk, második betakarítás során szintén az Advisornál mértünk legmagasabb átlagértéket (29,6 w/w%), legalacsonyabb átlagértéket az Isidornaál (26,47 w/w%) sikerült kimutatni.



16. ábra: Szója fajták présrostjának átlagos glukán (A), xilán (B), arabinán (C) és Klason lignin (D) tartalma a betakarítási időpont függvényében (+SD). Az oszlopok feletti betűk a szignifikáns különbséget jelzik ($P < 0,05$).

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A xilán tartalom esetében szintén megállapítható, hogy az első betakarítás során mért értékek minden fajtánál meghaladták a második betakarítás adatait. Első betakarítás legmagasabb xilántartalma az Isidor fajtánál (14,13 w/w%), legalacsonyabb a Pannónia kincse (12,8 w/w%) fajtánál figyelhető meg. Az arabinán tartalom mennyiségét tekintve az első betakarítás során legnagyobb átlagérték a Pannónia kincse esetében tapasztalható (4,03 w/w%), míg legalacsonyabb átlagértéket a Bólyi 612 (3,53 w/w%) esetében tapasztaltuk. Második betakarítás során legnagyobb értéket a Bólyi 612 (4,43 w/w%), legalacsonyabb értéket (3,8 w/w%) az Advisor fajta mutatja.

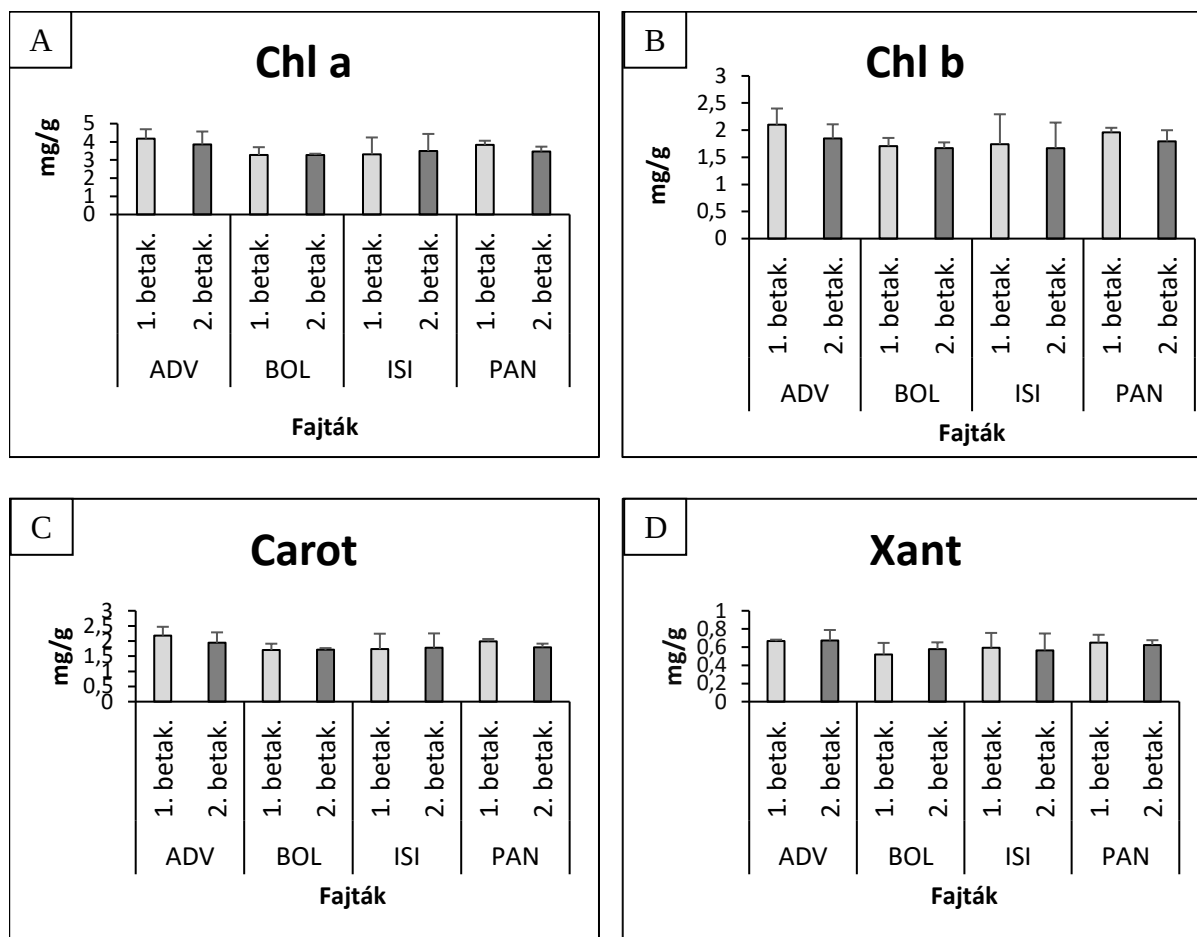
A Klason lignin-tartalom esetében megállapítottuk, hogy a második betakarításnál minden fajta átlagos lignintartalma meghaladta az első betakarítás során mért értékeket, amit GUPTA et al. (1973) és CSATÁRI et al. (2022) eredményei alátámasztanak. Klason lignin esetében mindkét betakarítás során az Isidor fajtánál mértük a legmagasabb átlagértéket (11,82 w/w% és 14,48 w/w%), amely értékeket KOVAČIĆ (2017) mérései is megerősítenek.

