

DIPLOMADOLGOZAT

Kővári-Szamák Dalma

2024.



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Élelmiszermérnök mesterképzési szak

BÉKALENCSE TÁPLÁLKOZÁSBIOLÓGIAI VIZSGÁLATA

Konzulens:

Dr. Mednyánszky Zsuzsanna

tanszékvezető egyetemi docens

Konzulens tanszéke:

Táplálkozástudományi Tanszék

Készítette:

Kővári-Szamák Dalma

Budapest

2024.

Tartalom

1. Bevezetés, célkitűzés	3
2. Szakirodalmi áttekintés	4
2.1. Szójabab	8
2.1.1. Rendszertan és biológiai jellemzés	8
2.1.2. Beltartalmi jellemzés	9
2.1.3. A szója élelmiszeripari felhasználása	11
2.2. Csillagfürt	12
2.2.1. Rendszertan és biológiai jellemzés	12
2.2.2. Beltartalmi jellemzés	13
2.2.3. A csillagfürt élelmiszeripari felhasználása	15
2.3. Akvakultúra eredetű fehérjeforrás	15
2.4. Békalencse	16
2.4.1. Rendszertan és biológiai jellemzés	16
2.4.2. Békalencsével foglalkozó nemzetközi kutatások	18
2.4.3. Békalencse alkalmazási területei	18
2.4.3.1. Fitoremediáció	18
2.4.3.2. Fitotoxicitási vizsgálatok	19
2.4.3.3. Biopolimerek, fehérjék és vakcinák előállítása	20
2.4.3.4. Bioetanol előállítás	20
2.4.3.5. Takarmány	21
2.4.3.6. Hagyományos növényi gyógyszer	21
2.4.3.7. Élelmiszer	22
2.4.4. Jogszabályi környezet	24
2.4.4.1. Thaiföld	24
2.4.4.2. USA	24
2.4.4.3. Izrael	25
2.4.4.4. EU	25
2.4.5. Lemna minor beltartalmi jellemzés	26
2.4.5.1. Fehérje- és aminosav tartalom	27
2.4.5.2. Szénhidrát tartalom	29
2.4.5.2. Ásványi-anyag tartalom	30
2.4.5.2. Zsír-sav összetétel	30
2.4.5.3. Antioxidáns összetétel	31
3. Anyagok és módszerek	34

3.1. Felhasznált anyagok.....	34
3.2. Nyersfehérje tartalom meghatározása Kjeldahl módszerrel.....	34
3.3. Aminosavtartalom meghatározása kromatográfiával	35
3.4. Összes polifenol tartalom meghatározás	36
3.5. Antioxidáns kapacitás mérése FRAP módszerrel.....	38
4. Kísérleti eredmények és értékelésük.....	40
4.1. Fehérjetartalom.....	40
4.2. Aminosavtartalom meghatározása kromatográfiával	41
4.2.1. Esszenciális és limitáló aminosav-tartalom	43
4.2.2. Emészthetőség.....	46
4.2.3. PDCAAS.....	47
4.2.4. Fehérjeminősítés	48
4.2.5. Békalencse kontra rovarfehérje	49
4.3. Összes polifenol és antioxidáns kapacitás meghatározás.....	51
5. Következtetések és javaslatok	54
6. Összefoglalás	57
7. Irodalomjegyzék	60
8. Internetes források.....	66
9. Táblázatok és ábrák jegyzéke	67

1. Bevezetés, célkitűzés

A mezőgazdasági- és élelmiszertermelés rendkívül nagy környezeti terhelést jelent a Földnek. A termelés növelése azonban elkerülhetetlen, tekintve a népességszám növekedésének jelenlegi ütemét. A népesség növekedésével párhuzamosan jelentkező fehérjeszükséglet növekedés optimális kielégítéséhez megfelelő alternatív fehérjeforrásokra lenne szükség. Munkám során arra kerestem a választ, hogy a kisebb ökológiai lábnyommal rendelkező akvakultúras növénytermesztés kiválthatja-e valamilyen mértékben a szántóföldi növénytermesztést, vagy akár az állattenyésztést; hogy egy akvakultúra eredetű növényi fehérjével pótolható-e akár az állati fehérje a humán táplálkozásban. Ehhez a békalencse, mint akvakultúrában termesztendő, kiemelkedően pozitív táplálkozás biológiai tulajdonságokkal rendelkező alternatív fehérjeforrás tanulmányozását választottam, olyan növényi nyersanyagokkal összehasonlítva (szója, édes csillagfűrt), amelyek aminosav összetételük alapján a húsfehérjék pótlására, illetve egyéb növényi fehérjék komplettálására is alkalmasak lehetnek. A békalencseformák közül pedig a *Lemna* minort választottam, egyrészt mert hazánkban is természetes módon előfordul, másrészt pedig a vonatkozó szakirodalmi adatok alapján ennél a fajnál kiemelkedő fehérjehozam érhető el. Dolgozatom további részében békalencse alatt a *Lemna* minort értem.

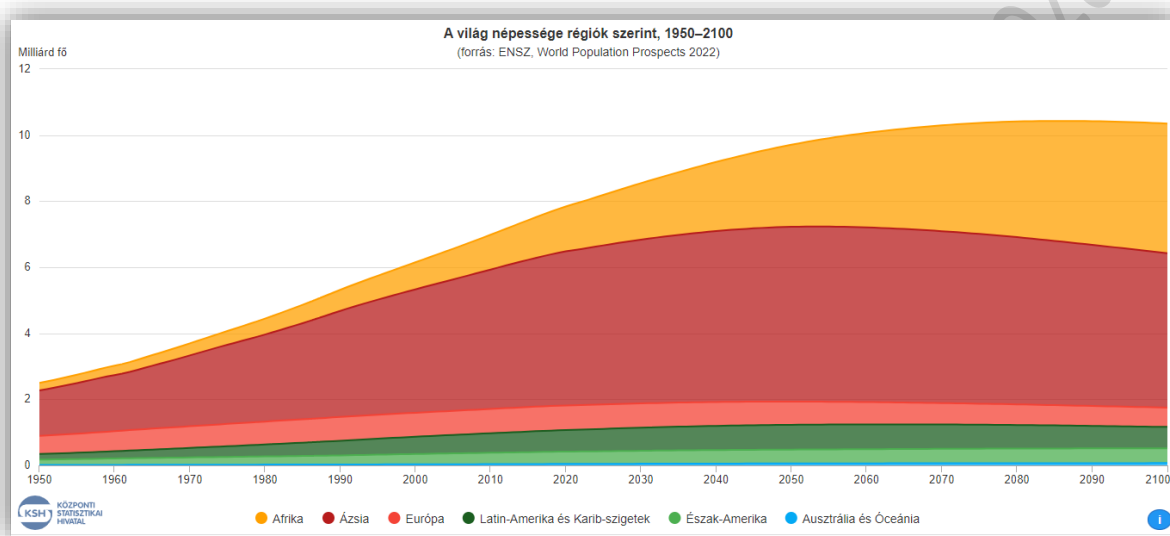
Dolgozatom első részében áttekintem a szója, a csillagfűrt és a békalencse növények jelenlegi helyzetét a mezőgazdaságban és az élelmiszeriparban, bemutatom általános összetételi jellemzőiket, majd a fellelhető szakirodalmak alapján megpróbálok teljes képet adni a békalencse széleskörű felhasználási lehetőségeiről, valamint beltartalmi jellemzőiről.

A második részben a minták laboratóriumi vizsgálata alapján értékelem a növényeket, mint alternatív élelmiszerforrásokat. Az értékelésre a következő módszereket választottam: elsőként meghatározom és összehasonlítom a minták nyersfehérje tartalmát. Ezután az összes aminosav tartalmat határozom meg, majd összehasonlítom a vizsgálati minták és a FAO/WHO referencia fehérje értékeit. A minták fehérjetartalmán és aminosav összetételén kívül megvizsgálom mindhárom alternatív fehérjeforrás összes polifenol tartalmát, valamint antioxidáns kapacitását. A fenti vizsgálatokkal táplálkozásbiológiai szempontból értékelem a békalencsét, mint alternatív fehérjeforrást.

2. Szakirodalmi áttekintés

Még soha nem élt egy időben ennyi ember a Földön, 2023 elején már átléptük a 8 milliárdot. Bolygónk népessége ma már több, mint két és félszerese az 1960-as értéknek – akkor még csak 3 milliárdan voltunk, egyes előrejelzések szerint 2058-ra pedig már több, mint 10 milliárdan leszünk (1. ábra).

1. ábra: A Föld népességének várható alakulása (Forrás: <http1>)



A népességyarapodás egyenes következménye az élelmiszer kereslet megnövekedése: egyre több állati és növényi eredetű élelmiszerre van és lesz szükségünk, ráadásul az állati eredetű élelmiszerek iránti kereslet növekedése is tovább generálja a növényi eredetű takarmányok iránti szükségleteket. A Föld növekvő népessége, a gazdaság, a jövedelmek folyamatos növekedése egyre nagyobb keresletet támaszt a természeti erőforrások, az élelmiszerek és az energia iránt. Az élelmiszer-kereslet előreláthatólag 60% - kal fog nőni 2050 - ig, az étrend pedig fokozatosan a hús- és tejtermék fogyasztás irányába tolódik: egyre többen engedhetik meg maguknak, hogy magas hozzáadott értékű élelmiszert, például húst és tejterméket vásároljanak és fogyasszanak: a húsfogyasztás jelenleg kétszer nagyobb ütemben nő, mint a népesség (Popp et al., 2018a).

Az állati eredetű élelmiszerek iránti növekvő kereslettel együtt a földhasználat is változik, a hús- és tejtermékek fogyasztásának növekedése egyre több takarmányt is igényel. A világ számos térségében egyre élesebb verseny folyik a rendelkezésre álló vízforrások

hasznosításáért a mezőgazdaság és az ipar, valamint a háztartások között. A mezőgazdaság 70%-os részesedésével jelenleg a legnagyobb vízfogyasztó.

A környezet védelme érdekében változtatnunk kell az élelmiszerfogyasztási szokásainkon, így például indokolt csökkenteni a hagyományos állati fehérjék fogyasztását, javasolt ezek kiváltása alternatív fehérjeforrásokkal. Ilyen alternatív fehérjehordozó alapanyagok lehetnek (élelmiszerként és takarmányként egyaránt használva) az olajnövények, a hüvelyes növények, a levélfehérje, az akvakultúra eredetű fehérjeforrás és a rovarfehérje (1. táblázat).

1. táblázat: Fehérjehordozó élelmiszer- és takarmány-alapanyagok az EU-ban (Forrás: Popp et al., 2016)

MEGNEVEZÉS	Fehérjeforrás
OLAJOS MAGOK	szójadara, napraforgó- és repcedara
HÜVELYES MAGOK	borsó, lóbab, csillagfűrt, csicszeriborsó
SZÁLAS TAKARMÁNYNÖVÉNY	lucerna
LEVÉLFEHÉRJE	fű, cukorrépalevél
AKVAKULTÚRA EREDETŰ FEHÉRJEFORRÁS	mikro- és makroalga, békalencse
GABONÁK	zab és quinoa koncentrátumok
ROVARFEHÉRJÉK	közönséges lisztbogár, házi légy, fekete katonalégy

A fehérjeforrásokat sok szempont szerint hasonlíthatjuk össze, így például táplálóanyag összetételük (2. táblázat), emészthetőségük vagy akár fehérjehozamuk (3. táblázat) alapján. A minimális elvárás velük szemben, hogy hektáronként legalább egy tonna fehérjehozamot érjenek el a fehérje legalább 80% - os emészthetősége mellett. További kritérium lehet még a szénlábnyom, a földhasználat változása és a növekvő nitrogén-műtrágyázás hatása is (Popp et al., 2016).

2. táblázat: Hüvelyesek magjának átlagos táplálóanyag-összetétele % - ban (Forrás: Zsombik, 2018)

Növény	Fehérje	Zsír	Nitrogénmentes kivonható anyag	Nyersrost	Hamu
Takarmányborsó	22,4	3,0	52,6	6,4	2,4
Bab	23,1	2,8	50,0	3,8	3,2
Lencse	23,8	2,1	53,9	4,9	2,8
Lóbab	25,0	1,6	46,7	9,4	3,5
Szójabab	33,0	18,0	30,0	4,2	5,1
Fehér csillagfürt	34,2	8,1	40,0	14,2	3,5
Kék csillagfürt	34,7	6,2	41,5	14,2	3,4
Sárga csillagfürt	44,3	5,0	29,9	16,7	4,1
Közönséges bükköny	25,8	1,6	63,9	4,8	3,9
Szegletes lednek	26,9	-	65,5	4,9	2,5
Csicseriborsó	25,6	6,2	58,9	4,9	4,2
Extrahált szójadara	45,8	2,9	30,8	4,9	6,0

3. táblázat: Fehérjehordozó takarmányok termés- és fehérjehozama hektáronként (Forrás: Popp et al., 2016)

	Fehérjetartalom (%)	Hozam az EU-ban (sz.a./ha/év/t)	Fehérjehozam (t)
Búza (referencia)	11	10	1,1
Olajos mag – szója	40	1,5-3	0,6-1,2
Olajos mag – repce	25	3	0,75
Olajos mag – napraforgó	23	3	0,7
Hüvelyes mag (borsó, lóbab, csillagfürt)	17-35	4-6	1-2
Szálas takarmánynövény (lucerna)	19	13	2,5
Levelek (fű)	12	10-15	1,2-2
Levelek (cukorrépa levél)	12	4,5	0,5
Gabona (zab)	12-15	3-5	0,4-0,75
Pszeudogabona (quinoa)	12-18	3	0,4-0,5
Makroalga (sz.a.-ban)	10-30	25	2,5-7,5
Mikroalga (sz.a.-ban)	25-50	15-30	4-15
Békalencse (sz.a.-ban)	35-45	30-40	3-14

Ma az egyik legfontosabb, legolcsóbb és legnagyobb hozammal rendelkező fehérjeforrás a szója, amelyre állati takarmányként és alternatív humán fehérjeforrásként egyaránt tekinthetünk. Élelmiszeripari és takarmányként való használata azonban széles körben vitatott, mivel egyrészt nehéz garantálni a GMO mentességét, másrészt az emberi szervezetben allergiás reakciót válthat ki, az EU-ban kötelezően jelölendő 14 allergén egyike.

Alternatív fehérjeforrásként tekinthetünk a szóján kívül még a csillagfürtre is, amely számos pozitív hatással rendelkezik: a talajjal szemben igénytelen növény, nitrogénygyűjtő képessége a legmagasabb a hüvelyes növények között, valamint mind a zöldnövény, mind a mag sokoldalúan felhasználható. Ezen kívül biológiai értéke is nagy, fehérjedús takarmány, mélyreható gyökérzetével a talaj mélyebb rétegeiben lévő tápanyagokat a felszínre hozza; nagy mennyiségű gyökér- és talómaradványaival a talajok tápanyag és szervesanyag tartalmát gazdagítja; a növényi sorrendbe jól beilleszthető, kiváló elővetemény és másodnövényként is termesztendő. Azonban ez a növény is allergiás reakciót válthat ki az arra érzékenyeknél, és szintén szerepel az EU-ban kötelezően jelölendő 14 allergén listáján.

További alternatíva lehet a rovarokból és lárvákból történő fehérje előállítás is. Viszonylag kis területen, nagyrészt szerves hulladék felhasználásával nagy mennyiségű, kiváló biológiai értékű fehérje állítható elő belőlük, így megfelelnek a fenntartható fejlődés által támasztott igényeknek. Alkalmazásuk jelenleg az Európai Unióban szigorúan szabályozott, a világ más országaiban azonban általánosan elterjedtek. Általánosságban elmondható, hogy 1 kg rovar biomassza előállításához mindössze 2 kg takarmány biomassza szükséges. Míg a szója évi hektáronkénti átlag 2,5 tonna terméshozam mellett alig 1 tonna proteint termel (90% szárazanyag-tömeg és 40% nyersfehérje), a légy lárvája hektáronként évi (petéből 8-10 nap alatt kel ki a lárvája, hozama 25 t/ha) 1000 tonna összhozam elérésével 150 tonna proteint termel (25% szárazanyag-tömeg és 60% fehérje kalkulálásával). Mindez a földhasználat közel 150-szeres csökkentését is jelentheti. Az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (European Food Safety Authority: EFSA) 2021 elején emberi fogyasztásra alkalmasnak minősítette a közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*) lárvájából készített élelmiszereket. Az EFSA szerint a rovarlárvaiból származó készítmények meghatározott tenyésztési és elkészítési feltételek mellett biztonságosak és egészségesek. A lisztbogár lárvája egészben vagy por formájában emberi fogyasztásra alkalmas. (Gódor - Kacsándi et al., 2023). További fajok is engedélyezésre kerültek 2023-ban az EU-ban: a sáska, az alombogár lárvája és a házi tücsök. A rovarfehérjék fogyasztása azonban jelenleg még társadalmilag nem elfogadott, így nem is terjedt el széleskörű élelmiszeripari alkalmazásuk, valamint az arra érzékenyeknél szintén allergiás reakciót válthat ki a fogyasztásuk.

Az akvakultúra eredetű fehérjeforrások, nevezetesen a békalencse fajok optimális megoldást jelenthetnek az állati eredetű fehérjék, továbbá a szója és a csillagfürt kiváltására egyaránt: nagy terméshozammal termesztethetők (3 - 14 tonna/év termesztési körülményektől függően), nem igényelnek további termőföldet, mindemellett optimális beltartalmi értékekkel rendelkeznek

az emberi szervezet számára, és nem utolsósorban nem allergizálnak – jelen ismereteink alapján.

A növényi fehérjék előmozdítása az állati fehérjével szemben az emberi egészségre is jótékony hatással lehet, például a 2 – es típusú cukorbetegség megelőzésében, ami a megnövekedett rostbevitelnek, a növényekben található polifenoloknak vagy a növényi fehérjéknek a glükóz anyagcserére gyakorolt hatására vezethető vissza. A békalencse magas fehérjetartalma és környezetbarát termelési tulajdonságai miatt ígéretes fehérjeforrást jelenthetne az emberi élelmiszerekben (Myrthe et al., 2019).

2.1. Szójabab

2. ábra: Szójabab (Forrás: wikimedia)



2.1.1. Rendszertan és biológiai jellemzés

A szója (*Glycine max*) a *Glycine* nemzetségbe tartozik (2. ábra). A szója morfológiailag a babhoz hasonló egynyári, dudvás szárú növény. Levelei hármasan összetettek. A levélkék alakja igen változatos: rendszerint megnyúltabb vagy zömökebb tojásdad alakúak. A levelek és a szár, vagyis az egész növény erősen szőrözött. Éréskor a levelek - fajták szerint - lehullanak, vagy a száron maradnak. Virágzata fajtánként változó, lazább vagy tömöttebb fürtvirágzat, 3-10 virággal. A szója öntermékenyülő növény. Termése kard vagy sarló alakú hüvely. A hüvelyekben 2-4 mag fejlődik. A hüvelyek csüngők és erősen szőrözöttek. Színük éréskor sárga vagy barna. A köztermesztésben lévő fajták ezermagtömege 140-200 g körül van. Magja lapítottan gömbölyded alakú (Borsos et al., 1994).