4.4.3. Szója présrost fotoszintetikus pigment tartalma

A fajták és betakarítási időpontok között nem volt interakció, illetve szignifikáns különbséget sem mutattunk ki a független változók között. Megállapítható, hogy az első és második betakarítás során nyert présrost frakció legnagyobb chl-a tartalma az Advisor fajta esetében volt mérhető (4,17 mg/g DW és 3,86 mg/g DW), míg legalacsonyabb értéket mindkét betakarítás során a Bólyi 612 (3,28 mg/g DW és 3,27 mg/g DW) fajtánál mértünk (17. ábra). A chl-b tartalom mérése során szintén az Advisor esetében figyelhető meg a legnagyobb átlagérték az első betakarítás során (2,1 mg/g DW), míg legkisebb értéket ismét a Bólyi 612 fajta esetében tapasztaltunk. A második betakarításból származó présrost minták chl-b tartalma az Advisor fajtánál érte el legnagyobb értékét (1,84 mg/g DW), legalacsonyabb értéket az Isidor fajtánál mértünk (1,67 mg/g DW).

A karotinoidok mennyiségével kapcsolatban megállapítható, hogy mindkét betakarítás során az Advisor fajta esetében figyelhető meg a legnagyobb átlagérték (2,2 mg/g DW és 1,94 mg/g DW), illetve a legalacsonyabb érték mindkét betakarításnál a Bólyi 612 fajtánál figyelhető meg (1,7 mg/g DW és 1,72 mg/g DW). A xantofilok esetén ismét mindkét betakarításnál az Advisor fajtánál figyelhető meg a legmagasabb átlagérték (0,67 mg /g DW és 0,67 mg/g DW), míg az

első betakarítás legalacsonyabb átlagértékét a Bólyi 612 fajtánál (0,52 mg/g DW), valamint a második betakarítás során az Isidor (0,56mg/g DW) fajtáknál figyeltük meg (17. ábra).



17. ábra: Szója fajták présrostjának fotoszintetikus pigmenttartalma (A: klorofill a, B: klorofill b, C: karotinoid, D: xantofill) a betakarítási idő függvényében (+SD).

Források: Saját szerkesztés, 2022

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A vizsgálatba bevont szójabab (*Glycine max* L.) fajták vegetatív szerveinek általános szöveti felépítése egy klasszikus kétszikű növény mintáját követi. A fajták közötti összehasonlító szövettani mikroszkópos elemzés során minimális eltérések tapasztalhatók mind a levél, mind a szár esetében. A tapasztalható minimális eltérések a következők voltak: trichómák száma, szilárdító alapszövetek sejtsorai, szállítóyalábok száma.

Számszerűsíthető módon kimutatható eltéréseket sikerült meghatározni az egyes fajták növényanatómiai paramétereit között, amit JUMRANI et al. (2017) eredményei is alátámasztanak. A levéllemez adatainak statisztikai kiértékelését követően a vizsgált 5 paraméterből 4 esetben az *ISIDOR* fajta érte el a legmagasabb átlagértéket, ami alapján optimális értékmérő agrotechnikai tulajdonságokra számíthatunk. A fajták levéllemez vastagságának gyakorlati relevanciája, hogy a teljes levéltömeg-növekedés, a levélterület gyarapodás és a levélvastagodás összegeként definiálható, ezáltal a zöld biomassa célú növénytermesztés egyik meghatározója. A levéllemez vastagság esetében legmagasabb átlagérték az Isidor (173,15 μm), legalacsonyabb átlagérték a Bólyi 612 fajtánál (159,29 μm) figyelhető meg. Eredményeink hasonlóak JULIA et al. (2019) és JUMRANI et al. (2017) által mért eredményekhez.

A szármintákon végzett mérésekben összesen 9 paraméter szerepelt, amelyből 7 esetben szignifikáns különbség volt a fajták között. Az Advisor átlagos szár és sztele átmérője, továbbá a primer cortex vastagságának átlagos maximuma meghaladta a vizsgált fajtákét, aminek gyakorlati relevanciája a termés gazdaságosabb mechanikai betakarításában nyilvánul meg. Legnagyobb szárszilárdságra az Isidornál számíthatunk, mert a szilárdító alapszöveteinek átlagos vastagsága lényegesen nagyobb volt, mint a többi fajta esetében. Az elsődleges xilém esetében nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a fajták között, a legmagasabb átlagot az Advisor esetében (186,71 μm), a legalacsonyabbat az Isidornál (171,98 μm) mértük. A szója másodlagos xilém vastagsága esetén szignifikáns különbség figyelhető meg a fajták között, ez alapján az Isidor fajta másodlagos xilém vastagsága lényegesen kisebb, mint a Bólyi 612 és Pannónia kincse fajtáké.

A szárazságtűrő képesség egyik indikátorának tekinthető kutikulavastagság alapján a Bólyi 612 és a Pannónia kincse fajták teljesítettek jól. A megfelelő kutikula vastagsággal rendelkező fajták

nagyobb termésbiztonsággal rendelkeznek, ugyanis fertőzés során a nem optimális kutikulaszerkezettel rendelkező növények termőképessége jelentősen csökkenhet.

Kutatásunk második részében a szója zöld biomasszájából nedves frakcionálással kapott melléktermék (présrost) lignocellulóz komponenseinek (Klason lignin, glukán, xilán, arabinán) kvantifikálását tűztük ki célul a későbbi felhasználás diverzifikálása céljából, kiegészülve az élettani szempontból fontos paraméterek (mikro-és makroelem, fotoszintetikus pigmentek) meghatározásával.

Szövetteni vizsgálataink alapján legmagasabb Klason lignin tartalomra a szignifikánsan nagyobb szilárdító alapszövetekkel rendelkező Isidor fajtánál számítottunk, amit sejtfalanalitikai méréseink megerősítettek. Mindkét betakarítás során az Isidor fajtánál mértük a legmagasabb átlagértéket (11,82 w/w% és 14,48 w/w%). Élelmezési és takarmányozási aspektusból a magas lignintartalom kedvezőtlenül befolyásolja a sejtekben lévő fitonutriensek feltáródását, azonban növénytermesztési szempontból szignifikánsan hozzájárul a szárszilárdság növeléséhez.

A sejtfal oldható cukorkomponenseinek (xilán, glukán, arabinán) kvantifikálása során a fajták és betakarítási időpontok között nem volt interakció, illetve szignifikáns különbséget sem mutattunk ki a változók között. Az első betakarításkor mért xilán-, és glukántartalom minden fajta esetében meghaladta a második betakarításkor mért adatokat.

MUSURMONOVICH et al. (2022) szerint a szója zöld tömege értékes fotoszintetikus pigmentforrás. Megállapítását méréseinkkel is alátámasztottuk, a présrostban számottevő chl-a, chl-b, karotin és xantofill tartalmat mértünk. A fotoszintetikus pigmenttartalom esetében a fajták és betakarítási időpontok között nem volt interakció, illetve szignifikáns különbséget sem mutattunk ki a változók között. BALIKÓ (2007) elsősorban a szója magjában rejlő mikro-, és makroelem tartalomra hívja fel a figyelmet, azonban méréseink alapján a présrost is értékes forrása ezen beltartalmi értékeknek.