2.1.2. Beltartalmi jellemzés

A szója sokoldalúan felhasználható, az egyik legértékesebb hüvelyes növényünk, nagy biológiai értékű, beltartalma miatt emberi táplálkozásra és állati takarmányozásra, valamint széles körű ipari feldolgozásra egyaránt használják. A szójamatag 36 - 42% fehérjét és 18 - 22% olajat, valamint különböző vitaminokat (A, B, E, K, stb.) és biológiailag aktív vegyületeket is tartalmaz (4. táblázat). A fehérjék közül legnagyobb mennyiségben az albuminok (5 - 7%) és a globulinok (60 - 70%) találhatók meg benne. A szójafehérje aminosav összetétele alapján biológiailag majdnem teljes értékű fehérjének tekinthető, mivel az esszenciális aminosavak a metionin és a cisztein kivételével a szükséges arányban megtalálhatók benne.

4. táblázat: Nyers szójabab táplálékanyag- és aminosav tartalma (Forrás: Varga et al, 2016)

Megnevezés	Átlagérték (szárazanyagban mérve)
Nyersfehérje (%)	34,50
Nyerszsír (%)	19,50
Nyersrost (%)	5,99
Hamu (%)	5,00
Keményítő (%)	0,44
Savdetergens rost (ADF%)	9,13
Neutrál detergens rost (NDF%)	12,38
Összes cukor (%)	7,93
Foszfor (mg/kg)	5,18
Fitinfoszfor (mg/kg)	3,11
Aminosav (%)	
Metionin	0,467
Cisztein	0,561
Metionin+cisztein	1,035
Lizin	2,200
Treonin	1,343
Triptofán	0,469
Arginin	2,574
Izoleucin	1,550
Leucin	2,585
Valin	1,621
Hisztidin	0,921
Fenilalanin	1,719
Glicin	1,469
Szerin	1,736
Prolin	1,734
Alanin	1,492
Aszparaginsav	3,886
Glutaminsav	6,088
Ammónia	0,671

Az esszenciális aminosavak (triptofán, lizin, cisztein, valin, leucin és tirozin) mennyisége a szójában és melléktermékeiben is magasabb, mint a gabonákban vagy más növényi takarmány alapanyagokban, ezért az emberi táplálkozásban az állati fehérjék pótlására, valamint egyéb gabonák komplettálására is kitűnően alkalmas.

Értékes fehérje és aminosav összetételén felül növeli a szója jelentőségét az is, hogy mintegy 18% nyerszsírt tartalmaz. Olaja félig száradó, 95 - 100% - ban emészthető, kitűnő étkezési olaj, amely hatszor annyi olajsavat tartalmaz, mint sztearinsavat, 10°C - ig nem zavarosodik, dermed meg. A szója a lecitin leggazdagabb növényi forrása, amelynek fontos szerepe van az idegek működésében, a szénhidrátok és a zsírok emésztésében. A szójaolaj jelentősége is igen nagy, évtizedek óta fontos stabilizáló, emulgeáló szerként alkalmazzák az élelmiszeriparban, továbbá antioxidánsokban is gazdag. A szójamagról eltávolítható szójahéj, a korpa is értékes rosttartalmú anyagnak tekinthető. A szója ásványi anyagokban és vitaminokban is viszonylag gazdag. Az ásványi anyagok közül nagyobb mennyiségben káliumot, magnéziumot, kalciumot és foszfort tartalmaz, és mikroelem-tartalma sem elhanyagolható (vas, cink, mangán). A vitaminok közül kiemelkedően nagy a szója B-vitamin és E-vitamin tartalma (Balikó et al., 2007).

Az Európai Bizottság prioritásnak tekinti, hogy növekedjen az Unióban a növényi fehérjék termesztése, így a szója is azon növények közé tartozik, amelyek kiemelt uniós támogatást élveznek. Az adatok ennek ellenére azt mutatják, hogy míg 2017-ben több mint 75 ezer hektárról takarítottak be szóját 2,4 tonnás hektáronkénti átlagterméssel, addig 2018-ban csak 60 ezer hektárról 2,9 tonnás átlaggal, 2019-ben pedig ennél is kevesebb, mindössze 56 ezer hektár vetését kalkulálták. Ez ellentétes irányú trendet mutat a korábbi évekhez képest, hiszen 2014 után csaknem 80 százalékkal nőtt a termesztési terület: a szójatermesztő gazdaságok száma a korábbi 1800-ról 5100 fölé emelkedett, ez azonban mára visszaesett 4000 körülire. A jelenlegi szűk 60 ezer hektár helyett ennek akár a kétszeresén is lehetne szóját termelni, aminek kihasználása előnyös lenne a fehérjeimport csökkentése érdekében ([http2](#)).

A szójában azonban a táplálkozásbiológiai szempontból pozitív hatású, értékes anyagok mellett antinutritív komponensek is megtalálhatóak (5. táblázat). Az antinutritív hatás fogalmkörébe sorolható minden olyan növekedést gátló vagy lassító, illetve az élelmiszer komponensek felszívódását gátló, illetve csökkentő hatás, amely a táplálékon keresztül éri a szervezetet, de szemmel látható káros tüneteket nem okoz ([http3](#)).

5. táblázat: A szójában található antinutritív anyagok (Forrás: <http3>)

Hőérzékenyek	Hőnek ellenállók
Proteáz inhibitor	Fitinsav
Tripszin inhibitor	Cseranyagok
Kimotripszin inhibitor	Favizmus faktorok, vicin, konvicin
Haemagglutininek, lektin	Ösztrogén, izoflavon származékok
Golyvaképző faktorok	Flatulencia faktorok, oligoszacharidok
Antivitaminok	Szaponinok

Az antinutritív hatású anyagok közül a szója tripszin inhibitorai (Kunitz inhibitor, Bowman-Birk inhibitor) inaktiválják a hasnyálmirigyben termelődő tripszin és kimotripszin fehérjebontó enzimeket, így csökkentve a fehérje emészthetőségét. A tripszin inhibitor egy a szója antinutritív faktoraik közül, amelynek hatása a leglényegesebb. Mellette még további proteázgátló anyagok is megtalálhatóak benne, amelyek többé-kevésbé hőérzékenyek és inaktiválhatóak. Magas fitát tartalma következtében az ásványi anyagok felszívódását is akadályozhatja. A szója 16 féle azonosított fehérjéje potenciális allergén, ez hazánk leggyakoribb növényi eredetű allergénje (<http4>).

2.1.3. A szója élelmiszeripari felhasználása

A szója számos késztermékünk alkotóeleme, melyekben legtöbbször technológiai céllal fordul elő. Gyakran használják állományjavításra, emulgeálószerként, tartósítás céljából vagy fehérjedúsításra, húspótlóként, de akár a cukor kikristályosodásának megakadályozására is. Sokoldalúsága miatt szinte bármilyen típusú élelmiszerben előfordulhat. Leginkább húsipari felhasználása ismert, hiszen itt használják legnagyobb mennyiségben a szójafehérjét. Vagdalt húsknál, kolbászféléknél például szójalisztet alkalmaznak, amivel többek közt a térfogat növekedése, a főzési veszteség csökkenése érhető el. Használják továbbá a sütőiparban is, a búzaliszthez már igen kis mennyiségben adagolva csökkenti a dagasztás és a fermentáció idejét, javítja a tészta rugalmasságát, a sütés utáni nedvesség-visszatartó képességet, ami egyben a tartósságnak is kedvez. A szójaliszt alkalmas a búzaliszt aminosavainak komplettálására is, ami által javul a kenyér vagy péksütemény emészthetősége. A sütőiparban a szójalecitint a tojás részbeni helyettesítésére is használják. Az édesiparban főként a vízmegkötő képesség és az állományjavítás céljából alkalmazzák. A tej, a tojás, sőt még a dió és a mandula helyettesítője

is lehet, míg a szójalecitin a kakaóbabot válthatja ki a csokoládégyártás során. Az élelmiszerek jelölésén a termékhez adott szóját, mint allergén összetevőt, kötelezően fel kell tüntetni (<http4>). Keresztreakcióba léphet földimogyoróval, mogyoróval, dióval és egyéb hüvelyesekkel, mint például a babbal vagy a borsóval is. Vannak azonban bizonyos szójából kinyert termékek, melyek nem okoznak allergiás reakciót (Szabó, 2014).

2.2. Csillagfürt

3. ábra: Fehér csillagfürt mag (Forrás: wikimedia)



2.2.1. Rendszertan és biológiai jellemzés

A csillagfürt fajok a csillagfürt (*Lupinus*) nemzetségbe tartoznak, köztük évelő és egyéves fajok is megtalálhatóak. Az egyéves csillagfürt fajoknak keserű és édes (alkaloidban szegény) változatai vannak. A keserű jelleget a mérgező alkaloidok (lupinin, lupinidin, lupanin, stb.) okozzák. A fajok és változatok alkaloid tartalma eltérő, amely még az időjárás hatására is változhat. A keserű csillagfürtök alkaloid tartalma 1 - 3% között van; az édes csillagfürt fajok magja azonban csak 0,01 - 0,1% között tartalmaz alkaloidokat. Az édes csillagfürtök visszakeseredését, a fajon belüli kereszteződést és a technikai keveredést mind a takarmány, mind a vetőmagtermesztés során meg kell akadályozni. A csillagfürt fajok alacsony (2 - 6°C) hőmérsékleten csírázó, lágyszárú növények. Gyökérzetük mélyreható karógyökér, amelyen sok *Rhizobium* és gyökérgümő található. Leveleik ujjasan összetettek és lándzsa alakúak. Virágaik laza fürtvirágzatot alkotnak. Színük fajok szerint változik (sárga, fehér, kék, stb.). Termésük felálló hüvely, a fajra jellemző maggal. Az édes csillagfürt (3. ábra) magjának színe általában csontfehér, a keserűé rendszerint rózsaszínes árnyalatú.

A csillagfürt nagyon régi kultúrnövény, termesztésével már az ókorban is foglalkoztak. Az ókorban a rómaiak fehérvirágú csillagfürtöt termesztettek és ők vitték be a mai Franciaország területére is, ahol rövid idő alatt mint zöldtrágya növény terjedt el. A sárga virágú csillagfürtöt elsőnek Németországban kezdték el termesztetni a XIX. század közepén, majd innen terjedt el Európa többi országaiba. Hazánkban csak az 1800 - as évek végén, 1892 - ben kezdték el a csillagfürt termesztését, de nagyobb arányú elterjesztésére csak a XX. század első felében került sor. Kezdetben csak keserű csillagfürtöt termesztettünk zöldtrágyázás céljára, az édes csillagfürt termesztése csak a 30 - as évek közepén kezdődött el. Termesztése napjainkban azonban egyre jobban a háttérbe szorul.

Az édes csillagfürt fajok ill. fajták felhasználása ma már sokoldalú: a sárgavirágú édes csillagfürt értékes zöldtakarmány, amely silózásra és legeltetésre is alkalmas, de különféle keveréktakarmányokban is felhasználható. A fehérvirágú édes csillagfürtöt nagyobbrészt magtermesztés céljára vetjük, mivel magja fehérjében gazdag takarmány. A mag fehérjetartalma 34 - 36% körül van. Ezen kívül még olajat is tartalmaz, a fehérje biológiai értéke pedig hasonló a szójáéhoz (Borsos et al., 1994). Takarmányozás mellett ma már humán élelmiszerfogyasztás céljából is termesztik, igaz egyre csökkenő termőterületeken.

2.2.2. Beltartalmi jellemzés

A különböző csillagfürt fajok/fajták magjában mért fehérjetartalom 28% és 48% között ingadozik a termesztési feltételektől is függően. Az elvégzett vizsgálatok alapján aminosav összetétele is kedvező (6. táblázat), egyedüli alternatív fehérjeforrásként való használata a humán táplálkozásban azonban kérdéses, mert a növény magja nagy mennyiségű lizint tartalmaz ugyan, viszont szegény a kén-tartalmú aminosavakban (metionin és cisztein) és treoninban (Singla et al., 2017), így inkább gabonafélék komplettálására hasznosítható. Az oldható rosttartalom 3,3% és 13,8% közötti, átlagos összes rosttartalma 10% és 36,7% fajtától függően, ezek az értékek általában véve magasabbak, mint a szója értékei. A fehér csillagfürt maghéja főként cellulózból áll, emellett lignint is tartalmaz, magvai gazdag makro- és mikroelem források. A makroelemek között egyértelműen a K, a Mn és a Mg, a mikroelemek közül pedig a Ca, a Fe és a Na a domináns. Összes zsírtartalma 8 és 15% körülire tehető (Sujak et al., 2006).

6. táblázat: Fehér csillagfürt mag aminosav tartalma g/16g N (Forrás: Sujak et al., 2006)

Esszenciális aminosav tartalom (g/16g N)		Nem esszenciális aminosav tartalom (g/16g N)	
Lizin	4,9	Arginin	11,4
Metionin+cisztein	2,5	Aszparaginsav	10,5
Cisztein	1,9	Szerin	4,5
Treonin	3,5	Glutaminsav	23,5
Izoleucin	4,3	Prolin	3,5
Triptofán	0,6	Glicin	4,3
Valin	4,1	Alanin	3,2
Leucin	7,8	Tápértékek	
Hisztidin	3,3	Aminosav tartalom (g/16g N)	97,7
Fenilalanin+tirozin	5,6	EAA index	85
Tirozin	1,7		

A fehér csillagfürt magvakban található kedvezőtlen, antinutritív vegyületek negatív hatása mára jelentős mértékben elavult. A többi hüvelyesről (borsó, szójabab és bab) eltérően a fehér csillagfürt magja nagyon kis mennyiségű antinutritív anyaggal rendelkezik, eltávolításuk pedig könnyedén megvalósítható: akár az ilyen komponenseket alacsony szinten tartalmazó genotípusok kiválasztásával, vagy a betakarítás utáni kezelésekkkel, pl. csíráztatás, főzés, áztatás és erjesztés (Szarvasházi, 2009).

A fehér csillagfürt magvak egyáltalán nem tartalmaznak proteáz inhibitorokat (azok többnyire kimutathatatlanok), valamint kevesebb mennyiségben tartalmaznak lektint, mint pl. a közönséges bab. A magvakban jelenlévő fitinsav azonban csökkentheti az ásványi komponensek (Zn, Mg, Ca, Fe, K és Mg) biológiai hozzáférhetőségét. A fehér csillagfürt magvak fitinsav tartalma (0,03%) azonban lényegesen alacsonyabb, mint pl. szójáé.

A főként a maghéjban felhalmozódó fenolos vegyületek természetes védelmet nyújtanak a betegségek és kártevők ellen, és antioxidáns, gombaellenes hatásúak. Ilyen anyagok lehetnek a tanninok, ezeket azonban csak kis mennyiségben tartalmazza a mag (0,23 – 0,52%). A magvak izoflavon tartalma a szójababra jellemző. A fehér csillagfürt minden zöld része tartalmazza ezeket a vegyületeket, és a magokban (a sejtfalban) szintézisük csak a csírázási szakaszban indul meg, míg a száraz magvak szinte teljesen mentesek tőlük. A szaponinok sok növényben megtalálható glikozidok, amelyeknek a keserű ízüket köszönhetik. A fehér csillagfürt magvak egyáltalán nem tartalmaznak szaponint. A borsómagban 1800 mg/kg, míg a szójabab magvakban 3500 mg/kg a tartalmuk. A fehér csillagfürt magvak tokoferol tartalma jelentős (63,6 mg/100g körüli mennyiség), a főzés során azonban jelentős mennyiségük elvész.

Mindazonáltal a magjában található fehérje-összetevők – albuminok, globulinok és prolaminok, illetve az α -, β -, γ -, és a δ -conglutinok – az IgE-hez kapcsolódás révén egyeseknél allergiás válaszreakciót váltanak ki. Ez megjelenhet önmagában, de elég gyakran földimogyoró-, vagy egyéb hüvellyessel szembeni allergiához társul, illetve velük keresztaktivitást mutat, a tünetek szerteágazó típusúak lehetnek. Már a csillagfürt lisztjének belélegzése is okozhat légzőszervi panaszokat. Megjelenhet enyhébb bőrirritáció, például csalánkiütés képében, de akár anafilaxiás sokként is. (Szarvasházi, 2009)

Az Országos Gyógyszerészeti és Élelmezés-egészségügyi Intézet (Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ) a csillagfürt fajokat az élelmiszerekben (beleértve az étrend-kiegészítőket is) alkalmazásra nem javasolt növények közé sorolja, mégpedig kinazolidin alkaloid tartalmuk miatt. Ezért a növény alkalmazását tiltják, de korlátozással a termés használható, ha a napi adagban az alkaloidok mennyisége sparteinben kifejezve nem haladja meg a 10 mg-ot. Ez esetben is kötelező figyelmeztetéseket kell feltüntetni az élelmiszer csomagolásán: Gyermekek, terhes és szoptató anyák nem fogyaszthatják (http5). Az EFSA (European Food Safety Authority) vizsgálata azt mutatta, hogy mind a fehér, mind a sárga csillagfürtöt fogyasztottuk már élelmiszerként 1997. május 15.-e előtt is, ezért nem sorolták be a növényt a novel food kategóriába (http6).

2.2.3. A csillagfürt élelmiszeripari felhasználása

A XXI. századtól kezdve előszeretettel alkalmazzák a költségesebb, tradicionális gabonafélék, mint például a búza, de akár a szója helyettesítésére. Sikért nem tartalmaz, így egyre gyakoribb alternatív összetevőként szerepel a gluténmentes élelmiszerek összetevői között, ezenkívül sárga színe miatt tojás helyettesítésére is kiválóan alkalmazható. A csillagfürt megtalálható különböző péksüteményekben, kenyerekben, édesipari termékekben, illetve speciális, diétás élelmiszerekben és megjelenhet adalékanyagként is a különböző késztermékekben. Kedvező hatással van a termékek állagára, és megemeli azok fehérje- és rosttartalmát. Gélképző képessége révén erősíti a főtt és a feldolgozott termékek szerkezetét (Szarvasházi, 2009).

2.3. Akvakultúra eredetű fehérjeforrás

Az Európai Parlament 2023-as állásfoglalása alapján elkötelezte magát az ENSZ fenntartható fejlődési céljai mellett, elismerve aényt, hogy a mezőgazdaság és az akvakultúra jelentős mértékben hozzájárulhat a fenntartható fehérjék előállításához, ezen keresztül pedig a

fenntartható fejlődési célokhoz. A Bizottság kiemeli a fenntartható halászati és akvakultúra-ágazat szerepét az élelmezésbiztonság, valamint az egészséges és jó minőségű fehérjéken alapuló étrend biztosításában; hangsúlyozza, hogy a fenntartható halászati és akvakultúra-termékek fontos szerepet játszhatnak a fenntartható élelmiszerrendszer kiépítésében. Úgy véli, hogy a fenntartható akvakultúra fontos fehérjetermelő, és hogy az algák élelmiszerként vagy takarmány-adalékanyagként való felhasználása lehetőséget kínálhat az állatállományból származó kibocsátások részleges csökkentésére, valamint megfelelő fehérjeforrást jelenthetnek a takarmányokban is (EU jelentés, 2023). Az akvakultúra eredetű fehérjeforrások (alga, békalencse, krill) kiváló megoldást kínálhatnak alternatívaként, akár hosszabb távon is az állati fehérjék kiváltására. Jelentős előnyük az alacsony földhasználatban és a magas fajlagos fehérjehozamban rejlik. Azonban akár takarmányozási céllal, akár humán táplálkozási céllal szeretnénk alkalmazni, nélkülözhetetlen a tápláléértékük, valamint esetleges antinutritív összetevőik meghatározása, ezen kívül magas víztartalmuk miatt a szárítási költségek optimalizálása egyaránt fontos feladat (Popp et al., 2016).