Összességében növényanatómiai eredményeink hozzájárulhatnak a biomassza-célú növénytermesztés során a megfelelő fajtaválasztáshoz. A zöld biomassza nedves frakcionálása során visszamaradó ipari melléktermék beltartalmi értékeire irányuló sejtfalanalitikai vizsgálataink megerősítik a présrost komponenseinek potenciális felhasználását funkcionális élelmiszerekben keresztül humán táplálkozásban, valamint takarmányozásba történő beépítését a cirkuláris ökonómia rendszerén keresztül.

ÖSSZEFOGLALÁS

Fajtaösszehasonlító kutatásunk két részből tevődött össze. Négy, hazai körülmények között termeszthető szójafajtán (Advisor, Bólyi 612, Isidor, Pannónia kincse) végzett növényanatómiai vizsgálataink célja a fajták vegetatív szerveinek összehasonlító értékelése volt, a fajták között számszerűsíthető módon kimutatható eltérések meghatározásával. Az értékmérő növényanatómiai paraméterek ismerete lehetőséget ad, hogy a változó környezeti tényezőkhez optimális szöveti szerkezettel rendelkező fajtákat integráljunk a termesztésbe.

A szója nagy mennyiségben betakarítható zöldtömegének innovatív feldolgozása beilleszthető a cirkuláris ökonómiával összhangba hozható zöld biofinomító rendszerbe. A hagyományos hasznosításától eltérő módon, a zöld biomassza nedves frakcionálásával keletkező ipari melléktermék hasznosítási lehetőségeit vizsgáltuk. A gazdaságossági szempontokat figyelembe véve, rostbiológiai vizsgálatainkba több betakarítási időpontból származó présrost minták szerepeltek (2021. június és szeptember). Sejtfal analitikai vizsgálatokat végeztünk a présrost frakciók Klason lignin, valamint a sejtfalban található cukorkomponensek meghatározására, amelyből megfelelő kezeléssel bioüzemanyag és biodízel nyerhető. A szója présrostban ezentúl jelentős mennyiségű bioaktív vegyületet sikerült kimutatnunk, amelyek közül a fotoszintetikus pigmentek (chl-a, chl-b, karotin, xantofill) táplálkozás-élettani szempontból fontos szerepet töltenek meg.

A jelen kutatásban tanulmányozott, nedves frakcionálás során ipari melléktermékként visszamaradó, gyakran alulértékelt szója présrost perspektívikus tápanyagforrást jelent a növekvő népesség számára. A lignocellulózok energetikai célú hasznosítása lehetőséget biztosít a présrost felhasználás diverzifikálására, a megfelelő feldolgozás hatására előállított bioüzemanyagok képesek mérsékelni a fosszilis energiahordozókra háruló nyomást.