2.4. Békalencse

2.4.1. Rendszertan és biológiai jellemzés

A békalencseformák (Lemnoideae) a hídörvirágúak rendjének (Alismatales), azon belül a kontyvirágfélék családjának (Araceae) egy alcsaládja. A békalencsék rendkívül kicsiny növények, általában csak néhány milliméteresek. Vízi életmódot folytatnak: vagy alámerülten élnek, vagy a víz felületén úsznak. Egyik-másik nemzetségnek még van el nem ágazó gyökere, de léteznek szép számmal teljesen gyökértelen fajok is. A testük általában lencse alakú, a hajtás rendkívül egyszerűsödött: még a levél és a szár sem különíthető el egymástól (http7).

Az alcsaládba 5 nemzetséget sorolnak (4. ábra): Spirodela, Landoltia, Lemna, Wolffiella (Wa) és Wolffia (Wo), összesen 36 különböző fajjal (Xu et al, 2021).

4. ábra: Békalencse alcsaládok (forrás: <http://www.ruduckweed.org/>)



Az Európában leggyakrabban előforduló békalencseformákat az 5. ábrán mutatom be.

5. ábra: Leggyakrabban előforduló békalencseformák Európában (Forrás: <https://rubiscofoods.com>)



Hazánkban élő két legjellegzetesebb fajuk a nagyobb termetű, még gyökérrel rendelkező apró békalencse (*Lemna minor*), és az egyszerűbb, nála kisebb, gyökértelen vízidara (*Wolffia*

arrhiza), mely a maga 1,5 mm-es hosszával a világ legkisebb virágos növénye. Hazánkban élő, elterjedt, de kevésbé közismert fajok még a következők: bojtos békalencse (*Spirodela polyrrhiza*); keresztes békalencse (*Lemna trisulca*); púpos békalencse (*Lemna gibba*) (http7). Kiváló alkalmazkodóképességet mutatnak, a világon mindenhol megtalálhatóak, egészen szélsőséges környezeti feltételek mellett egyaránt. Globális elterjedésük alkalmazkodóképességüknek köszönhető: sokféle ökológiai körülményhez képesek alkalmazkodni: viszonylag széles pH értékeket (3 - 10,5) és hőmérsékleteket (17 - 30°C) is képesek elviselni. A békalencse 96 órán belül képes megduplázni a biomasszáját, így kiváló alapanyaggá válhatna különféle agár- és élelmiszeripari alkalmazásokhoz egyaránt (Pagliuso et al., 2022). Kísérletekkel pedig azt is kimutatták, hogy a trágyában gazdag tápközeg és megnövelt fényintenzitás/fényperiódus fokozza az olyan fajok növekedését és keményítő felhalmozódását, mint a *Lemna minor* és a *Lemna aequinoctialis* (Xu et al, 2021).

2.4.2. Békalencsével foglalkozó nemzetközi kutatások

Az RDSC-t (Rutgers Duckweed Stock Cooperative) 2009-ben hozták létre azzal a céllal, hogy elősegítse a békalencse-kutató közösség növekedését. Az RDSC alapító igazgatója, Dr. Eric Lam, a Rutgers Egyetem növénybiológiai és patológiai professzorának vezetése alatt aktívan szerezte be és katalogizálta a békalencsetörzsek élő példányait a világ minden tájáról. 2013 októberéig több mint 900 különböző törzset gyűjtöttek össze az Antarktiszt kivételével minden kontinensről. Három havonta új kiadvánnyal jelennek meg, amelyek tartalmazzák a békalencsével kapcsolatos legújabb kutatásokat, valamint konferenciákat is szerveznek (http8).

2.4.3. Békalencse alkalmazási területei

2.4.3.1. Fitoremediáció

A fitoremediáció a környezet tisztítását jelenti a szennyező anyagok növények felhasználásával történő felvétele vagy lebontása révén. A vízi ökoszisztémákban az antropogén tápanyagok csökkentésének szükségességét a víz eutrofizációjának megelőzése érdekében már széles körben felismerték, és számos fizikai, kémiai és biológiai módszert teszteltek a szennyvízkezelésre vonatkozóan. A vízi növények használata környezetbarát módszert kínál a tápanyagok eltávolítására, a mérgező tápanyagok és nehézfémek ártalmatlanítására, valamint az oxigénegyensúly szabályozására. Az olyan egyszerű tápanyagok, mint a nitrogén és a foszfor, amelyek a mezőgazdasági lefolyásból származnak és a vízforrások eutrofizációját

okozzák, tápanyagként használhatóak a növények növekedésének elősegítésére. A mezőgazdaság, az ipar és a gazdaság folyamatos fejlődésével egyre több szerves szennyező anyag keletkezik. Egyes szerves szennyező anyagok biológiailag nem bomlanak le jól, és hajlamosak felhalmozódni a környezetben, veszélyeztetve az élelmiszerláncot. Gyakran teratogén, rákkeltő és/vagy mutagén hatásúak az állatokra és az emberekre nézve, és ez súlyosan veszélyezteti az ökológiai környezet biztonságát és az emberi egészséget (Zhou et al., 2023).

Számos tanulmány foglalkozik a békalencse fajok vízben lévő különféle szerves szennyező anyagokkal, például mezőgazdasági vegyszerekkel, gyógyszerekkel, testápolási termékekkel és más ipari szerves vegyületekkel való kölcsönhatásával. Annak ellenére, hogy az agrokémiai anyagok mérgezőek a békalencsére, a kutatók kimutatták, hogy a békalencse képes eltávolítani az agrokémiai anyagokat a környezetből, jelezve, hogy ez a vízi növény hatékonyan kiküszöböli a szerves szennyeződések, és végső soron fitoremediációs szerként szolgálhat a természetes környezetben (Zhou et al., 2023).

Egy 2017-ben indult, Fertinnova elnevezésű európai kutatási projekt ('Transfer of INNOvative techniques for sustainable Water use in FERTigated crops') keretein belül is vizsgálták a békalencse, azon belül is a *Lemna minor* felhasználását a szennyvízkezelésben. A növényt óriási akkumulációs képességének köszönhetően a szennyvízben lévő nitrogén, foszfor és fémek megkötésére használták. A tisztításhoz felhasznált békalencsét egy bizonyos idő elteltével betakarították, majd tiszta vizes áztatás után a növény takarmánnyként is felhasználhatóvá vált (<http9>).

2.4.3.2. Fitotoxicitási vizsgálatok

A nehézfémek különböző koncentrációjának való kitettség esetén a békalencsére gyakorolt toxikus hatások olyan általános fiziológiai paraméterek alapján mérhetők, mint a relatív növekedési sebesség, a klorofill vagy a karotinoid tartalom standardizált körülmények között. Dózis-válasz görbék segítségével 50%, 20% vagy 10% hatásszint mellett kiszámíthatók az effektív dózisok toxicitási paraméterei. Ezt az eljárást biomonitoringnak nevezik, amely felhasználható a jelen lévő anyagok toxicitásának számszerűsítésére, a vizek egészségének értékelésére a környezeti monitoring során. Egy fenotipizálással foglalkozó cég, a LemnaTec (www.lemnatec.com) automatizált módszert fejlesztett ki az anyagok fitotoxikus hatásainak

nyomon követésére a békalencse növekedésének vizuális nyomon követésével (Albrecht et al., 2004).

2.4.3.3. Biopolimerek, fehérjék és vakcinák előállítása

A biopolimerek, például a politejsav és a polihidroxi-butirát különböző növényi összetevőkből is előállíthatók. A Lemna fajok teljes leveléből készült békalencseport bioműanyagok előállítására is sikerrel fel lehet használni glicerinnel és polietilénnel keverve (Zeller et al., 2013). Ezen kívül a genetikailag módosított békalencse olyan értékes termékek expressziós rendszereként használható, mint a nagy értékű monoklonális antitestek vagy humanizált glikozilációs mintázattal rendelkező antitestek, valamint vírusszerű részecskék vakcinaplatformok számára. A megfelelő vakcinagyártás egyre nagyobb kihívást jelent globalizált világunkban, ahol a kórokozók minden eddigénél könnyebben terjedhetnek el. A békalencse hatékony és biztonságos rendszert biztosíthat az oltóanyagok előállításához, így segítve kezelni az oltóanyagok iránti növekvő keresletet (Acosta et al., 2021).

2.4.3.4. Bioetanol előállítás

Egyes békalencsefajok a körülbelül 24 órás megduplázódási idejükkel az ismert leggyorsabban növekvő virágos növények közé tartoznak, és elérhetik az éves 39 - 105 tonna biomassza-termelékenységet hektáronként (termesztési körülményeiktől függően) száraz tömegré vonatkoztatva. A békalencse száraz tömege alapján akár 50% keményítőt is felhalmozhat, így potenciális alapanyagot jelenthet a bioetanol termeléshez (7. táblázat). Számos kezelés indukálhatja a keményítő felhalmozódását a békalencsében, például abiotikus stresszfaktorok alkalmazása vagy tápanyag korlátozás. A békalencse keményítő ezután cukrokká bontható és bioetanollá vagy magasabb alkoholokká, például butanollá erjeszthető. A keményítő és az oldható cukrok mellett a békalencse sejtfalanyaga, amely biomasszájának több mint 30%-át teszi ki, alacsony lignintartalma miatt könnyebben alakítható át erjeszthető cukrokká, mint az energianövényként használt cukornád sejtfalának anyaga. Sok szárazföldi növényvel összehasonlítva a lignin- és hemicellulóz hiányos békalencse kevésbé hajlandó a cukrosításra. A békalencse biomassza keményítő- és cellulózfrakciója is könnyen emészthető enzimekkel glükózzá előzetes termikus-kémiai előkezelés nélkül (Ge et al, 2012).

7. táblázat: A főbb gabonanövények és a békalencse terméshozamának, keményítőhozamának és potenciális bioetanol-termelésének összehasonlítása (Guo et al, 2023)

Paraméterek	Búzaszem	Kukorica	Békalencse
Átlagos virágtermés (t/ha/év)	3,47	5,75	26,11
Keményítőhozam (t/ha/év)	2,42	4,03	13,43
Bioetanol hozam (l/ha/év)	1552	2585	8760

2.4.3.5. Takarmány

A békalencse takarmányozásra való felhasználása az elmúlt néhány évben egyre nagyobb érdeklődést váltott ki a mezőgazdaságban. Ennek oka valószínűleg a termesztés egyszerűsége és a növény magas fehérjetartalma. A békalencse fajok takarmány-összetevőként vagy teljes takarmányként történő felhasználása a mezőgazdaságban és az akvakultúrában az 1980-as években kezdődött. A nyers és a szárított növényt egyaránt hosszú ideje sikeresen használják halak, vízimadarak, csirkék, sertések, marhák, kecskék és bárányok takarmányozására is, bármilyen mellékhatás megjelenése nélkül. A növény felhasználása állati takarmányozás céljára folyamatosan növekvőben van, egyrészt a már említett gyors növekedése (képes megduplázni biomasszáját kevesebb, mint 48 óra alatt optimális körülmények között), valamint magas fehérjetartalma miatt. Fehérjetartalmának esszenciális aminosav-tartalma (főként a lizin és a metionin) jobban hasonlít az állati fehérjére, mint bármely más növényi fehérjéé. Takarmányként való felhasználásának egyik korlátozó tényezője azonban a magas víztartalma (92 - 94%), ami száraz takarmány-összetevőként való felhasználása esetén jelenleg magas járulékos költségekkel jár (Zeinstra et al, 2019). Számos pozitív tulajdonsága miatt azonban érdemes erre egy költséghatékony módszert kidolgozni a jövőben.

2.4.3.6. Hagyományos növényi gyógyszer

A békalencse emberi fogyasztása Délkelet-Ázsia egyes részein, Laoszban, Thaiföldön és Mianmarban is elterjedt: „Khai-Nam” nevű zöldségként. Kínában, Indiában és Thaiföldön hagyományosan a teljes növényt felhasználják gyógynövényként: belsőleg többek között vizketés csillapítóként, skorbut ellenes, összehúzó, tisztító, vizelethajtó, lázcsillapító és altató szerként. Belsőleg alkalmazták még más gyógynövényekkel kombinálva a felső légúti gyulladások kezelésére is, valamint gyulladáscsökkentő és vértisztító szerként olyan krónikus reumás betegségekre, mint a rheumatoid arthritis és az osteoarthritis. Kínában a gyógynövényt belsőleg a testhőmérséklet szabályozására (a magas láz csökkentésére) és a duzzanatokra

(ödéma) is használták, külsőleg pedig tályogok, krónikus sebek és furunkulusok kezelésére alkalmazták (Al-Snafi, 2019).

Az ősi kínai gyógyászati felhasználásán kívül az európai történelemben is találkozhatunk vele: az ókori római birodalomban született orvos/farmakológus Pédanos Dioscorides (i.sz. 40 - 90), a „De Material Medica” című orvosi munkájában feljegyezte, hogy a békalencse hűsítő funkcióval rendelkezik: minden diffúz gyulladás esetén hasznos volt. Szent Hildegard von Bingen (i.sz. 1098 - 1179) német teológus, tudós, orvos és filozófus, aki egy katolikus kolostor dékánjaként is szolgált, munkáiban megemlítette, hogy a *L. minor*, *Pyrethrum parthenium* (L.) Sm., *Salvia officinalis* L. és más növények kólika elleni kenőcs készítésére használhatóak. Emellett a könyvében a békalencse szívfájdalom és reuma elleni kezelésben betöltött szerepét is rögzíti. Feljegyezte a békalencse gyulladáscsökkentő és vizelethajtó tulajdonságait. A fájdalom, állandó megfázás, gyomor-bélrendszeri hiányosságok és kolorektális fájdalom megjelenését Hildegard „vicht” állapotnak, rákelőtti állapotnak nevezte. A „vicht” megelőzése érdekében békalencse, gyömbér (*Zingiber officinale* Roscoe) és fahéj felhasználásával készült gyógynövénykeveréket javasolt. A mai napig kaphatók ilyen békalencse alapú készítmények, „szigorúan Hildegard tanácsát követve” elkészítve, pl. „Bio Hildegard Wasserlinsen Elixier” (Edelman et al., 2022).

2.4.3.7. Élelmiszer

Az elmúlt évtizedben számos vállalat (pl. Parabel, Hinoman, GreenOnyx és Plantible) jött létre, amelyek célja a békalencse élelmiszer- és fehérjeforrásként való népszerűsítése. A *Lemna* és *Wolffia* fajokból származó termékek az Egyesült Államok Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hivatalától általánosan elismert, biztonságos státuszt kaptak. Ezek a tevékenységek nagyban segítik a békalencséből származó termékek emberi fogyasztásra történő széles körű felhasználásának népszerűsítését, elfogadását.

Jelenleg a 8. táblázatban található cégek foglalkoznak a békalencse alapanyagok élelmiszerként való felhasználásával.

8. táblázat: Békalencsével foglalkozó cégek (saját szerkesztés, forrás: http8)

Vállalkozás neve	Alkalmazási terület	Fókuszban	Ország	Honlap
Rubisco Foods	Humán élelmiszer és állateledel	Sporttáplálkozás, étrend-kiegészítők, hús helyettesítés, sütőipar, tojás helyettesítés	Hollandia	www.rubiscofoods.com
Plantible Foods	Humán élelmiszer és állateledel	Növényi eredetű alternatív fehérjék, alternatív tojás fehérje	USA	http://www.plantiblefoods.com
Lemnature Aquafarms	Humán élelmiszer és állateledel	Növényi eredetű fehérjék és más összetevők	USA	http://lemnatureusa.com
GreenOnyx	Humán élelmiszer és termesztési módszerek	Friss, zöld növények	Izrael	http://greenonyx.biz
Hinoman	Humán élelmiszerek	Fagyasztott zöld biomassa Wolffia globosa-ból (Mankai)	Izrael	http://eatmankai.com

A fenti vállalatok közül a GreenOnyx-et emelném ki, aki az élen jár a békalencse, valamint az ebből készült termékek népszerűsítésében. 2023 novemberében például a NASA - val együttműködve részt vettek egy projektben (CSR - 29), amelynek keretein belül egyrészt az asztronauták számára biztosítottak kényelmi békalencse élelmiszereket, valamint egy általuk kifejlesztett miniatűr termesztési egységet is adományoztak az űrállomásnak, reagálva ezzel a NASA azon igényére, hogy a lehető legkisebb helyen a lehető legnagyobb volumenű, korlátozott erőforrásokkal is megvalósítható, értékes élelmiszer termelés lehetséges legyen az űrkörnyezetben (Shosam, 2024).

A békalencse világszerte felhívta magára a figyelmet, mert optimális körülmények között természetve nagy mennyiségben tartalmaz kiváló minőségű fehérjét, szárazanyag-tartalmának 35 - 43%-ában (Appenroth et al., 2017). Esszenciális aminosav tartalma kiváló összetételű, így nagyobb mértékben fedezi a táplálkozási igényeket, mint sok más növényi fehérje. Ezen kívül magas növekedési rátával rendelkezik, és elviseli az extrém körülményeket, valamint nem szántóterületen lévő medencében, akvakultúrában termesztethető, elkerülve ezzel a termőföld használatát.

A békalencse fitoremediációs tulajdonságai miatt humán táplálkozásra való alkalmassága azonban még további vizsgálatokat igényel. Ahhoz, hogy emberi táplálékforrásként hasznosítsuk, fenntartható és ellenőrzött környezetben kell termesztetni, alacsony baktériumszám és kevés szennyezőanyag jelenléte mellett. Ennek egyik megoldása lehetne a

békalencse laboratóriumi előállítása, ez azonban jelenleg rendkívül drága és nem oldja meg a tömegtermelés kérdését. Emiatt tehát a közvetlen napfényt és minimális tápanyag-felhasználást biztosító szabadtéri rendszerre van szükség ahhoz, hogy a békalencsét az alacsony jövedelmű közösségek is elérhessék jövőbeli táplálékként (Yahaya et al, 2022).

Ez az akkumulációs képessége adja a vele szemben fennálló élelmiszerbiztonsági aggályok alapját: az EFSA egy hosszú tanulmányban vizsgálta biztonságosságát, és mivel a nem szabályozott körülmények között termesztett növények beltartalma élelmiszerbiztonsági szempontból még további kérdéseket vet fel, ezért a hatóság további egyeztetést és adatokat kért a növény élelmiszerként való felhasználhatóságával kapcsolatban. Jelen pillanatban az EFSA novel food katalógusa szerint FS (food supplement) státuszban szerepel (EFSA, 2022).

2.4.4. Jogszabályi környezet

A következőkben bemutatom a békalencse humán táplálkozásra vonatkozó, jelenlegi szabályozási helyzetét a különböző országokban (Shoham, 2022-es összefoglalása nyomán).

2.4.4.1. Thaiföld

A Wolffia fajok ősi, évszázadokra visszatekintő biztonságos élelmiszerhasználattal rendelkeznek Délkelet-Ázsiában, különösen Laosz, Mianmar és Thaiföld térségében. A thaiföldi mezőgazdasági minisztérium megerősítése alapján a békalencsefajok, nevezetesen a Wolffia globosa és a Wolffia arrhiza hagyományos élelmiszerként elismertek az országban, Thaiföld északi és északkeleti részén sok generáción át fogyasztották a helyiek, néhány helyi dialektusban „Pum” vagy „Kain-Nam” néven említik őket. Nem esnek külön szabályozás alá.

2.4.4.2. USA

2018. augusztusában a Parabel USA nevű vállalkozás megkapta a GRAS (általánosan biztonságosnak elismert) minősítést a Leintein márkájú növényi fehérjére [békalencse por Lemna (70 – 100%) és Wolffia (0 – 30%) fajokból] az Egyesült Államok Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hatóságától (FDA). Jelenleg a Wolffia arrhiza és a Wolffia globosa fajokra GRAS minősítés, illetve hagyományos élelmiszer kategória van érvényben az országban, használatuk engedélyezett mind friss zöldségként, mind feldolgozott porként.

2.4.4.3. Izrael

2019. májusában jóváhagyták a Hinoman nevű amerikai cég (jelenleg már nem működik) kérelmét, melynek eredményeképp a Wolffia globosa növény (más néven Mankai), új élelmiszerként való felhasználását engedélyezték az izraeli piacon, a következő megkötésekkel:

- A biomasszának mentesnek kell lennie minden szennyező anyagtól,
- Csak olyan kereskedelemben kapható műtrágyát használhatnak, amelyet emberi fogyasztásra szánt növények termesztésére is szabad használni,
- A betakarítást követően csapvizet vagy desztillált vizet használhatnak a biomassza mosására,
- A megengedett maximális nehézfém-, peszticid-, mikotoxin- és mikrobaterhelés betartása szükséges.

2020. szeptemberében a GreenOnyx nevű vállalat is kérelmet nyújtott be a Wolffia globosa, ill. a Wolffia arrhiza (vertikális termesztési rendszerben, ellenőrzött körülmények között termesztett) új élelmiszer-összetevőként való felhasználására vonatkozóan. Az Újélelmiszer-bizottság 2022 júliusában engedélyezte a kérelmet (ugyanazokkal a feltételekkel, mint fent).

2.4.4.4. EU

Jelenleg az Európai Bizottság nem engedélyezi a Lemna és/vagy a Wolffia fajokból készült por alapú termékek forgalomba hozatalát az Európai Unióban, arra hivatkozva, hogy ezeknek a termékeknek a biztonságossága jelenleg még nem állapítható meg. Az amerikai Parabel Ltd. 2018. november 15. –én kérelmet nyújtott be a Lemnaceae-ből származó békalencsepor (Lemna (70 – 100%) és Wolffia (0 – 30%) fajokból) új élelmiszerként való engedélyezésére az uniós piacon az (EU) 2015/22831 rendelet 10. cikkével összhangban, a kérelmet azonban elutasították. 2019. szeptember 24. –én a Hinoman nevű, amerikai vállalat is kérelmet nyújtott be a Wolffia globosa por új élelmiszerként való forgalomba hozatalának engedélyezésére különféle élelmiszer-kategóriákban, beleértve az étrend-kiegészítőket is. A kérelmet a Bizottság szintén elutasította. Az Európai Bizottság 2021-ben engedélyezte a Wolffia arrhiza és/vagy a Wolffia globosa friss növények forgalomba hozatalát harmadik országból származó hagyományos élelmiszerként (2015/2283 és 2017/2470 rendeletének értelmében). A belőlük készített por alapú termékek azonban továbbra sem kaptak engedélyt élelmiszerként való forgalmazásra, mert biztonságosságuk jelenleg nem állapítható meg (EFSA).

A Wageningen University & Research kérelme jelenleg értékelés alatt áll a Lemna minor és Lemna gibba teljes növényi anyag új élelmiszerként való engedélyezésére vonatkozóan.

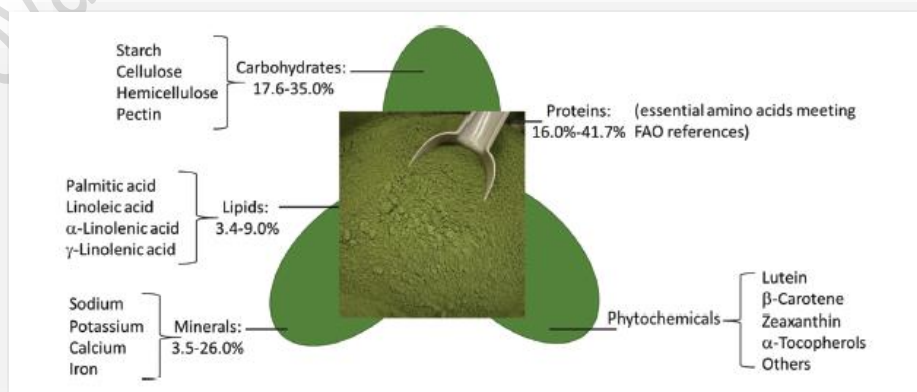
2023. áprilisában a Rubisco Foods nevű holland cég megerősítést kapott az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóságtól (EFSA), hogy Lemna gibba és Lemna minor keverékéből álló fehérjekoncentrátuma biztonságos az emberi fogyasztásra. Fontos megjegyezni, hogy a növények termesztése beltéren, nem szabadföldi körülmények között, a HACCP irányelveit szem előtt tartva történik. Kutatásokkal támasztották alá, hogy a növényekkel kapcsolatban nem merülnek fel a nehézfémekkel, mikotoxinokkal, cianotoxinokkal, peszticidekkel és lizin-alaninnal kapcsolatos biztonsági aggályok. Az antinutritív kalcium-oxalát (oxálsav), polifenolok (tanninok) és a tripszin inhibitorok szintén viszonylag alacsony koncentrációban vannak jelen a késztermékben, valamint a mikrobiális adatok sem haladják meg a 2073/2005 EK rendeletben meghatározott határértékeket (Shoham, 2022).

2.4.5. Lemna minor beltartalmi jellemzés

Az elmúlt években, ahogy egyre inkább felmerült az igény az állati eredetű fehérjék helyettesítésére valamilyen alternatív fehérjeforrással, egyre nagyobb figyelem irányult a különböző növényi fehérjék, így a békalencse táplálkozásbiológiai tanulmányozására is. Sajnos az ezekben a tanulmányokban megtalálható eredmények nagyon széles határok között mozognak a vizsgált növények termesztési körülményeitől függően. Nyersfehérje tartalmuk tápanyagszegény vízben 9-20% között mozog, míg optimális tápanyagkörülmények között ez akár 24 - 41%-ra is növekedhet (a nyersfehérje tartalom például 12 mg N/l ammóniakoncentráció elérése mellett 40%-ra nőtt). (Appenroth et al., 2017).

A betakarított növény tápanyagtartalmát, beltartalmi jellemzőit jelentősen befolyásolják a termesztési körülmények, ezen értékekről a 6. ábrán látható egy összefoglalás.

6. ábra: A békalencse hozzávetőleges tápanyag-összetétele szárazanyagra vonatkoztatva (XU et al, 2021)



Táplálkozási szempontból kedvező arányban tartalmaz többszörösen telítetlen omega-6- és omega-3-zsírsavakat, gazdag α -tokoferolban és karotinoidokban, és rendkívül magas zeaxantinszint érhető el megfelelő termesztési körülmények alkalmazásával. Emellett a békalencse magas polifenol tartalommal is rendelkezik (Polutchko et al 2022).

2.4.5.1. Fehérje- és aminosav tartalom

Az egész növény ehető, így a békalencse egyetlen rétegére vetítve az összfehérje termelése termőterületenként akár 20-szor magasabb is lehet, mint a szójanövényeké (amelyek csak a magjukban tartalmazzák a fehérjét) (Polutchko et al, 2022).

A békalencse szárazanyag tartalmának fő összetevői a fehérje és a keményítő. Compeer és munkatársai (2018) tanulmányukban mutatják be a két fő komponens eddigi felhasználási területeit. A békalencsében található legfontosabb fehérje a RuBisCo (Ribulóz-1,5-biszfoszfát karboxiláz/oxigenáz), amely funkcióját tekintve egy enzim, a fotoszintézis egyik fontos szereplője.

A fehérjetartalmat viszonylag magas albumin- és alacsony globulin tartalommal jellemezték, a fehérjefrakciók molekulatömegét 176.000 felettire és 14.000 alattira becsülték (Al-Snafi, 2019). A fehérjék emészthetősége a fehérje minőségének egyik fontos kritériuma. Dewanji (1993) tanulmányában rávilágított, hogy a L. minor fehérje emészthetősége in vitro vizsgálatokban elérte a 77,9%-ot (pepszin-pankreatin módszer alapján), ami azt jelzi, hogy a L. minor fehérje viszonylag könnyen lebontható aminosavakká, így könnyen felszívódik és részt tud venni az anyagcserében (Dewanji, 1993, Xu et al., 2021).

A békalencse aminosav-összetétele az emberi táplálkozás szempontjából is kívánatos (9. táblázat), az ember számára szükséges összes esszenciális aminosavat tartalmazza, a WHO ajánlásához egészen hasonló arányban. Az ember számára esszenciális aminosavak: valin, leucin, izoleucin, fenilalanin, triptofán, lizin, treonin és metionin. A hisztidin és arginin aminosavak az újszülöttek számára esszenciálisak, mert a szükséges mennyiségben nem tudja szervezetük előállítani őket. A tirozin és cisztein aminosavak nem esszenciális természetűek, de a szerkezeti szintézisükhöz megfelelő fenilalanin és metionin ellátottság szükséges. A fehérjetartalommal ellentétben az aminosav összetételt nem befolyásolják a növény termesztési körülményei, ennek inkább genetikai háttere van. Minden esszenciális aminosav, pl. hisztidin, izoleucin, leucin, lizin, metionin, fenilalanin, tirozin, treonin, triptofán és valin megfelelő mennyiségben található benne. A leucin, izoleucin és valin az esszenciális aminosavak nagyjából 48%-át teszi ki, a nem esszenciális aminosavak közül a glutaminsav aránya pedig

25,87% körüli. Számos nem-proteinogén aminosav, pl. citrullin, hidroxiprolin, taurin stb. is jelen van a békalecsében. Kiemelkedő lizin tartalma említésre méltó: a békalecsé a búzalisztnél, a kukoricánál és a rizsnél magasabb lizin tartalommal rendelkezik (Appenroth et al., 2018), így a gabonafélék limitáló aminosav tartalmát komplementálhatja. A valin esszenciális aminosav, amely viszonylag nagyobb mennyiségben fordul elő mind az állati, mind a növényi fehérjékben. A tojás- és tejfehérjében 7 - 8%, az elasztinban 15% mennyiségben található. A leucin és az izoleucin elágazó láncú, esszenciális aminosavak. A legtöbb fehérjében viszonylag nagy mennyiségben, 7 - 10% arányban találhatók. A gabonafehérjében mennyisége igen eltérő; a kukoricában több mint 12%, a búzafehérjében 6% körüli arányban fordulnak elő. Az esszenciális aminosav-tartalom a növényi termékek esetében átlagosan 62 - 81% a referencia fehérjéhez (tyúktojás fehérje) viszonyítva (Gubicskóné és Szabó, 2015).

9. táblázat: *Lemna minor* aminosav összetétele (Appenroth et al, 2018)

Aminosav	Hisztidin	Metionin	Cisztein	Valin	Fenil-alanin	Tirozin	Izoleucin	Leucin
Békalecsé g/100g fehérje	1,5	2,5		4,6	7,5		3,7	7,3
Aminosav	Aszparaginsav	Glutaminsav	Szerin	Glicin	Treonin	Arginin	Prolin	Alanin
Békalecsé g/100g fehérje	8,2	9,8	4,1	4,6	4	4,8	3,8	5,1

A fehérjék biológiai szempontból történő kritikai megítélésére alkotott fogalom a limitáló aminosavak fogalma. Ez egy olyan esszenciális aminosav egy adott fehérjében, amely a FAO/WHO által javasolt referenciafehérje (elsősorban tyúktojásfehérje) aminosav-összetételében szereplő, megfelelő aminosavhoz viszonyítva a legkisebb százalékos arányban fordul elő. Magyarországi élelmi anyagaink között például a gabonafélékben a lizin, a hüvelyesekben pedig a metionin tekinthető limitáló aminosavnak. Ha az egyenként inkomplett táplálékfehérjéket együtt fogyasztjuk, azok megfelelő válogatással kompletté tehetők. Azaz a fehérjekeverékek eltérő aminosav-tartalmukból adódóan egymást kiegészíthetik, komplementálhatják.

Az esszenciális aminosav-tartalom a növényi termékek esetében átlagosan 62–81% a referencia fehérjéhez (tyúktojás fehérje) viszonyítva. A metionin tartalom a növényi fehérjeforrásoknál többnyire alacsony. A lizin tartalom a gabonafélék és diófélék esetében tekinthető alacsonynak. A növényi fehérjéknek magasabb a nem-esszenciális aminosav tartalma. Ezeknek a nem-esszenciális aminosavaknak az aránya 111 - 129 % a tyúktojáshoz képest. A tejtermékekkel összevetve a növényi fehérjeforrásokat az alanin tartalom magasabb a hüvelyeseknél, gabonaféléknél és a diófélék nagy részénél. A különböző típusú húsokkal összevetve magasabb szerin tartalmat találtak a hüvelyeseknél, gabonatermékekénél, mogyoróféléknél, illetve néhány olajos mag esetében – mák, lenmag, szezám, napraforgómag is. Magasabb aminosav-tartalommal rendelkeznek a teljes kiőrlésű gabonák, mint a hántolt gabonák. Az élelmiszerek magas nem esszenciális aminosav tartalma az egyik legfontosabb kérdés a vegetáriánus táplálkozás területén. A vegetáriánusok jellemzően 3-6-szor több teljes kiőrlésű gabonát, hüvelyeset, olajos magvat és dióféléket fogyasztanak, mint a nem vegetáriánusok. Magas esszenciális aminosav tartalma miatt a békalencse vegetáriánus étrendbe való beillesztésének pozitív hatásaival a jövőben érdemes lenne foglalkozni.

A fehérjék biológiai értékének vizsgálata egy sarkalatos pont az alternatív fehérjék összehasonlításában. Ez a szám azt fejezi ki, hogy az adott fehérje milyen mértékben elégíti ki az emberi szervezet minőségi (aminosav) szükségletét, gyakorlatilag a fehérje „értékességének” jellemzésére szolgál. A hasznosítás mértékét fejezi ki, hogy az aminosavakkal (fehérjékkel) elfogyasztott nitrogén hány százalékát képes a szervezet visszatartani. Tehát minél kedvezőbb az elfogyasztott fehérje aminosav-összetétele, annál nagyobb része alakul át szöveti fehérjékké, és annál kisebb a vizelettel kiürített nitrogén mennyisége. Az anyatej és a tyúktojásfehérje biológiai értéke 100%-nak tekinthető, az összes többi fehérje biológiai értékét ehhez viszonyítjuk. A relatív biológiai érték kiszámolásánál a fehérjék esszenciális aminosav tartalmát a tojásfehérjével hasonlítják össze, és számszerűen egy olyan skálán fejezik ki, ahol az említett fehérje biológiai értéke 100 egységnek felel meg (Gubicskóné és Szabó, 2015).

2.4.5.2. Szénhidrát tartalom

A fehérjén kívül a növény szárazanyagának szénhidráttartalma is jelentős: keményítőt, cellulózt, hemicellulózt és pektint is tartalmaz. Keményítőtartalma a szárazanyagra vonatkoztatva 4 és 10% közötti (tehát általában alacsonyabb, mint a fehérjetartalom), melyet a

termesztési feltételektől függően akár 40%-ra is meg lehet növelni a termesztéskori sókoncentráció növelésével. Néhány tápanyag (például foszfát vagy nitrát) hiánya, illetve egyes nehézfémek jelenléte szintén növelheti a növény keményítőtartalmát, így egyes tanulmányok szerint akár 75%-os keményítő tartalom is elérhető (például hozzáadott glükóz jelenlétében). A gyorsan növekvő békalencse populációkban optimális növekedési körülmények között mért alacsony keményítőtartalom az emberi táplálkozás szempontjából kedvező hatással bír (Al-Snafi, 2019).

2.4.5.2. Ásványi-anyag tartalom

Gostyńska és munkatársai egy 2022-es tanulmányukban atomemissziós spektrográfiai vizsgálatokkal 14 ásványi elem jelenlétét bizonyították a nyers növényi anyagban. Szárazanyag tartalmának 8,74% - a nitrogén, majdnem 2% - a magnézium, és említésre méltó még jódtartalma is, ez 1,5% - a növény szárazanyagtartalmának. Az EFSA által megfogalmazott egészségügyi aggályok egy része a növényben felhalmozódó jelentős mangán mennyiségén alapszik, ez a növény szárazanyag tartalmának 0,03% - át teszi ki.

2.4.5.2. Zsírsav összetétel

A békalencse emberi táplálkozásra szánt felhasználásához nagyon fontos ismernünk a zsírsav eloszlást: a növény telített zsírsavtartalmának aránya viszonylag magas (főleg palmitinsav és lignocerinsav), az egyszeresen telítetlen zsírsavak (főleg az olajsav) és az SCFA (rövid szénláncú zsírsavak) és MUFA (egyszeresen telítetlen zsírsavak) aránya pedig nagyon alacsony. Érdekes módon, a többszörösen telítetlen zsírsav (PUFA) tartalma viszont magas, akár magasabb is lehet, mint a hüvelyes lisztokban. Az átlagos növényi olajokhoz képest (a pálma- és kókuszolaj kivételével) magasabb az SFA (telített zsírsav) tartalma, a MUFA aránya pedig jóval alacsonyabb. A benne található fő, többszörösen telítetlen zsírsavak: linolsav és γ -linolénsav (n6), valamint α -linolénsav és sztearidonsav (n3) zsírsav. Az omega-6/omega-3 zsírsav arányt a növényben 0,25 és 0,61 közötti értéken mérték Appenroth és munkatársai (2017). A FAO (2010) ajánlásai szerint az egészséges étrend részeként fogyasztott élelmiszerek zsírsav aránya, az n6/n3 arány nem lehet magasabb, mint 5. A magas n6/n3 arányú zsírsavakat gazdagon tartalmazó étrend hozzájárulhat a szív- és érrendszeri megbetegedések, a csontritkulás, valamint a gyulladásos és az autoimmun betegségek kialakulásához. A hüvelyes növényekből készült lisztokban átlagosan a következő n6/n3 arányt határozták meg: csillagfürt:

4,6; zöldborsó: 5,7; csicsriborsó: 21,8, a közönséges étkezési növényi olajokban, mint a lenmag: 0,28; repce: 2,2; olívaolaj: 15 és napraforgó: 150. Ezzel szemben azonban a pálmában, a kókuszban és a földimogyoróban alig lehet kimutatni n6 zsírsavat. A békalencsében található alacsony n6/n3 zsírsavtartalmú α -linolénsav magas mennyisége fontos szerepet játszhat a tipikus nyugati étrend „feljavításában” (Appenroth et al., 2017).