IRODALOMJEGYZÉK

1. ÁBRAHÁM É. B. (2019): Szója. pp. 137-150. In: Alapnövények - Integrált növénytermesztés 2. Mezőgazda Kiadó, Budapest. ISBN: 9789632867410
2. ALERDING, A. B. – WAALKES, R. M. – HILL, E. S. – ROWE, R. A. – PARSONS, G. (2018): Stem Growth during Seed Production in Soybean: Implications for Pod Yield. *Journal of Crop Improvement* Vol. 32. No. 2. pp. 156–74. <https://doi.org/10.1080/15427528.2017.1381866>.
3. ANDA A. – MENYHÁRT L. – SIMON B. (2021): Evapotranspiration and Yield Components of Soybean. *Időjárás* Vol. 125. No. 1. pp. 137–49. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.1.7>.
4. ANDERSON, J. W. – BAIRD, P. – DAVIS, R. H. Jr – FERRERI, S. – KNUDTSON, M. – KORAYM, A. – WATER, V. – WILLIAMS, C. L. (2009): Health Benefits of Dietary Fiber. *Nutrition Reviews* Vol. 67. No. 4. pp. 188–205. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x>
5. ANTAL J. (2005): Növénytermesztéstan 2. Gyökér- és gumós növények, hüvelyesek, olaj- és ipari növények, takarmánynövények. Mezőgazda Kiadó. ISBN: 9789632864402
6. BAKKER, R. – BLAAUW, R. – ZWART, R. – Van Der Drift, B. (2011): Biofuel-Driven Biorefineries for the Co-Production of Transportation Fuels and Added-Value Products. In *Handbook of Biofuels Production*, pp. 559–80. Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857090492.4.559>.
7. BALAGURUMURTHY, B. – SINGH, R. – OHRI, P. – PRAKASH, A. – BHASKAR, T. (2015): Thermochemical Biorefinery. In *Recent Advances in Thermo-Chemical Conversion of Biomass*, 157–74. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63289-0.00006-5>.
8. BALIKÓ S. – BÓDIS L. – KRALOVÁNSZKY U. P. (2007): A szója feldolgozása, felhasználása - Élelmezésre, takarmányozásra. Mezőgazda Kiadó. ISBN: 9789632863412
9. BARROS, J. – SERK, H. – GRANLUND, I. – PESQUET, E. (2015): The Cell Biology of Lignification in Higher Plants. *Annals of Botany* Vol. 115. No. 7. pp. 1053–74. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv046>.
10. BOCZ E. (1996): A hüvelyesek általános jellemzése. pp. 438-448. In *Szántóföldi növénytermesztés*. ANTAL J. – KISMÁNYOKI T. – RAGASITS I. – BOCZ E. – KOVÁCS G. Mezőgazda Kiadó.
11. BÓDIS L. – KRALOVÁNSZKY U. P. (1988): A szója élelmiszer és takarmány, pps. 187., Mezőgazdasági Kiadó, Pécsi Szikra Nyomda, ISBN: 9632326725

12. BOUGHALLEB, F. – ABDELLAOUI, R. – BEN-BRAHIM, N. – NEFFATI, M. (2014): Anatomical Adaptations of *Astragalus Gombiformis* Pomel. under Drought Stress. *Open Life Sciences* Vol. 9. No. 12. pp. 1215–25. <https://doi.org/10.2478/s11535-014-0353-7>.
13. BUTLER, T. J. – CELEN, A. E. – WEBB, S. L. – KRSTIC, D. – INTERRANTE, S. M. (2014): Temperature Affects the Germination of Forage Legume Seeds. *Crop Science* Vol. 54. No. 6. pp. 2846–53. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.01.0063>.
14. CARTTER, J. L. – HARTWIG, E. E. 1(962): The Management Of Soybeans. In *Advances in Agronomy*, 14:359–412. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60442-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60442-3).
15. CHAWLA, R. – PATIL G.R. (2010): Soluble Dietary Fiber. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* Vol. 9. No. 2. pp. 178–96. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00099.x>.
16. CHIANG, H.-S. – NORRIS, D. M. (1983): PHYSIOLOGICAL AND ANATOMICAL STEM PARAMETERS OF SOYBEAN RESISTANCE TO AGROMYZID BEANFLIES. *Entomologia Experimentalis et Applicata* Vol. 33. No. 2. pp. 203–12. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1983.tb03257.x>.
17. CHO, K. M. (2013): Soluble Phenolics and Antioxidant Properties of Soybean (*Glycine Max* L.) Cultivars with Varying Seed Coat Colours. *JOURNAL OF FUNCTIONAL FOODS*, 12.
18. COLLETTI, A. C. – DELGADO, F. J – CABEZAS M. D. – WAGNER, J. R. – PORFIRI C. M. (2020): Soybean Hull Insoluble Polysaccharides: Improvements of Its Physicochemical Properties Through High Pressure Homogenization. *Food Biophysics* Vol. 15. No. 2. pp. 173–87. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-09613-y>.
19. COSGROVE, D. J. (1997): Assembly and enlargement of the primary cell wall in plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* Vol. 13. No. 1. pp. 171–201. <https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.13.1.171>.
20. CSATÁRI G. – EGED B. J. – FEHÉR CS. – FÁRI M. G. – KOVÁCS SZ. (2022): Investigation of Content Parameters in Wet-Fractionated Fibre from Various Plants for Potential Use in Human Nutrition. *Foods* Vol. 11. No. 19. pp. 3038. <https://doi.org/10.3390/foods11193038>.
21. DUMA, M. – ALSINA, I. – ZEIPINA, S. – LEPSE, L. – DUBOVA, L. (2014): Leaf vegetables as source of phytochemicals. pp. 262–265. In: 9th Baltic Conference on Food Science and Technology “Food for Consumer Well-Being” <https://doi.org/10.13140/2.1.5172.1605>.