2.4.5.3. Antioxidáns összetétel

A békalencse táplálkozásbiológiai jelentősége nemcsak a szárazanyagra vonatkoztatott magas fehérjetartalmában és optimális esszenciális aminosav arányában tartalmában rejlik, hanem magas antioxidáns kapacitásában is. Az antioxidáns kapacitás az adott rendszerre vonatkozó összes antioxidáns vegyület együttes hatását jelenti.

Az antioxidánsok olyan molekulák, amelyek csekély mennyiségben vannak jelen az oxidálандó szubsztráthoz képest, és jelentős mértékben csökkenteni, vagy akár gátolni is képesek annak oxidációját. Az antioxidánsok lehetnek lipofilek (E-vitamin, β -karotin, A-vitamin), hidrofilek (C-vitamin, aminosavak, polifenolok), citoszol antioxidánsok (Q10 koenzim), valamint szerkezeti antioxidánsok (nyomelemek, szelén, cink, aminosavak, szelenocisztein). Az emberi szervezetben az antioxidánsok szinergens, egymást erősítő, regeneráló hatással rendelkeznek, így az antioxidánsok együtt jóval hatékonyabbak a szabadgyökökkel szemben, mint külön-külön.

A szervezetben számos enzim járul hozzá a normális anyagcsere útján is keletkező szabadgyökök semlegesítéséhez, vagy kevésbé káros molekulává való átalakításukhoz, ilyen enzim például a szuperoxid-dizmutáz (SOD), kataláz vagy a glutation-peroxidáz (GSHpx). Ezek mellett azonban fontos feladata van azoknak az enzimeknek is, amelyek a káros végtermékeket bontják, például az alkoholokat, aldehideket, alkánokat. Végül kiemelkedő a DNS és egyéb, már károsodott molekulák „kijavítását”, rekonstrukcióját végző (ún. repair) enzimrendszerek (DNS-javító enzimek, aldózreduktázok, aldehydreduktázok stb.) szerepe is.

A nem enzimatisz védelemi rendszerek csoportjába sorolhatók a kis molekulatömegű vegyületek, úgymint a flavonoidok (kvercetin, miricetin), a vitaminok (A-, C-, E-, K-vitamin), a karotinoidok, a tioltartalmú vegyületek (cisztein, metionin), nyomelemek (vas, cink, szelén) stb.

A polifenolok az antioxidánsok közé tartoznak, ezen hatásukat, mely egyben a legfontosabb tulajdonságuk, a lipidperoxidáció gátlásán keresztül érik el. Növényi eredetű, másodlagos anyagcseretermékek, és rendkívül szerteágazó molekulacsaládot alkotnak. Kémiai értelemben talán az egyetlen közös sajátosságuk, hogy található bennük egy benzolgyűrű, melyhez egy (vagy több) hidroxilcsoport kapcsolódik. Az irodalom több mint 8000 különböző ismert polifenolról számol be. A növény szempontjából vizsgálva, a polifenolok legismertebb funkciói a növényi sérülések, növényi vírusok vagy mikrobák okozta fertőzések elleni védelemhez, a beporzó állatok virághoz csábításához, illetve a növény UV-expozíciója elleni védekezéshez kapcsolódik. A humán szervezetbe a polifenolok növényi eredetű élelmiszerekkel jutnak be. Az átlag európai fogyasztó esetén a szervezetbe bevitt polifenolok mintegy felét ún. nem flavonoid típusú polifenolok teszik ki. Ennek a csoportnak a legfontosabb szereplői – az összes polifenolbevitel 27–53%-át kitevő – klorogénsavak. Ezek jelentős része elsősorban a kávéfogyasztásból származik. A polifenol-fogyasztás másik legjelentősebb csoportját jelentik a gyümölcsökkel, zöldségekkel, olajos magvakkal, borral, csokoládéval, fűszerekkel bevitt flavonoidok (flavonolok, flavanonok, flavan-3-olok, proantocianidinek). Epidemiológiai és klinikai vizsgálatok tucatjai igazolták a polifenolokban gazdag táplálkozás jótékony hatását egyes krónikus betegségek megelőzésében. Többek között a szív- és érrendszeri megbetegedések, egyes ráktípusok, vagy a II-es típusú diabétesz megelőzése kapcsán látszanak valóban biztató eredmények (Abrankó, 2018).

A karotinoidok a növényi pigmentek egyik legfontosabb osztályát alkotják, és döntő szerepet játszanak a gyümölcsök és zöldségek minőségi paramétereinek meghatározásában. Főleg növényekben, algákban és fotoszintetikus baktériumokban található meg, ahol fontos szerepet játszanak a fotoszintetikus folyamatban. Mintegy 600 különböző karotinoidot ismerünk. A karotinoidokat szerkezetük alapján két csoportba sorolhatjuk: az egyik csoport a szénhidrogén karotinoidok, amelyek karotinokként ismertek, például β -karotin (A vitamin provitaminja). A másik csoport pedig az oxigénezett karotinoidok csoportja, amelyek ezeknek a szénhidrogéneknek a származékai, másnéven xantofiliek, például a zeaxanthin és a lutein. A természetben található több mint 600 karotinoidból körülbelül 40 van jelen egy tipikus emberi étrendben. Ezen karotinoidok közül csak 14-et és néhány metabolitjukat azonosítottak a vérben és a szövetekben. A növényekben betöltött antioxidáns funkciójuk érdekes párhuzamokat mutat az élelmiszerekben és az emberekben betöltött potenciális antioxidáns szerepükkel. Antioxidáns hatásuk a szingulett oxigént kioltó tulajdonságaikon és a peroxilgyökök megkötésére való képességükön alapul. A karotinoidok legjobban dokumentált antioxidáns

hatása az a képességük, hogy kioltják a szingulett oxigént. Ez egy gerjesztett karotinoidot eredményez, amely képes az újonnan felvett energiát az oldószerrel való forgási és vibrációs kölcsönhatások sorozatán keresztül eloszlatni, így regenerálja az eredeti gerjesztetlen karotinoidot, amely újra felhasználható a szingulett oxigén kioltásának további ciklusaihoz. Számos epidemiológiai tanulmány összefüggésbe hozta a magas karotinoid bevitelt a krónikus betegségek előfordulásának csökkenésével, az ilyen védelem biológiai mechanizmusai azonban jelenleg nem teljesen tisztázottak. A karotinoidok ezen kívül számos egyéb előnyös egészségügyi hatással is rendelkeznek, amelyek összefüggésbe hozhatók antioxidáns potenciáljukkal: az immunrendszer működésének fokozása, a légzés elleni védelem és bizonyos típusú rákos megbetegedések kialakulásának gátlása (Nasser et al, 2013).

Appenroth és munkatársai 2017-ben végzett tanulmánya alapján kijelenthető, hogy a békalencse átlagos antioxidáns tartalma magas, a többi fehérjenövényhez képest kiemelkedő mennyiségben tartalmaz luteint és zeaxantint (10. táblázat). Az életkorral összefüggő makuladegerenáció megelőzése érdekében érdekes lehet további kutatásokat folytatni a növényvel kapcsolatban. A benne található zsírsavakban előforduló n6/n3 arány erősíti a növényben található xantofilok hatását, amely szinergikus hatást fejt ki az egészséges látást támogató karotinoidokkal, például a luteinnel és zeaxanthinnal. A benne megtalálható viszonylag magas tokoferoltartalom, valamint fitoszteroltartalom (ötször magasabb, mint más növényi olajokban) pedig tovább növeli a békalencse táplálkozásbiológiai értékét. A fitoszterolok iránti táplálkozási érdeklődés abból a tényből ered, hogy a fitoszterolok képesek csökkenteni a vérplazma koleszterinszintjét és az LDL koleszterint (Appenroth et al., 2018).

10. táblázat: Közvetlen napsugárzásnak kitett *Lemna minor* növény egyes összetételre vonatkozó adatai (Polutchko et al 2022)

	% a szárazanyagban
Polifenolok	32,1
Tanninok	2,4
	mg/g szárazanyag
Zeaxanthin	0,34
Lutein	0,84
Béta-karotin	0,29
Alfa-tokoferol	0,14
Xantofilok	1,62
Karotinoidok	1,91

3. Anyagok és módszerek

3.1. Felhasznált anyagok

A vizsgálatokhoz használt békalencse (*L. minor*) mintát egy kínai, növényi alapanyagokkal foglalkozó gyártótól (Hunan MT Health Inc) szereztem be, mely minta minőségi tanúsítvánnyal rendelkezik, élelmiszeripari felhasználásra alkalmas. A tanúsítványa alapján 12% nedvesség- és 12% hamutartalommal bír. A gyártásához felhasznált növény vadon termett, a késztermék pedig forró levegőn szárított, 250 mikronos szemcseméretűre őrölt *Lemna minor* por (<http10>).

A szójamag liszt és a csillagfürtmag liszt mintákat a MATE Táplálkozástudományi Tanszéke biztosította számomra.

3.2. Nyersfehérje tartalom meghatározása Kjeldahl módszerrel

Élelmiszeripari nyersanyagok és élelmiszerek fehérjetartalmának meghatározására leggyakrabban a nitrogéntartalom mérésen alapuló Kjeldahl módszert alkalmazzák. Ennek során tulajdonképpen a vizsgált anyag nitrogéntartalmát határozzák meg és ebből számítják ki a nyersfehérje mennyiséget. A fehérjék nitrogéntartalma átlagban 16% körüli, ezért a meghatározott nitrogéntartalom 6,25 – dal szorozva adja az anyag fehérjetartalmát. Az élelmiszerekben azonban nem csak fehérjékhez kötött nitrogén van, hanem más nitrogéntartalmú vegyületeket is (pl. amidokat, nitrátokat, ammóniát, biogén aminokat stb) tartalmazhatnak. Ezeknek a vegyületeknek a nitrogéntartalmát a Kjeldahl-féle módszerrel együtt határozzák meg a fehérjékkel, ezért az így kapott fehérjetartalmat megkülönböztetésül a valódi fehérjetartalomtól, nyersfehérjének nevezzük.

A Kjeldahl-féle fehérje meghatározási módszer két fő lépést tartalmaz: roncsolást majd desztillálást. A roncsolás cc. H_2SO_4 -ban, vagy erős savak keverékében, 400°C körüli hőmérsékleten, forráspont-növelő só (K_2SO_4) és az oxidációs folyamatot gyorsító katalizátor (Cu, Hg, Se) jelenlétében zajlik. A folyamat során a szerves anyagok szénláncai, oxigén- és hidrogén tartalma CO_2 -ra és H_2O -re bomlik, míg a főleg aminosavakból származó nitrogén ammónium-sók (ammónium-hidrogén-szulfát, ammónium-szulfát) formájában lesz jelen a tömény savas oldatban. A roncsolás vízelvonással, szenesedéssel, majd az oldat kitisztulásával jár, a folyamat időigénye a mintamátrixtól függ. A roncsolási folyamat befejeztével a savas oldat ammóniatartalmát fel kell szabadítani sójából, amit desztillált vízzel történő hígítás után, tömény lúg (általában 33 %-os NaOH) adagolásával oldanak meg. A felszabadult ammóniát vízgőzdesztillációval kihajtják az oldatból, a desztillátumot erős vagy gyenge savas

fogadóoldatban fogják fel. Az átdesztillált ammónia mennyiségét: a) erős savas (HCl vagy H_2SO_4) fogadóoldat esetében erős lúg (NaOH) mérőoldattal, b) gyenge savas (bórsav) fogadóoldat esetében erős sav (HCl vagy H_2SO_4) mérőoldattal titrálják vissza. A mérőoldat fogyásából az aktuális átszámítási faktor alkalmazásával számítjuk ki a vizsgálati minta fehérjetartalmát (Csapó et al., 2020).

3.3. Aminosavtartalom meghatározása kromatográfiával

Az aminosavak minőségi és mennyiségi meghatározására csaknem kizárólag kromatográfiás módszerek terjedtek el. Általánosságban elmondható, hogy az aminosavak együttes szelektív meghatározására alkalmas műszeres analitikai módszerek három fő lépése a következő: a fehérje aminosavakká történő hidrolízise, a keletkezett aminosavak kromatográfiás elválasztása, és az aminosavak kimutatása, mennyiségi meghatározása. Az aminosavak meghatározásának első lépése az élelmiszerekben lévő fehérjék hidrolízise a peptidkötések bontásával. A hidrolízist követi a felbontott peptidkötésekből felszabaduló aminosavak elválasztása, azonosítása és mennyiségi meghatározása (Lengyelné et al., 2022). Az aminosav-analízist AAA 400 (Ingos Kft., Csehország) típusú Automata Aminosav Analizátorral végeztük (7. ábra).

7. ábra: AAA Automata Aminosav Analizátor (Forrás: saját fotó)



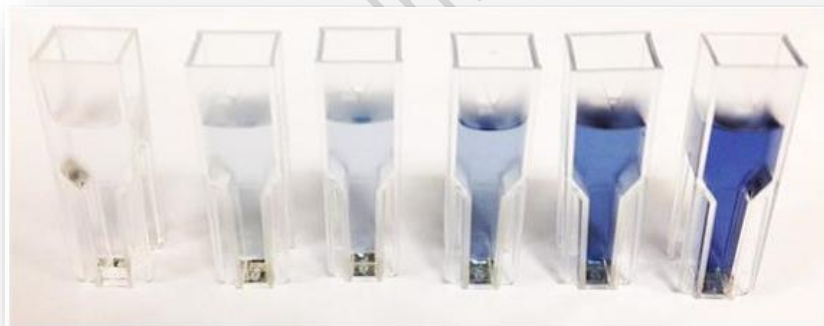
A mintákból 1-1 grammot mértem ki analitikai mérleggel 12 cm³-es hidrolizáló csövekbe, majd 10 cm³ 6 M HCl oldattal 24 órán keresztül 110°C-on hidrolizáltattam száraz blokktermosztátban, ezt követően 4 M NaOH oldattal semlegesítettem (Csapó et al., 2020). Térfogatra-töltés és homogenizálás után a mintákat redős szűrőn, majd 0,22 nm-es

fecskendőszűrőn átszűrtem. Az így előkészített mintákat megfelelő hígításban vizsgáltam. A savas hidrolízis következtében a triptofán indolcsoportja elbomlik, ezért ezzel a minta előkészítéssel ez az aminosav nem határozható meg. Az elválasztás során gradiens elúciót alkalmaztam lítium-citrát alapú pufferek segítségével. Az oszlop OSTION LG ANB kationcserélő gyanta (200 x 3,7mm) volt. A kromatogramokat CHROMULAN V 0.82 (PIKRON, Csehország) program alkalmazásával értékeltem ki. A minták aminosav paramétereinek összehasonlítása során három párhuzamos mérést végeztünk.

3.4. Összes polifenol tartalom meghatározás

Az összes polifenol tartalom (TPC) meghatározása Folin-Ciocalteu reagenssel történt Singleton és Rossi (1965) módszere alapján. Ennek lényege, hogy a Folin-Ciocalteu reagensben lévő sárga színű Mo (VI) - ionok az antioxidánsok hatására kék színű Mo (V) – té redukálódnak (8. ábra), melyet 765 nm-en, spektrofotométer (9. ábra) segítségével mérhetünk.

8. ábra: A minták hígítási sora Folin-Ciocalteu reagens hozzáadása után (Forrás: saját fotó)



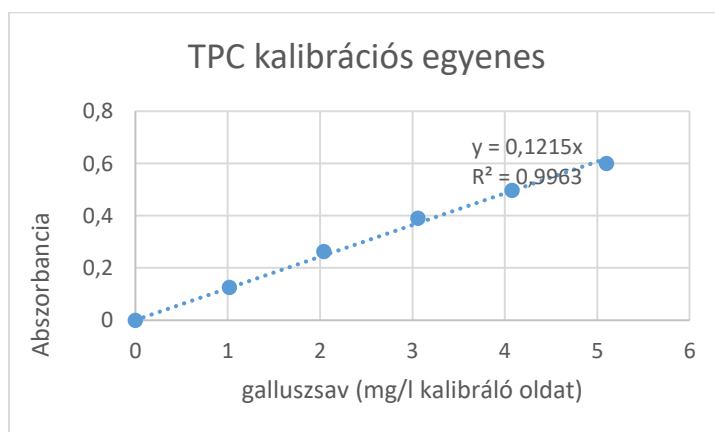
A színeképződés csak bázikus körülmények (~ pH 10) között megy végbe. A módszer hátránya, hogy lúgos (nem fiziológiás) pH-n zajlik a reakció és nem szelektív a polifenolokra. A minták összpolicenol tartalmának összehasonlítása során valamennyi minta esetében három párhuzamos mérést végeztem.

9. ábra: Thermo GENESYS™ 10UV UV-Vis Spectrophotometer, 120 V (Forrás fotó)



Az oldószerként szolgáló alkoholos extrakciós oldatot a mérendő mintákhoz 80%-os metanol: 1%-os sósav: desztillált víz arányban készítettem el. A mintákat 1 percig kevertem DLAB MX-S Vortex keverő használatával (DLAB Instruments Ltd, Dlaboratory, Lund, Svédország), majd 200 rpm-es fordulatszámmal 2 órán keresztül rázattam 25°C-os hőmérsékleten Gerhardt termosztálható körkörös síkrázóval (Kambič, Semič, Szlovénia). A ráztatás után a mintákat 6000 rpm fordulatszámon 20 percig centrifugáltam 20°C hőmérsékleten Hettich MIKRO 22 R laboratóriumi centrifugával. Az eredményeket három mérési ismétlés alapján, egy galluszsavból készült kalibrációs görbe (10. ábra) segítségével mg galluszsav/100g szárazanyag egységben fejeztem ki.

10. ábra: TPC kalibrációs egyenes



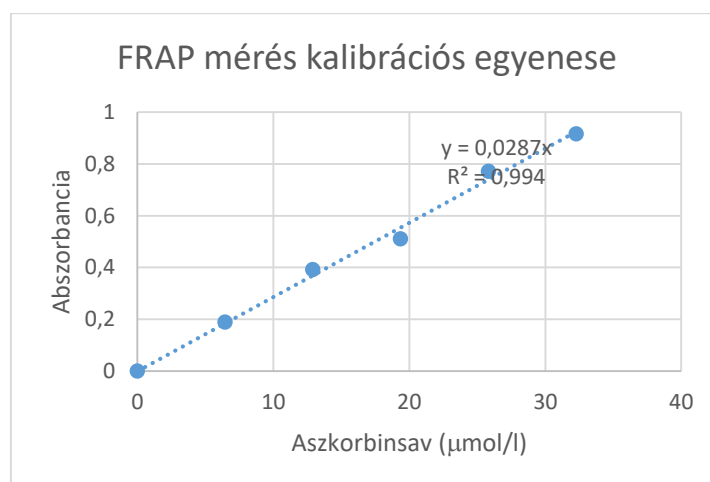
3.5. Antioxidáns kapacitás mérése FRAP módszerrel

Az *in vitro* antioxidáns kapacitás mérésére alkalmas módszerek csoportosítása a reakciómechanizmus alapján lehetséges. Így megkülönböztetünk hidrogénátvitelen és elektronátmeneten alapuló módszereket. A hidrogénátvitelen (HAT) alapuló módszerek között az ORAC (oxigéngyökfogó kapacitás), a TRAP (teljes peroxilgyökfogó kapacitás), a luminolgyökfogó kapacitás (fotokemilumineszcencia mérése), a krocín és más karotinoid vegyületek elszíntelenedésén alapuló módszerek szerepelnek. Az elektronátmeneten alapuló mérések között a FRAP (ferri-ionok redukálásán alapuló módszer), a CUPRAC (Cu^{2+} -ionok redukálásán alapuló technika), a TEAC [az ABTS, 2,2'-azino-bisz(3-etilbenzotiazolin-6-szulfonsav gyök semlegesítése), a DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil gyök semlegesítése) ismertek, valamint a krómionok (Cr^{6+}) redukálásán alapuló eljárást is kidolgoztak már (Huang et al., 2005).