22. JAMES, E. – CHARANJIT, S. (2011): Soybean Yield Formation: What Controls It and How It Can Be Improved. In Soybean Physiology and Biochemistry, szerkesztette Hany El-Shemy. InTech. <https://doi.org/10.5772/17596>.
23. FÁRI M. G. – POPP J. (2016): Biotechnológia anno 1920-1938 és ma, Ereky Károly Biotechnológiai Alapítvány, Debrecen, pp. 117-128. ISBN: 978-615-5224-67-6
24. GUPTA, B. S. – JOHNSON, D. E. – HINDS, F. C. – MINOR, H. C. (1973): Forage Potential of Soybean Straw. Agronomy Journal Vol. 65. No. 4. pp. 538–41.
25. HOU, A. – CHEN, P. – SHI, A. – ZHANG, B. – WANG, Y.-J. (2009): Sugar Variation in Soybean Seed Assessed with a Rapid Extraction and Quantification Method. International Journal of Agronomy: 1–8. <https://doi.org/10.1155/2009/484571>.
26. HUSSAIN, S. – LIU, T. – IQBAL, N. – BRESTIC, M. – PANG, T. – MUMTAZ, M. – SHAFIQ, I. (2020): Effects of Lignin, Cellulose, Hemicellulose, Sucrose and Monosaccharide Carbohydrates on Soybean Physical Stem Strength and Yield in Intercropping. Photochemical & Photobiological Sciences Vol. 19. No. 4. pp. 462–72. <https://doi.org/10.1039/C9PP00369J>.
27. HUTH, P. J. – FULGONI, V. L. – LARSON, B. T. (2015): A Systematic Review of High-Oleic Vegetable Oil Substitutions for Other Fats and Oils on Cardiovascular Disease Risk Factors: Implications for Novel High-Oleic Soybean Oils. Advances in Nutrition Vol. 6. No. 6. pp. 674–93. <https://doi.org/10.3945/an.115.008979>.
28. JAMES, E. – CHARANJIT, S. (2011): Soybean Yield Formation: What Controls It and How It Can Be Improved. In Soybean Physiology and Biochemistry, szerkesztette Hany El-Shemy. InTech. <https://doi.org/10.5772/17596>.
29. JONES, J. W. – BOOTE, K. J. – JAGTAP, S. S. – MISHOE, J. W. (2015): Soybean Development. In Agronomy Monographs, szerkesztette John Hanks és J. T. Ritchie, 71–90. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr31.c5>.
30. JULIA, N. – ZUBAIDAH, S. – KUSWANTORO, H. (2019): Morphological and Anatomical Characteristics of Leaves of Ten Soybean (Glycine Max L. Merrill) Lines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 276 (június): 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/276/1/012027>.
31. KAMM, B. – KAMM, M. (2007): International Biorefinery Systems. Pure and Applied Chemistry Vol. 79. No. 11. pp. 1983–97. <https://doi.org/10.1351/pac200779111983>.