A kísérleti minták antioxidáns kapacitását Benzie és Strain (1996) által kifejlesztett Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) módszer szerint határoztam meg. A módszerrel a vízzoldható antioxidáns aktivitás mérhető. A mérést savas közegben kell végezni, mert az antioxidánsok a Fe^{3+} -ionokat redukálják Fe^{2+} ionokká. Ha a redukció megtörtént, egy színes komplexet kapunk, amelyet fotométerrel mérhetünk 593 nm hullámhosszon, így kimutatható az antioxidánsok koncentrációja.

A mérés elvégzéséhez szükség volt többféle oldat elkészítésére, beleértve az acetát puffert, a $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -t és a tripiridil-s-triazin (TPTZ) oldatot, hiszen az FRAP reagens ezen oldatok adott mennyiségéből tevődött össze, úgymint: 25 ml Na-acetát puffer (pH=3,6), 2,5 ml FeCl_3 és 2,5 ml TPTZ oldat. Az abszorbanciát 5 perc eltelte után mértem spektrofotométerrel. Az eredményeket aszkorbinsavval készített kalibrációs görbe (11. ábra) segítségével értékeltem ki, majd azokat mg aszkorbinsav/g szárazanyagban adtam meg.

11. ábra: FRAP kalibrációs egyenes



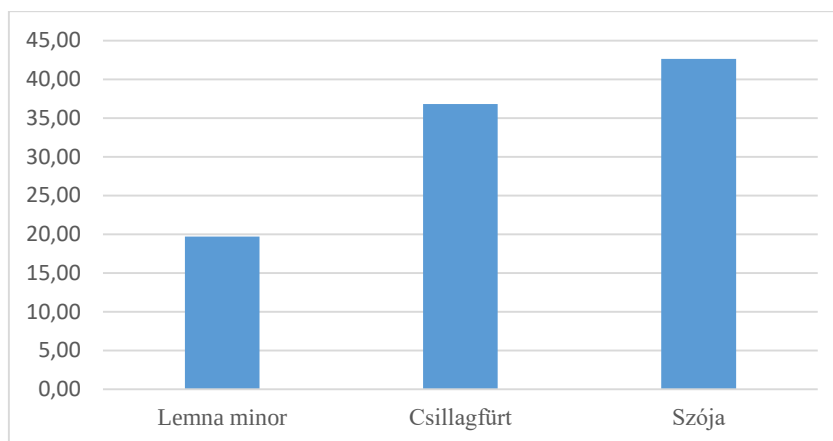
A módszer hátránya, hogy a vasionok rossz oldékonysága miatt a reakció jóval a fiziológiai pH (enyhén savas, közel semleges) alatti tartományban zajlik, így a technika nem érzékeny a tiol típusú antioxidánsokra (pl. glutation). A karotinoidok sem rendelkeznek vasredukáló képességgel, egyes komponensek (pl. kávéssav, ferulasav) reakcióideje pedig hosszabb az általánosan alkalmazottnál, ezért azokat a FRAP nem méri. A minták antioxidáns paramétereinek összehasonlítása során valamennyi minta esetében három párhuzamos mérést végeztem.

4. Kísérleti eredmények és értékelésük

4.1. Fehérjetartalom

Méréseim eredményeként a három minta Kjeldahl módszer szerint meghatározott nyersfehérje tartalma a 12. ábrán látható.

12. ábra: A minták Kjeldahl szerinti nyersfehérje tartalma %-ban, szárazanyagra vonatkoztatva



Összehasonlítva a csillagfürtmag liszt, a szójaliszt és a békalencse mintákban mért nyersfehérje tartalmat látható, hogy a békalencse mintánk 20 % alatti, míg a szójaliszt mintánk 40 % feletti fehérjetartalommal rendelkezik, a csillagfürtmag pedig a szintén elég magas, 35 % feletti nyersfehérje tartalommal rendelkezik. Összehasonlítva tehát a három mintát, a békalencse rendelkezik szárazanyagtartalmában a legalacsonyabb nyersfehérje tartalommal.

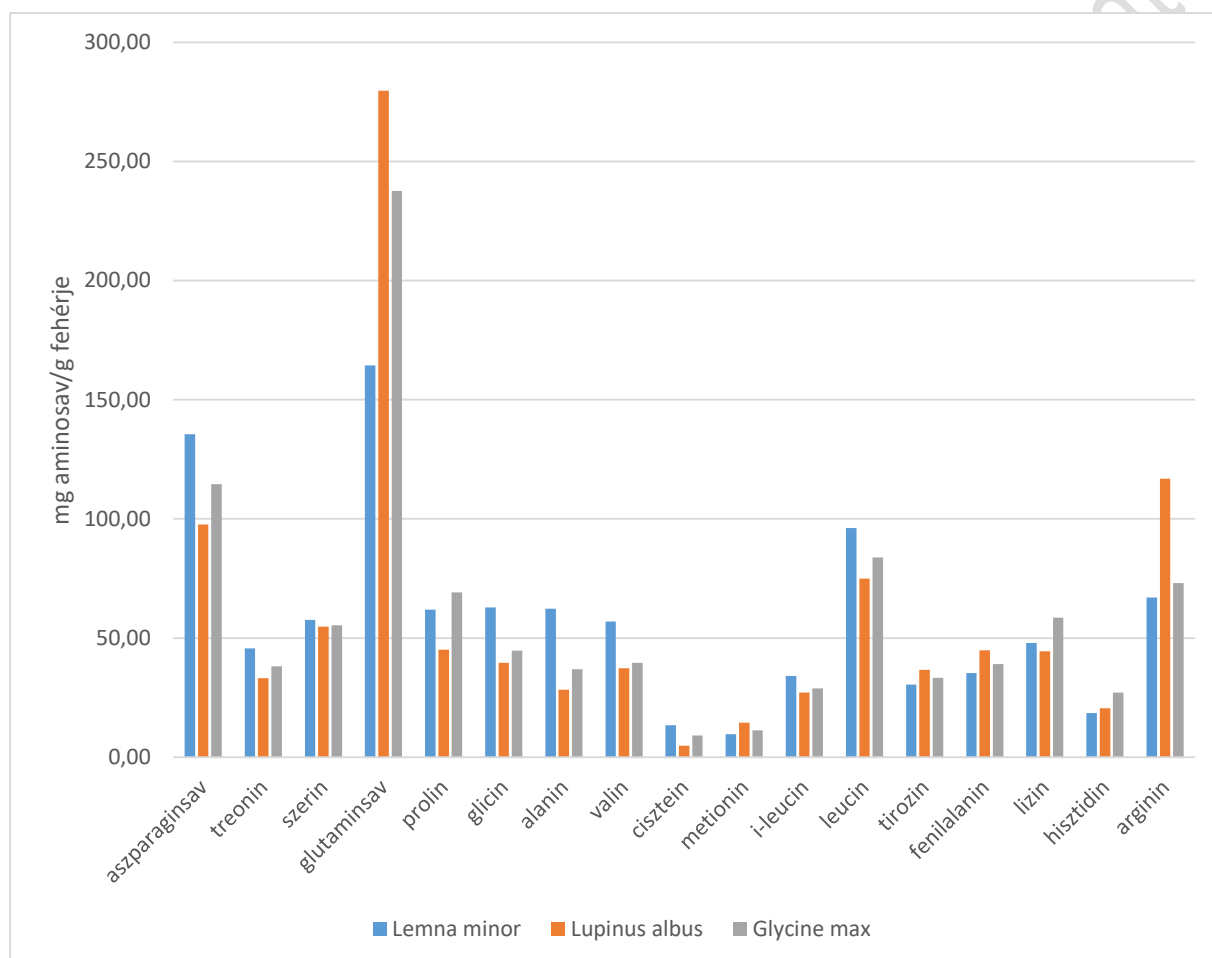
Fontosnak tartom azonban megemlíteni, hogy a vásárolt békalencse mintát nem ellenőrzött körülmények között termesztették, azt vadon szüretelték, a szakirodalmi részben pedig ismertettem, hogy a termesztés körülményei jelentős befolyással bírnak a növény nyersfehérje tartalmára, különböző termesztéskori manipulációval a fehérjetartalmat akár 40 – 50%-ra is fel lehet emelni, fehérjehozama t/h értékben így akár 20-szor magasabb is lehet, mint a másik két növénynek.

Kiemelném még továbbá, hogy a békalencse nem tartalmaz antinutritív anyagokat, akár nyersen is fogyasztható a másik két vizsgált növényvel szemben.

4.2. Aminosavtartalom meghatározása kromatográfiával

Mindegyik mintára 3 párhuzamos mérést végeztem, majd ezek átlagolt értékeivel számoltam tovább. A kromatografálás során kapott aminosav eredmények között nem szerepel a triptofán, mivel indol-csoportja a savas mintaelőkészítés hatására elbomlott, így ez az aminosav nem mutatható ki ezzel a mintaelőkészítési eljárással. Az aminosav analízis eredményeit a 13. ábrán foglaltam össze, a kapott értékeket mg/g fehérje-értékben kifejezve.

13. ábra: A vizsgálati minták aminosav összetétele



Méréseim alapján kijelenthető, hogy a békalencse a következő aminosavakból tartalmaz jelentősebb mennyiséget (a vizsgált csillagfűrtmag liszthez és szójameg liszthez hasonlítva): aszparaginsav, glicin, alanin, valin, leucin és izoleucin.

Az aszparaginsav és az alanin nem esszenciális aminosavak. Fogyasztásuk jelentőségét sportolóknál sok tanulmányban vizsgálták már, azonban teljesítménycsökkentő hatása teljes

bizonyossággal még nem jelenthető ki, további vizsgálatok szükségesek ennek deklarálhatóságára (Quesnele et al., 2013).

A glicin egészségre gyakorolt pozitív hatása régóta ismert, sok tanulmány támasztja alá a kiegészítő glicin szerepét számos betegség és rendellenesség, köztük a rák megelőzésében. A megfelelő dózisú glicin étrend-kiegészítése hatásos lehet a szív- és érrendszeri betegségekben, számos gyulladásos betegségben, elhízásban, rákos megbetegedésben és cukorbetegségben szenvedő betegek anyagcserezavarainak kezelésében. A glicin az alvás minőségét és a neurológiai funkciókat is javíthatja (Razak et al., 2017).

Az elágazó láncú aminosavak (BCAA), tehát a leucin, az izoleucin és a valin tekintetében a békalencse minta mindkét másik vizsgált anyagnál magasabb értékeket mutatott. Ez utóbbi három aminosav azért kiemelt fontosságú, mivel az emberi izomszövet nélkülözhetetlen aminosavainak harmadát teszik ki. 2011-ben Gualano és mtsai egy vizsgálat keretein belül tanulmányozták ezen aminosavak hatásait sportolóknál. Azok a sportolók, akik BCAA kiegészítést kaptak, sokkal tovább bírták a terhelést, később fáradtak el a kontrollcsoport tagjaihoz képest (akik nem kaptak kiegészítést). Ezen kívül a BCAA elősegítette a zsírsavak oxidációját abban az esetben, mikor az izomglikogén mennyisége már lecsökkent. A leucin, izoleucin és valin mennyisége mellett azok bevitelének aránya is nagyon fontos. Duan és mtsai (2016) megvizsgáltak két különböző arányú BCAA-keverék (leu:izol:val – 4:1:1, illetve 1:1:1) hatását az emberi szervezetre. Az eredmények azt mutatták, hogy a 4:1:1 arányú keverék növelte nagyobb mértékben a sejtek vitalitását, és elősegítette a sejtosztódást. A békalencsében általam meghatározott BCAA arány (hozzávetőlegesen 3:1:1,5) közelít a Duan és munkatársai (2016) által megállapított ideális arányhoz, ez a tény szintén növeli a növény táplálkozásbiológiai értékét mind a humán táplálkozásban, mind takarmányozás esetén. A békalencsében található BCAA ideális aránya esetleges komplettálással könnyen megvalósítható lenne. A vizsgált mintáim közül még a szójalisztben található BCAA arány volt közel az ideálishoz: leu:izol:val - 3:1:1,3.

Az egyes aminosavak átlagolt értékeit összeadtam, majd g/100g-ra történő átváltással meghatároztam az összfehérje-tartalmakat. A Kjeldahl módszer alapján mért nyersfehérje tartalom, valamint az aminosav-analízis során mért valódi fehérje tartalom különbségeként megkapjuk a vizsgált anyagokban található, nem fehérjéhez kötött nitrogéntartalmú vegyületek arányát (11. táblázat). Ezekből a békalencsében található a legkevesebb mennyiség, a szójamag lisztben pedig a legmagasabb mennyiség.

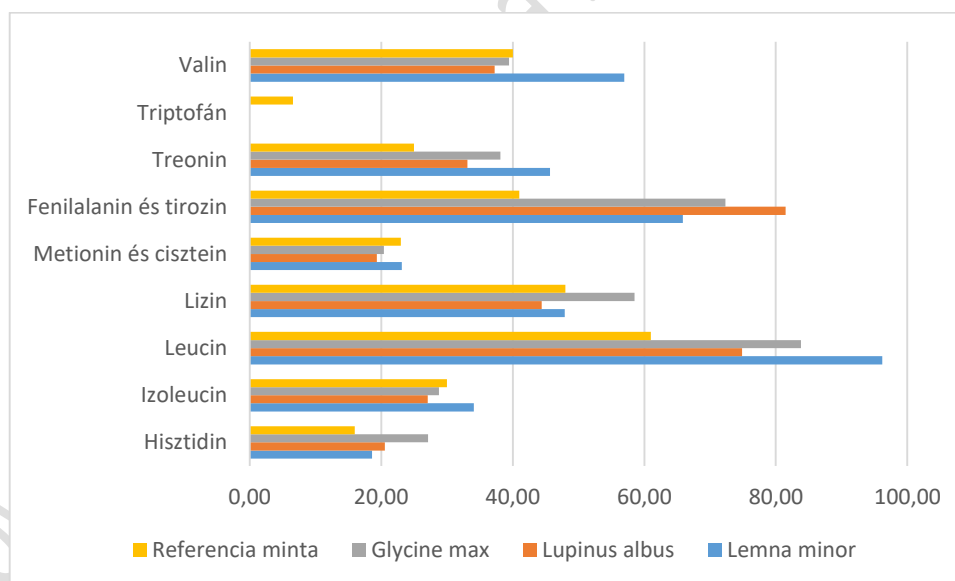
11. táblázat: Vizsgálati minták nyers- és valódi fehérje mennyiségének összehasonlítása

	Békalencse	Csillagfűt mag	Szójabab
Kjeldahl által meghatározott nyersfehérje tartalom	19,72%	36,83%	42,65%
Valódi fehérje tartalom	19,06%	35,66%	40,59%
Egyéb nitrogéntartalmú vegyületek	0,66%	1,17%	2,06%

4.2.1. Esszenciális és limitáló aminosav-tartalom

A 14. ábrán a minták esszenciális aminosav tartalmát foglaltam össze, az eredményt mg/g fehérjében megadva, feltüntetve a WHO által meghatározott referencia fehérje aminosav összetételét is.

14. ábra: A minták és a referencia fehérje esszenciális aminosav tartalma (mg/g fehérje)



A vizsgált békalencse mintában minden esszenciális aminosav (hisztidin, izoleucin, leucin, lizin, metionin, fenilalanin, treonin, valin) megtalálható. (A triptofán mennyiségét a mintaelőkészítési módszer miatt nem tudtam meghatározni.)

A békalencse esszenciális aminosav tartalma a legmagasabb (38,84 g/100g fehérje), bár a két másik fehérjenövény sem sokkal marad el mögötte, a vizsgált szója minta esszenciális aminosav tartalma 36,85 g/100g, míg a csillagfűt 33,8 g/100g.

Vizsgálataim alapján kijelenthető, hogy a békalencse szárítmányban a leucin, fenilalanin+tirozin, valin, lizin és treonin tartalom jelentős. Leucin és valin tartalma a szójával és a csillagfürttel összehasonlítva is kiemelkedő.

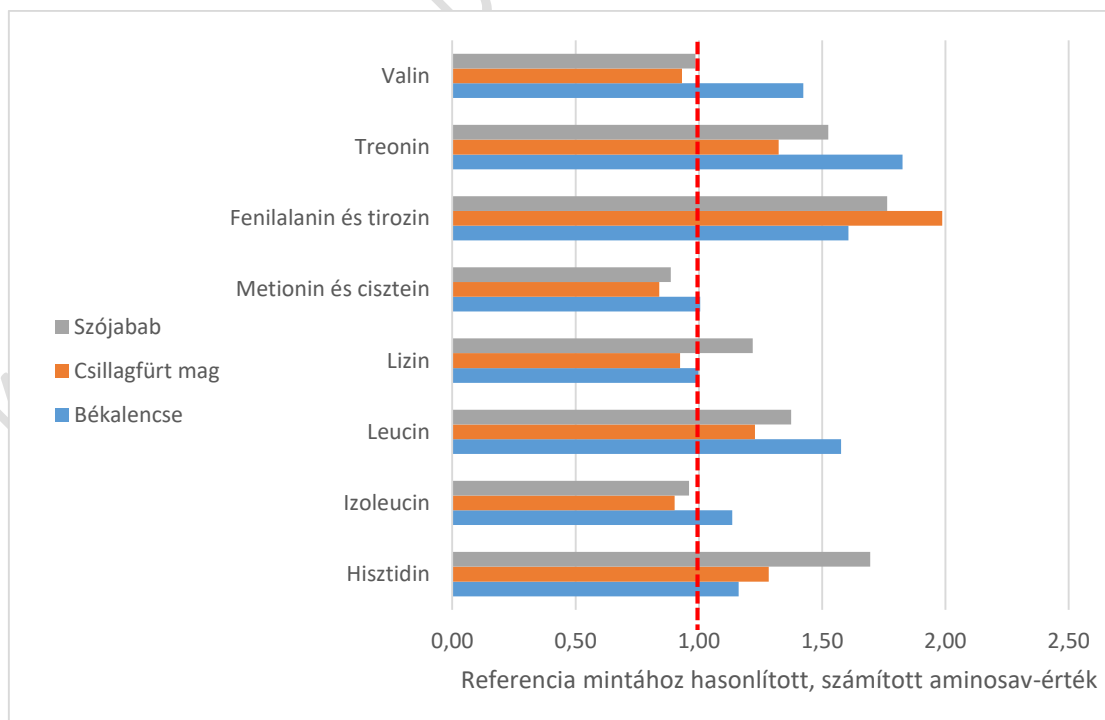
Az esszenciális aminosavak meghatározása után kiszámoltam az egyes vizsgálati minták (12. táblázat) aminosav-értékét (amino acid score, AAS). Ez a hányados határozza meg az adott fehérjét felépítő aminosavak relatív hiányosságait. Számításakor a vizsgált fehérjeforrás aminosav-tartalmát (mg/g fehérje) elosztottam a referencia fehérje aminosav-tartalmával (mg/g fehérje). Ezt az elméleti referencia fehérjét, ami ideális arányban tartalmazza az esszenciális aminosavakat, a FAO/WHO szakemberei alkották meg. Az értékeléshez a felnőtt kornak megfelelő referencia fehérje összetételét vettem alapul, az eredményeket a 12. táblázatban foglaltam össze. A kapott arányszámok 1- hez való közelségéből megállapítható, hogy az adott minták mennyire felelnek meg a FAO/WHO referencia fehérje összetételének. A legkisebb, 1 alatti AAS-sel rendelkező esszenciális aminosav pedig a limitáló jelzővel definiálható. (Limitáló aminosavaknak nevezzük azokat az aminosavakat, amelyek az igényekhez képest a legkisebb mennyiségben vannak jelen és meghatározzák a többi aminosav beépülését). A mérés során a két kéntartalmú aminosavak, a metionin és a cisztein, valamint a fenilalanin és a tirozin eredménye összesítve, egy adatként kerül megadásra. Ezek az aminosavak a szervezetben átalakulnak egymásba, egymást helyettesítő aminosavak. A FAO/WHO által meghatározott referenciafehérje összetételében is együttesen kerülnek meghatározásra (FAO, 2018).