32. KIM, G.-P. – LEE, J. – AHN, K.-G. – HWANG, Y.-S. – CHOI, Y. – CHUN, J. – CHANG, W.-S. – CHUNG, M.-G. (2014): Differential Responses of B Vitamins in Black Soybean Seeds. *Food Chemistry* 153 (június): 101–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.047>.
33. KOVAČIĆ, Đ. (2017): Soybean Straw, Corn Stover and Sunflower Stalk as Possible Substrates for Biogas Production in Croatia: A Review. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly* Vol. 31. No. 3. pp. 187–98. <https://doi.org/10.15255/CABEQ.2016.985>
34. KSH (2021): 19.1.2.13. A szójabab termelése megye és régió szerint https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0080.html, letöltés dátuma: 2022.06.16.
35. KURNIK E. (1970): Étkezési és abraktermény-hüvelyesek termesztése. Akadémiai Kiadó, Budapest. 499 p.
36. LERSTEN, N. R. – CARLSON, J. B. (2016): Vegetative Morphology. In *Agronomy Monographs*, szerkesztette Richard M. Shibles, James E. Harper, Richard F. Wilson, és Randy C. Shoemaker, 15–57. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr16.3ed.c2>.
37. LIU, W. – DENG, Y. – HUSSAIN, S. – ZOU, J. – YUAN, J. – LUO, L. – YANG, C. – YUAN, X. – YANG, W. (2016): Relationship between Cellulose Accumulation and Lodging Resistance in the Stem of Relay Intercropped Soybean [*Glycine Max* (L.) Merr.]. *Field Crops Research* 196 (szeptember): 261–67. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.008>.
38. LIU, W. – HUSSAIN, S. – LIU, T. – ZOU, J. – REN, M. – ZHOU, T. – LIU, J. – YANG, F. – YANG, F. – YANG, W. (2019): Shade Stress Decreases Stem Strength of Soybean through Restraining Lignin Biosynthesis. *Journal of Integrative Agriculture* Vol. 18. No. 1. pp. 43–53. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61905-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61905-7).
39. LUGG, D. G. – SINCLAIR T. R. (1980): Seasonal Changes in Morphology and Anatomy of Field-grown Soybean Leaves. *Crop Science* Vol. 20. No. 2. pp. 191–96. <https://doi.org/10.2135/cropsci1980.0011183X002000020011x>.
40. MAKBUL, S. – GÜLER, N. S. – DURMUS, N. – GÜVEN, S. (2022): Changes in Anatomical and Physiological Parameters of Soybean under Drought Stress, 9.
41. MANGENA, P. (2018): Water Stress: Morphological and Anatomical Changes in Soybean (*Glycine Max* L.) Plants. In *Plant, Abiotic Stress and Responses to Climate Change*, szerkesztette Violeta Andjelkovic. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72899>.

42. MAO, F. – NAN, G. – CAO, M. – GAO, Y. – GUO, L. – MENG, X. – YANG, M. (2018): The Metal Distribution and the Change of Physiological and Biochemical Process in Soybean and Mung Bean Plants under Heavy Metal Stress. *International Journal of Phytoremediation* Vol. 20. No. 11. pp. 1113–20. <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1365346>.
43. MARTELLI-TOSI, M. (2017): Chemical Treatment and Characterization of Soybean Straw and Soybean Protein Isolate/Straw Composite Films. *Carbohydrate Polymers*, 9.
44. MUDGIL, D. – BARAK, S. (2019): Classification, Technological Properties, and Sustainable Sources. In *Dietary Fiber: Properties, Recovery, and Applications*, 27–58. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816495-2.00002-2>.
45. MUSURMONOVICH, F. S. – XANDALOVA, S. K. (2022): Some Photosynthetic Indicators of Soybean Varieties. Vol. 5. No. 2770. pp. 3.
46. NAGY N. E. – PEPÓ P. (2019): Comparative Study of Different Soybean Genotypes in Irrigation Technology. *Acta Agraria Debreceniensis*, sz. 1 (május): 91–95. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/2377>.
47. O'KEEFE, S. – BIANCHI, L. – SHARMAN, J. (2015): Soybean Nutrition. *SM J Nutr Metab*. Vol. 1. No. 2. pp. 1006
48. RAMBO, M.K.D. – SCHMIDT, F.L. – FERREIRA, M.M.C. (2015): Analysis of the Lignocellulosic Components of Biomass Residues for Biorefinery Opportunities. *Talanta* 144 (november): 696–703. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.06.045>.
49. SHARKEY, T. D. (2015): The Relationship between Leaf Area Growth and Biomass Accumulation in *Arabidopsis Thaliana*. *Frontiers in Plant Science* 6: 21.
50. SINGH, B. B. (2006): Success of Soybean in India: The Early Challenges and Pioneer Promoters, 7.
51. SLAVIN, J. (2013): Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. *Nutrients* Vol. 5. No. 4. pp. 1417–35. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>.
52. SLUITER, A. – HAMES, B. – RUIZ, R. – SCARLATA, C. – SLUITER, J. – TEMPLETON, D. – CROCKER, D. (2208): Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass: Laboratory Analytical Procedure (LAP). Technical Report; US Department of Energy: Washington, DC, USA, Vol. 16.
53. SUN, C.– YANG, Y. – JIA, L. – LIU, X. – XU, H. – LY, H. – HUANG, Z. – ZHANG, D. (2021): QTL Mapping of the Genetic Basis of Stem Diameter in Soybean. *Planta* Vol. 253. No. 5. pp. 109. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03628-x>.

54. TAKKELLAPATI, S. – Li, T. – GONZALEZ, M. A. (2018.): An Overview of Biorefinery-Derived Platform Chemicals from a Cellulose and Hemicellulose Biorefinery. *Clean Technologies and Environmental Policy* Vol. 20. No. 7. pp. 1615–30. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1568-5>.
55. TURCSÁNYI G. (2000): Mezőgazdasági növénytan pp. 51-173, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. ISB: 9633562279
56. VAN, R. – SANDERS, J. JONES, J. W. – BOOTE, K. J. – JAGTAP, S. S. – MISHOE, J. W. (2015): Soybean Development. In *Agronomy Monographs*, szerkesztette John Hanks és J. T. Ritchie, 71–90. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr31.c5>.
57. VARGA J. (1996): Szója. pp. 474-490. In *Szántóföldi növénytermesztés*. ANTAL J. – KISMÁNYOKI T. – RAGASITS I. – BOCZ E. – KOVÁCS G. Mezőgazda Kiadó.
58. WALTER, R. F. (1980): Soybean, Iowa State University Ames, pp. 589-595.
59. WERYSZKO-CHMIELEWSKA, E. – CHWIL, M. (2005): Lead-Induced Histological and Ultrastructural Changes in the Leaves of Soybean (*Glycine Max* (L.) Merr.). *Soil Science and Plant Nutrition* Vol. 51. No. 2. pp. 203–12. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00024.x>.
60. WU, Y. – GONG, W. – YANG, W. (2017): Shade Inhibits Leaf Size by Controlling Cell Proliferation and Enlargement in Soybean. *Scientific Reports* Vol. 7. No. 1. pp. 9259. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10026-5>.

TÁBLÁZATOK, ÁBRÁK JEGYZÉKE

Ábrák

1. ábra: A zöld biofinomítás egyes meléktermékeinek bekapcsolódása a körforgásos gazdálkodásba.....	17
2. ábra: A minták konzerválása	19
3. ábra: A metszetek derítése	20
4. ábra: A Klason-lignin kinyerés folyamatábrája.....	21
5. ábra: Szójaajták szárának szövettani összehasonlítása.....	25
6. ábra: Szójaajták levelének szövettani összehasonlítása	27
7. ábra: Szójaajták levelének átlagos alsó és felső epidermisz vastagsága (+SD).....	28
8. ábra: Szójaajták levéllemezőnek átlagos vastagsága (+SD).....	29
9. ábra: Szójaajták levelének átlagos mezofillum vastagsága (+SD).....	30
10. ábra: Szójaajták levéllemezőnek átlagos kutikulavastagsága (+SD)	30
11. ábra: Szójaajták szilárdító alapszöveinek átlagos vastagsága	32
12. ábra: Szójaajták szárának átlagos epidermisz és kutikula vastagsága (+SD).....	33
13. ábra: Szójaajták levelének átlagos elsődleges és másodlagos xilémvastagsága	34
14. ábra: Présrost makroelem tartalma	37
15. ábra: Présrost mikroelem tartalma	37
16. ábra: Szójaajták présrostjának átlagos glukán (A), xilán (B), arabinán (C) és Klason lignin (D) tartalma a betakarítási időpont függvényében (+SD). Az oszlopok feletti betűk a szignifikáns különbséget jelzik ($P < 0,05$).	38
17. ábra: Szójaajták présrostjának fotoszintetikus pigmenttartalma (A: klorofill a, B: klorofill b, C: karotinoid, D: xantofill) a betakarítási idő függvényében (+SD).	40

Táblázatok

1. táblázat: A vizsgálatba bevont fajták összehasonlítása.....	19
2. táblázat: Szójaajták szárának elsődleges értékmérő paraméterei(+SD).....	31
3. táblázat: Szójaajták présrostjának mikro- és makro elemtartalma (1. betakarítás)	35
4. táblázat: Szójaajták présrostjának mikro- és makro elemtartalma (2. betakarítás).....	36