A békalencse kedvezőbb esszenciális aminosav összetétele miatt értékesebb fehérjeforrásnak tűnik (15. ábra). Ennek értékelése érdekében további számításokat végeztem, a kapott eredményeket összehasonlítottam a FAO/WHO referencia fehérje esszenciális aminosav összetételi értékeivel.

12. táblázat: A vizsgálati minták esszenciális és limitáló aminosav mérési eredményei

Esszenciális aminosavak	Referencia fehérje (mg/g fehérjeszükséglet)*	Lemna minor	AAS	Csillagfürt	AAS	Szójabab	AAS
Hisztidin	16	18,58	1,16	20,54	1,28	27,13	1,70
Izoleucin	30	34,06	1,14	27,05	0,90	28,79	0,96
Leucin	61	96,21	1,58	74,88	1,23	83,84	1,37
Lizin	48	47,90	1,00	44,38	0,92	58,51	1,22
Metionin és cisztein	23	23,15	1,01	19,32	0,84	20,40	0,89
Fenilalanin és tirozin	41	65,86	1,61	81,49	1,99	72,31	1,76
Treonin	25	45,65	1,83	33,10	1,32	38,12	1,52
Triptofán	6,6	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Valin	40	56,97	1,42	37,27	0,93	39,44	0,99
Összes mg/g		388,38		338,02		368,54	
Összes g/100g		38,84		33,8		36,85	

15. ábra: A referencia fehérjéhez hasonlított aminosav értékek (AAS)



A mérések eredménye alapján megállapítható, hogy a vizsgált békalencse mintának nem volt 1 alatti AAS értéke, vagyis nem található benne limitáló aminosav. A 14. táblázatban feltüntetett eredményeim alapján elmondható, hogy a vizsgált békalencse minta esetén az összes esszenciális aminosav érték 1 fölött van, tehát az aminosavak kellő mennyiségben állnak rendelkezésre a békalencse fehérjében, vagyis az adott fehérje ki tudja elégíteni a szükségletet. A vizsgált mintában található treonin-, fenilalanin+tirozin-, leucin- és valin-tartalom a referencia-mintához képest is jelentős mennyiségben kimutatható. Az elágazó láncú leucin, izoleucin és valin kiemelkedő aránya a fehérjében különösen fontos, hiszen ezek az izomfehérjék építésében meghatározó aminosavak általában a növényi fehérjékben kisebb arányban vannak jelen, de gyakran az állati fehérjékben sem megfelelő az arányuk. Ezért békalencse, illetve annak fehérjére megfelelő arányban adagolva más növényi vagy állati fehérjéhez komplettálhatja, illetve optimálhatja ezen aminosavakat.

A csillagfürt minta esetében a referencia-mintához képest a metionin+cisztein, a lizin, a valin és az izoleucin értékeiben kaptunk alacsonyabb értékeket, a vizsgálati eredmények alapján limitáló aminosavaknak a kén-tartalmú aminosavak bizonyultak ennél a mintánál (metionin+cisztein). Ezen felül a csillagfürt lizin-, izoleucin- és valintartalma is alacsonyabb a referenciaértékeknél.

A szójabab esetében szintén a metionin+cisztein bizonyult a limitáló aminosavnak, hiszen ezt tartalmazta legkisebb mennyiségben, valamint ebben a mintában a valin és az izoleucin mennyisége lett alacsonyabb a referencia mintához képest.

Mindkét hüvelyes növény hiányzó esszenciális aminosav tartalmát komplettálhatjuk a békalencse fehérje hozzáadásával.

4.2.2. Emészthetőség

A fehérjék mennyisége és aminosav-összetétele valójában csak összehasonlítást tesz lehetővé, hiszen a hasznosulás az élelmiszerekből, mint komplex rendszerből történik. Az emésztés és a felszívódás nem önállóan a fehérjéket érinti, hanem az ételként elfogyasztott fehérjéből, szénhidrátból, zsírból és egyéb makro- és mikroelemekből álló teljes rendszert. A növényi fehérjék hasznosulása, emésztése és felszívódása a jelenlévő rostok vagy antinutritív komponensek miatt hosszadalmas lehet, míg az állati fehérjék hozzáférését a zsírok nehezíthetik. A táplálkozástudományi vizsgálatokat ma már megkönnyítik azok az emésztési modellek, amelyek az emberi gyomor- és bélrendszer működését imitálják, és amelyek

vizsgálják a komplex élelmiszerek emészthetőségét és felszívódását. Ilyen modellek segítségével állapítják meg a szakemberek az emészthetőségi együtthatót (%) egyes tisztított fehérjékre, növényi és állati eredetű élelmiszerekre vonatkozóan. Szakirodalomból kigyűjtöttem a vizsgált minták emészthetőségi együtthatóját (13. táblázat), hogy azok segítségével további értékeléseket végezhessek el. A békalencse emészthetőségét Anjana Dewanji, indiai kutató vizsgálta meg más akvakultúrák növényekkel együtt, még 1993-ban. Pepszin-pankreatin alkalmazásával végzett in vitro emészthetőségi tesztek segítségével a békalencse emészthetőségét 78%-ban határozta meg. A szójabab és a csillagfürt emészthetőségi együtthatóinak értékei az Amerikai Élelmezésügyi- és Mezőgazdasági Hivatal (USDA) tápanyag-összetételi adatbázisából származnak (USDA Food Data Central database, [http11](http://11)).

13. táblázat: A vizsgált minták emészthetőségi együtthatója (D%)

Vizsgált minták	Emészthetőségi együttható (D%)
Békalencse	78%
Csillagfürt	90%
Szójabab	96%

4.2.3. PDCAAS

A fehérje biológiai értékének a meghatározására a FAO/WHO által elfogadott módszer a fehérje emészthetőséggel korrigált aminosav érték (PDCAAS). A PDCAAS értéket úgy állapítottam meg, hogy az adott fehérje aminosav értékét (AAS) korrigáltam a vizsgált minta emészthetőségével (14. táblázat).

14. táblázat: A fehérje emészthetőséggel korrigált aminosav érték

Vizsgált minták	Emészthetőség (D%)	AAS FAO/WHO ideális fehérje szerint	PDCAAS
Békalencse	78%	1	0,78
Csillagfürt mag	90%	0,84	0,75
Szójabab	96%	0,89	0,85

A WHO adatai szerint abban az esetben beszélhetünk ideális fehérjéről, ha annak értéke a PDCAAS skálán eléri az 1,00-t. Ha ennél magasabb értéket kapunk, akkor az esszenciális aminosav tartalom már nem javít tovább a fehérje minőségén, ezért a szakirodalom nem is használ egynél nagyobb számértéket. Abban az esetben, ha ez a PDCAAS érték 0, akkor az adott fehérjeforrás nem tartalmaz valamely esszenciális aminosavat vagy a szervezet számára emészthetetlen. A vizsgált békalencse minta PDCAAS értéke alacsonyabb ugyan, mint a szójababé, viszont magasabb, mint a csillagfürtmag liszté. Ez alapján számszerűsíthető, hogy a békalencse jó fehérjeforrás, habár elmarad a szójabab mögött. A csillagfürt emészthetőségi mutatója (90%) bár jóval magasabb, mint a békalencse esetében kapott érték (78%), a kalkulált PDCAAS értékek esetében már a békalencsénél tapasztalunk kedvezőbb eredményt. Az esszenciális aminosavak referenciafehérjét meghaladó értékei miatt a békalencse fehérje az emészthetőséggel korrigált aminosav pontszáma alapján értékesebb fehérjeforrás, mint a csillagfürt. Fogyasztásával, beépítve a humán táplálkozásba, komplettálhatjuk a gyengébb minőségű növényi fehérjéket.

4.2.4. Fehérjeminősítés

Az USA Élelmiszer-biztonsági és Gyógyszerészeti Hivatala kifejlesztette a napi referenciaértéket (Daily Reference Value, DRV%) a tápanyagokra, mely segítségével értékelhetjük, hogy az elfogyasztani kívánt élelmiszeradag fehérje mennyisége hány százaléka a napi fehérjeszükségletnek, azaz az étel (fehérjeforrás) milyen mértékben járul hozzá a napi fehérjeszükséglet kielégítéséhez. A számításhoz figyelembe veszik a vizsgált élelmiszer fehérjetartalmát, PDCAAS értékét és a napi fehérje szükségletet, amit egységesen 50 g-ra értelmeznek. Ha az élelmiszer DRV% értéke 10 és 19,9% között van, „jó fehérjeforrás” megnevezést kap, 20% felett pedig „kiváló fehérjeforrásnak” számít. Kiszámítottam a mintáink DRV% értékét (15. táblázat) és megállapítottam az ennek megfelelő minősítést 50 g élelmiszeradaggal számolva, a képlet a 16. ábrán található.

16. ábra: Fehérjeminőség értékeléséhez használt képlet

$$DRV\% = \frac{\text{élelmiszer fehérje tartalma (g)} \times \text{PDCAAS}}{\text{napi ajánlott bevétel (g)}} \times 100$$

15. táblázat: A vizsgálati minták fehérje minősítése

	Fehérjeteralom %	Élelmiszerradag (g)	Élelmiszerradag fehérjetartalma (g)	Napi fehérjeszükséglet	PDC AAS	DRV %	Értékelés
Békalencse	19,06	50	9,53	50	0,78	14,8	jó fehérjeforrás
Csillagfürt mag	36,83	50	18,415	50	0,75	27,62	kiváló fehérjeforrás
Szójabab	42,65	50	21,325	50	0,85	36,25	kiváló fehérjeforrás

A 15. táblázat adatai megmutatják, hogy a fehérje tartalom és a minőségre utaló esszenciális aminosav összetétel együttesen hogyan befolyásolják egy élelmiszer minősítését. A békalencse PDCAAS értéke a két hüvelyes növény értéke között foglal helyet, viszonylag alacsonyabb fehérjetartalma mellett is *jó fehérjeforrásnak* minősül. A legjobb minőségű fehérjeforrás a szójabab lett a három növény közül, azonban meg kell említeni, hogy a benne található antinutritív anyagok inaktiválása jelentős energia befektetéssel járhat.

Itt szeretném megjegyezni, hogy amennyiben a szakirodalmi részben megismert módon, ellenőrzött körülmények között termesztik a békalencsét, akár 40%-os fehérjetartalom is elérhető szárazanyag tartalomra vonatkoztatva, így a DRV% jelentősen növelhető. Ezen kívül a békalencse emészthetőségével kapcsolatban csak egy 1993-as (Dewanji) szakirodalmi adat állt rendelkezésemre, így a továbbiakban érdemes lenne olyan vizsgálatokat folytatni, amely a békalencse emészthetőségét, valamint megnövelt fehérjetartalmának táplálkozásbiológiai értékeit vizsgálja. Mindezek ellenére a vadon termett, szárított békalencse fehérjeminősítésére kapott jó eredmény így is figyelemreméltó.

4.2.5. Békalencse kontra rovarfehérje

A rovarok, mint új fehérje alternatívák, nemcsak kiváló beltartalmi paramétereik tekintetében jelenthetnek potenciált, hanem a fenntarthatóság szempontjából is. Előállításuk ugyanis sokkal kevesebb üvegházhatású gáz kibocsátásával járhat, továbbá kisebb földterületre és kevesebb vízre van szükség a termesztésük során, mint más növényi vagy állati fehérjeforrás esetén. Ezért összehasonlítottam a békalencse táplálkozásbiológiai értékét két általam kiválasztott rovarfehérje táplálkozásbiológiai értékével is. A házi tücsök (*Acheta domesticus*) lárvát és a

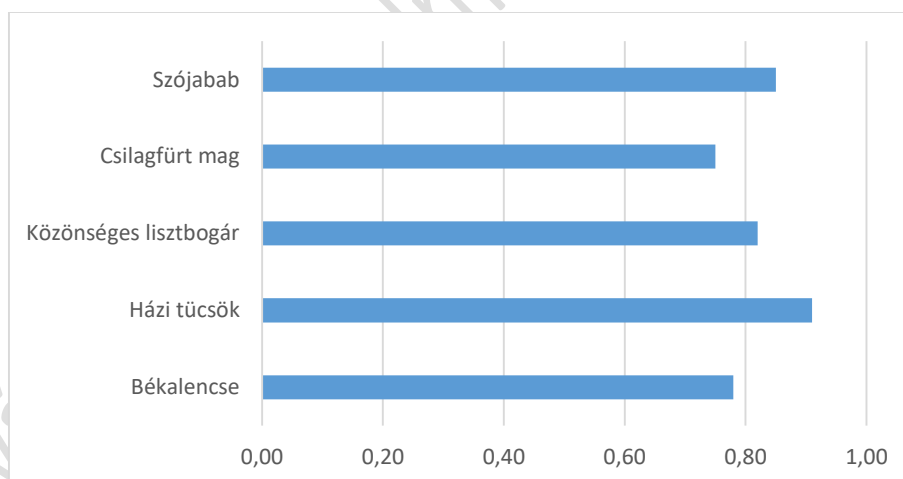
közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*) lárvát, mint jelenleg népszerű alternatív fehérjeforrást választottam, az értékeket a 16. táblázatban foglaltam össze szakirodalomból vett adatok alapján (Mézes M., 2018 és Gódor et. al., 2023).

Mindkét lárvát fehérjetartalma jóval magasabb, mint a vizsgált békalencse mintáé, az emészthetőségük azonban már nem mutat szignifikánsan magasabb értéket: a házi tücsök lárvát emészthetősége közel azonos mértékű a békalencséhez, a közönséges lisztbogár lárvát emészthetősége viszont magasabb. A fehérje emészthetőséggel korrigált aminosav értékeket (PDCAAS) összesítve a 17. ábrán mutatom be (Mézes M., 2018 és Gódor et. al., 2023).

16. táblázat: Békalencse és rovarfehérjék emészthetőségének és PDCAAS értékének összehasonlítása

	Fehérjetartalom % (száranyagban)	Emészthetőség D%	PDCAAS
Békalencse	19,06	78	0,78
Házi tücsök lárvát	62	80	0,91
Közönséges lisztbogár lárvát	53,4	92	0,82

17. ábra: Békalencse, szójabab, csillagfürt és rovarfehérjék biológiai értékének összehasonlítása a PDCAAS értékek alapján



A rovar eredetű fehérjék egy vagy több esszenciális aminosavban hiányosak lehetnek, emiatt a nagy mennyiségű fehérje hasznosulása kérdéses, hogy valóban fehérje építésre fordítódik-e a szervezetben, vagy dezaminálódva energiaszolgáltatóként hasznosul. Gódor és munkatársai 2023-ban végzett vizsgálata alapján a *Tenebrio molitor* (közönséges lisztbogár) lárvát esetén a metionin és a cisztein voltak a limitáló aminosavak, az *Acheta domesticus* (házi tücsök) lárvát esetében pedig a triptofán és a metionin tekinthető limitáló aminosavaknak Mézes Miklós 2018-as publikációja alapján. Ezzel szemben a békalencse kevesebb nyersfehérjét tartalmaz ugyan,

viszont limitáló aminosav hiányában a felszívódott aminosavakból a fehérjék felépülése akadálytalanul végbemegy.

A növényi fehérjeforrások akadályozó tényezője a kedvezőtlenebb emészthetőség, ami a rosttartalom, antinutritív tartalom következtében jön létre. A békalencse esetében a 78%-os emészthetőséggel számolva a fehérjék biológiai hozzáférhetősége szintén gyengül, kis mértékben alatta marad a PDCAAS érték (0,78) a közönséges lisztbogár lárvá esetén kapott 0,82-től.

Mind a rovarfehérjék, mind a hüvelyes fehérjék limitáló aminosavja a kéntartalmú metionin. A békalencse ebből az aminosavból a szükségeshez képest többet tartalmaz, így kiváló komplettáló ágens lehet ezen alternatív fehérjeforrások kiegészítésére is.

4.3. Összes polifenol és antioxidáns kapacitás meghatározás

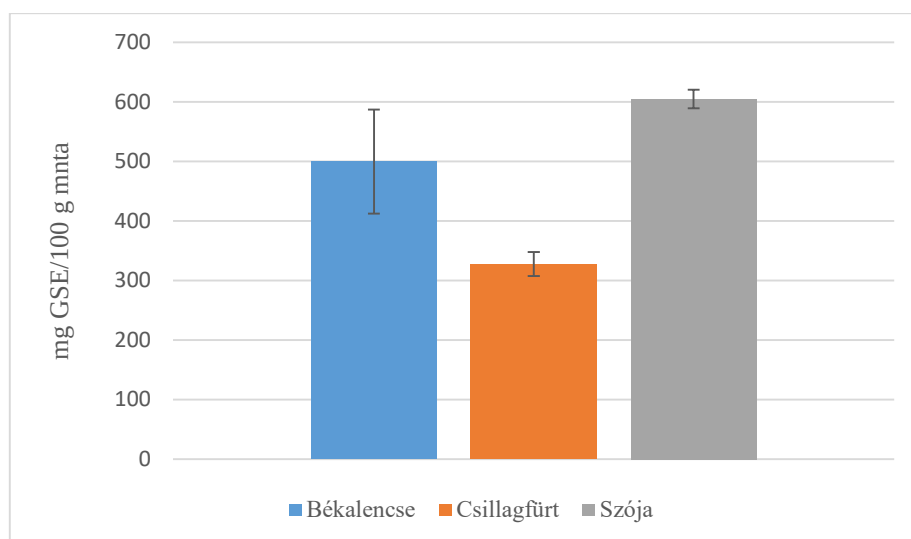
A méréseim során kapott összes polifenol tartalomra és a vízzoldható antioxidáns kapacitásra vonatkozó eredményeket a 17. táblázatban összesítettem.

17. táblázat: A vizsgálati minták összes polifenol tartalma és antioxidáns kapacitása

	Összes polifenol (mg GSE/100g)		Antioxidáns kapacitás (mmol AAE/100g)	
	átlag	szórás	átlag	szórás
Békalencse por	499,897	87,461	2,264	0,054
Szója liszt	605,109	15,518	0,445	0,037
Csillagfürt liszt	327,754	20,132	0,143	0,017

A vizsgált békalencse minta összes polifenol tartalma (18. ábra) galluszsav egyenértékben megadva 500 mg GSE/100 g. Ez 17%-kal marad el a szójaliszt mögött, amelynél a legmagasabb összes polifenol tartalmat mértem: 605 mg GSE/100g. A legkevesebb polifenol tartalommal a vizsgálati minták közül a csillagfürtmag liszt rendelkezett, a szójáéhoz képest majdnem 46%-kal, a békalencséhez viszonyítva pedig 34,5%-kal kevesebb volt benne az általam mért összpolicenol tartalom.

18. ábra: A vizsgált minták összes polifenol tartalma

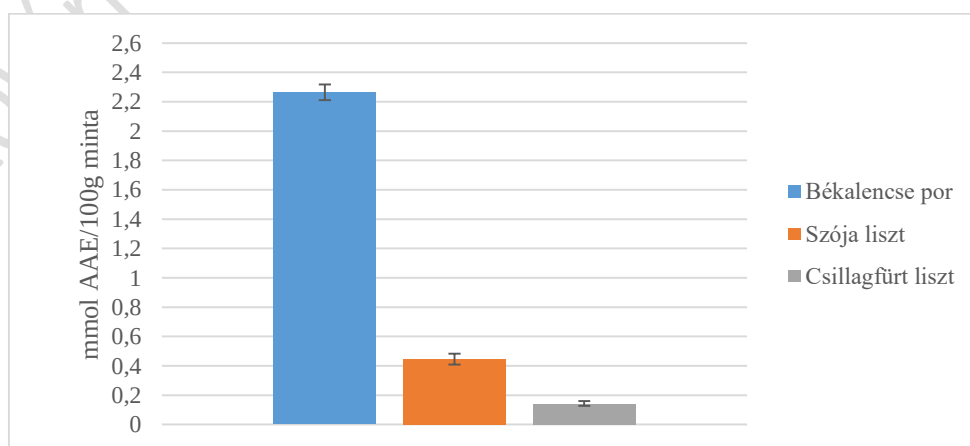


Antioxidáns kapacitás szempontjából azonban már más sorrendű eredményeket kaptam, ennél a mérési módszernél a következő csökkenő sorrendet állapítottam meg:

békalencse > szója > csillagfürt

Tehát a szójában mért magasabb összes polifenol tartalom ellenére az antioxidáns kapacitás szempontjából a vizsgált békalencse mintám bizonyult a legértékesebbnek, benne ötször magasabb antioxidáns kapacitást mértem (aszcorbinsav egyenértékben kifejezve: mmol AAE/100g), mint a vizsgált szójababliszt, és több, mint 15-ször magasabb értéket, mint a vizsgált csillagfürtmag liszt mintában. Méréseim eredményét a 19. ábrán ábrázoltam grafikusan.

159. ábra: A vizsgált minták antioxidáns kapacitása aszcorbinsav egyenértékben



Bár a polifenolos alkotók csoportján belül számtalan vegyület játszik szerepet az antioxidáns kapacitás kialakításában, a fenolos savak ezeknek csak egy töredékét teszik ki. A békalencse kiemelkedő antioxidáns kapacitását ennek megfelelően nemcsak a polifenol tartalma eredményezi; ez más, nem polifenol jellegű vegyületeknek is köszönhető.

Az antioxidáns mérések eredményét ugyanakkor nagymértékben befolyásolta, hogy a FRAP módszerrel csak a vízoldható antioxidánsok kapacitását mértem, a zsíroldhatókét a minta előkészítés miatt nem, hiszen nincs olyan oldószer, amely alkalmas lenne egy élelmiszeripari mintában megtalálható összes antioxidáns kivonására. A továbbiakban fontos lehet még meghatározni a békalencse zsíroldható antioxidáns kapacitását is, valamint a polifenol tartalom mérést is érdemes lehet más módszerekkel is elvégezni, hogy teljes képet kaphassunk erről az értékes növényről.

5. Következtetések és javaslatok

1, Méréseim alapján elmondható, hogy az általam vizsgált békalencse fehérjetartalma 20 % (szárazanyagra vonatkoztatva). A szakirodalmi adatok alapján ezt a mennyiséget a termesztés körülményeivel lehetséges növelni. Érdemes lenne a jövőben olyan békalencse minták fehérje tartalmát is vizsgálni, amelyek ellenőrzött akvakultúrák gazdaságából származnak, és amelyeket a szakirodalomban ismertett manipulációnak vetnek alá a fehérjetartalom növelése céljából.

2, A békalencse vizsgálataim alapján nem tartalmaz limitáló aminosavat, az esszenciális aminosavak mindegyike kellő mennyiségben, a WHO ajánlását meghaladó arányban áll rendelkezésre a növényben, így például ideális táplálék lenne a vegetáriánusok részére. Az 1 fölötti AAS értéket adó esszenciális aminosavak alapján alkalmas lehet növényi fehérjék komplettálására is.

3, További értékelés céljából kiszámítottam a békalencse PDCAAS értékét szakirodalomból származó emészthetőségi mutató segítségével, ennek eredménye 0,78 lett. A FAO/WHO a fehérje emészthetőséggel korrigált aminosav pontszámot (PDCAAS) használja, mint előnyben részesített módszert az emberi táplálkozás fehérjeértékének mérésére. A három alternatív fehérjenövény PDCAAS értékének vizsgálatán túl szakirodalmi adatok alapján összehasonlítottam a békalencse, és a növekvő népszerűségnek örvendő rovarfehérjék (lárva) fehérje emészthetőségét és PDCAAS értékét is. A kapott értékek alapján a békalencse értékesebb fehérjeforrásnak bizonyult, mint a csillagfürt, hasonlóan értékesnek, mint a közönséges lisztbogár lárva, viszont a PDCAAS értéke alapján minősége elmarad a szójababétól és a házi tücsök lárváétól. Azonban a rovar eredetű fehérjék egy vagy több esszenciális aminosavban hiányosak lehetnek, emiatt a nagy mennyiségű fehérje hasznosulása kérdéses, hogy valóban fehérje építésre fordítódik-e a szervezetben, vagy dezaminálódva energiaszolgáltatóként hasznosul. Ezzel szemben a békalencse kevesebb nyersfehérjét tartalmaz ugyan, viszont limitáló aminosav hiányában táplálkozásbiológiai jelentősége vitathatatlan. Bár a PDCAAS módszer elve széles körben elfogadott, számos kérdés merül fel vele kapcsolatban. Ezért érdemes lenne további számításokat végezni egy másik, fehérjemínősítésre használt pontszám rendszerben is, a DIAAS skálán, amely jelenleg a legmodernebb módszer a fehérje minőségének kiértékelésére. A különbség ezek között a fehérjemutatók között abban van, hogy a fehérje PDCAAS értékét a székletben maradó, fel nem szívódott, esetleg a bélnyálkahártyasejtekből és a bélbaktériumokból származó aminosavak

alapján határozzák meg, míg a DIAAS értéket a csípőbél, vagyis a vékonybél utolsó részének tartalma alapján. Utóbbi pontosabb képet ad a táplálékból származó aminosavak elérhetőségéről, vizsgálata azonban sokkal nehezebb, állatetikai kérdéseket vet fel. Békalencse DIAAS értékének megállapításáról nem találtam szakirodalmi forrásokat.

4, A fenti PDCAAS érték meghatározásához az emészthetőségi együtthatók értékét a vonatkozó szakirodalomból állapítottam meg. Mivel a békalencse emészthetőségével kapcsolatban csak egy 1993-as adat állt rendelkezésemre, érdemes lenne ezzel kapcsolatban is friss méréseket végezni, majd az új adatokkal kiértékelni a békalencse fehérje emészthetőségét.

5, A PDCAAS értékek alapján egy további, (USA-ban elfogadott) módszer alapján is értékeltem a három vizsgált növényi fehérjeforrás minőségét: a módszer megmutatja, hogy a fehérje tartalom és a minőségre utaló esszenciális aminosav összetétel együttesen hogyan befolyásolják egy élelmiszer minősítését (DRV%). Bár a békalencse PDCAAS értéke magasabb eredményt mutatott, mint a csillagfürt mag liszté és alacsonyabbat, mint a szójababé, a DRV% értéknél már csak a harmadik helyen szerepel, viszont még mindig jó fehérjeforrásként jellemezhető. A továbbiakban ebből a pontozási módszerből is érdemes lenne olyan mintákkal számításokat végezni, amelyek már egyrészt egy friss emészthetőségi együttható értékével számolnak, valamint olyan vizsgálati minták értékével, amelyek ellenőrzött akvakultúrák gazdaságából származnak, továbbá érdekes lehet a különböző manipulációnak alávetett békalencsék fehérjeminősítésének széleskörű vizsgálata is.

6, A vizsgált békalencse minta összes polifenol tartalma elmarad ugyan a szójamag lisztétől, a csillagfürt magliszténél azonban jóval magasabb mennyiségben tartalmazza ezeket az anyagokat. Antioxidáns kapacitás szempontjából azonban már más sorrendű eredményeket kaptam, a békalencse mintában jóval magasabb antioxidáns érték mutatható ki, mint a másik két alternatív fehérjeforrásban. Tehát a szójában mért magasabb összes polifenol tartalom ellenére az antioxidáns kapacitás szempontjából a vizsgált békalencse mintám bizonyult a legértékesebbnek, benne ötször magasabb antioxidáns kapacitást mértem. A békalencse kiemelkedő antioxidáns kapacitását ennek megfelelően nemcsak a polifenol tartalma eredményezi; ez más, nem polifenol jellegű vegyületeknek is köszönhető. Az antioxidáns mérések eredményét ugyanakkor nagymértékben befolyásolta, hogy a FRAP módszerrel csak a vízoldható antioxidánsok kapacitását mértem, a zsírolthatókékat a minta előkészítés miatt nem, hiszen nincs olyan oldószer, amely alkalmas lenne egy élelmiszeripari mintában megtalálható összes antioxidáns kivonására. A továbbiakban fontos lehet még meghatározni a békalencse

zsíroldható antioxidáns kapacitását is, valamint a polifenol tartalom mérést is érdemes lehet más módszerekkel elvégezni, hogy teljes képet kaphassunk erről az értékes növényről.

Kővári-Szamácz Dalma Diplomadolgozat

6. Összefoglalás

Munkám során arra kerestem a választ, hogy a békalencsével helyettesíthetőek-e a szója és csillagfűrt élelmiszerek a humán táplálkozásban, valamint a békalencse helyettesítheti-e az állati fehérjéket, így a jelentősen kisebb ökológiai lábnyommal, viszont nagyobb hozammal rendelkező akvakultúrák növénytermesztés kiválthatja-e valamilyen mértékben a szántóföldi növénytermesztést, vagy akár az állattenyésztést. Méréseim során bebizonyosodott, hogy a békalencse aminosav összetétele alapján a húsfehérjék pótlására, illetve a növényi fehérjék komplettálására egyaránt alkalmas lehet.

Elsőként meghatároztam és összehasonlítottam a minták nyersfehérje tartalmát, majd összes aminosav tartalmát egymással, valamint a FAO/WHO referencia fehérjével. Összehasonlítva a csillagfűrtmag liszt, a szójaliszt és a békalencse mintákban mért nyersfehérje tartalmát, a békalencse minta 20 % alatti, míg a szójaliszt minta 40 % feletti fehérjetartalommal rendelkezik, a csillagfűrtmag pedig szintén elég magas, 35 % feletti nyersfehérje tartalommal rendelkezik. Méréseim alapján kijelenthető, hogy a békalencse a következő aminosavakból tartalmaz jelentősebb mennyiséget (a vizsgált csillagfűrtmag liszthez és szójamag liszthez hasonlítva): aszparaginsav, glicin, alanin, valin, leucin és izoleucin. A vizsgált békalencse mintában minden esszenciális aminosav (hisztidin, izoleucin, leucin, lizin, metionin, fenilalanin, treonin, valin) megtalálható. A békalencse esszenciális aminosav tartalma a legmagasabb (38,84 g/100g fehérje), bár a két másik fehérjenövény sem sokkal marad el mögötte, a vizsgált szója minta esszenciális aminosav tartalma 36,85 g/100g, míg a csillagfűrté 33,8 g/100g.

Ezt követően kiszámoltam az esszenciális aminosavak mennyisége alapján az aminosav értékeket (AAS). Ez a hányados meghatározza az adott fehérjét felépítő aminosavak relatív hiányosságait a referencia fehérje aminosav tartalmához képest. A mérések eredménye alapján megállapítható, hogy a vizsgált békalencse mintának nem volt 1 alatti AAS értéke, vagyis nem található benne limitáló aminosav, az aminosavak kellő mennyiségben állnak rendelkezésre a növényben, az adott fehérje ki tudja elégíteni a szükségletet. A vizsgált mintában található treonin-, fenilalanin+tirozin-, leucin- és valin-tartalom a referencia-mintához képest is jelentős mennyiségben kimutatható. Így kijelenthető, hogy minden esszenciális aminosavat a WHO ajánlásának megfelelő arányban tartalmaz. A csillagfűrt minta esetében a referencia-mintához képest a metionin+cisztein, a lizin, a valin és az izoleucin értékeiben kaptunk alacsonyabb

eredményeket, a vizsgálati eredmények alapján limitáló aminosavaknak a kén tartalmú aminosavak bizonyultak ennél a mintánál (metionin+cisztein). Ezen felül a csillagfürt lizin-, izoleucin- és valintartalma is alacsonyabb a referenciaértékeknél. A szójabab esetében szintén a metionin+cisztein bizonyult a limitáló aminosavnak, hiszen ezt tartalmazta legkisebb mennyiségben, valamint ebben a mintában a valin és az izoleucin mennyisége lett alacsonyabb a referencia mintához képest. A békalencsénél tapasztalt nagyobb arányok az elágazó láncú aminosavakból lehetővé teszik a hüvelyesekben ezen aminosavak komplettálását.

Az AAS értékekből, a szakirodalomban található emészthetőségi hányados (D%) segítségével kiszámítottam a minták PDCAAS (fehérje emészthetőséggel korrigált aminosav érték) értékét. A vizsgált békalencse minta PDCAAS értéke alacsonyabb ugyan, mint a szójababé, viszont magasabb, mint a csillagfürtmag liszté. Ez alapján számszerűsíthető, hogy a békalencse jó fehérjeforrás, habár elmarad a szójabab mögött.

Következő lépésként a napi referenciaérték (Daily Reference Value, DRV%) segítségével értékeltem, hogy az elfogyasztani kívánt élelmiszer fehérjetartalma milyen mértékben fedezi a napi fehérjeszükségletet napi 50 g fogyasztással kalkulálva. A békalencse DRV% értéke a legalacsonyabb értéket (14,8%) mutatta, viszont még így is jó fehérjeforrásnak minősül. A legjobb minőségű fehérjeforrás a szójabab (36,25%) lett a három növény közül, azonban meg kell említeni, hogy a benne található antinutritív anyagok inaktiválása jelentős energia befektetéssel járhat. Ezután összehasonlítottam a békalencse táplálkozásbiológiai értékét két általam kiválasztott rovarfehérje táplálkozásbiológiai értékével is, szakirodalmi adatok alapján. A házi tücsök (*Acheta domesticus*) lárvát és a közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*) lárvát, mint jelenleg népszerű alternatív fehérjeforrást választottam. Mindkét lárvát fehérjetartalma jóval magasabb, mint a vizsgált békalencse mintáé, az emészthetőségük azonban már nem mutat szignifikánsan magasabb értéket: a házi tücsök lárvájának emészthetősége közel azonos mértékű a békalencsééé, a közönséges lisztbogár lárvájának emészthetősége valamivel magasabb. A rovar eredetű fehérjék egy vagy több esszenciális aminosavban hiányosak lehetnek, emiatt a nagy mennyiségű fehérje hasznosulása kérdéses, hogy valóban fehérje építésre fordítódik-e a szervezetben, vagy dezaminálódva energiaszolgáltatóként hasznosul. Ezzel szemben a békalencse kevesebb nyersfehérjét tartalmaz ugyan, viszont limitáló aminosav hiányában a felszívódott aminosavakból a fehérjék felépülése akadálytalanul végbemegy.

Ezután meghatároztam a vizsgálati mintáim összes polifenol tartalmát, majd antioxidáns kapacitásának értékét is. A vizsgált békalencse minta összes polifenol tartalma galluszsav

egyenértékben megadva 17%-kal marad el a szójaliszt mögött, amelynél a legmagasabb összes polifenol tartalmat mértem. A legkevesebb polifenol tartalommal a vizsgálati minták közül a csillagfürtmag liszt rendelkezett. Azonban a szójában mért magasabb összes polifenol tartalom ellenére az antioxidáns kapacitás szempontjából a vizsgált békalencse mintám bizonyult a legértékesebbnek, benne ötször magasabb antioxidáns kapacitást mértem (aszcorbinsav egyenértékben kifejezve: mmol AAE/100g), mint a vizsgált szójababliszt, és több mint 15-ször magasabb értéket, mint a vizsgált csillagfürtmag liszt mintában

Eredményeim arra utalnak, hogy a vizsgált békalencse növények mind fehérjetartalmuk, mind aminosav összetételük, mind kiemelkedően magas antioxidáns kapacitásuk alapján alternatív fehérjeforrásként kiválóan alkalmazhatóak a humán táplálkozásban, így helyettesítve a szántóföldi fehérjenövényeket, illetve akár még az állati fehérjéket is, csökkentve az élelmiszer-előállítás ökológiai lábnyomát.

7. Irodalomjegyzék

- 1, Abrankó L. (2018): Élelmi polifenolok, Egy sokszínű molekulacsoport. *Magyar Kémikusok Lapja*, 73 (11), 345–351. DOI: [10.24364/MKL.2018.11](https://doi.org/10.24364/MKL.2018.11)
- 2, Acosta, K. – Appenroth, K.J. – Borisjuk, L. – Edelman, M. – Heinig, U. – Jansen, M.A.K. – Oyama, T. – Pasaribu, B. – Schubert, I. – Sorrels, S. – Sree, K.S. – Xu, S. – Michael, T.P. – Lam, E. (2021): Return of the Lemnaceae: duckweed as a model plant system in the genomics and postgenomics era. *Plant Cell*, 33(10), 3207 – 3234. DOI: [10.1093/plcell/koab189](https://doi.org/10.1093/plcell/koab189)
- 3, Albrecht, M. – Robert, J. – Stephen, D. (2004): Dose-response relationships between herbicides with different modes of action and growth of *Lemna paucicostata*: An improved ecotoxicological method. *Environmental toxicology and chemistry*, 23(4), 1074–1079. DOI: [10.1897/03-256](https://doi.org/10.1897/03-256)
- 4, Al-Snafi, A.E. (2019): *Lemna minor*: Traditional Uses, Chemical Constituents and Pharmacological Effects - A Review. *IOSR Journal Of Pharmacy*, 9 (8), 6–11. Forrás: https://www.researchgate.net/publication/335082849_Lemna_minor_Traditional_Uses_Chemical_Constituents_and_Pharmacological_Effects-A_Review
- 5, Appenroth, K. J. – Sree, K. S. – Böhm, V. – Hammann, S. – Vetter, W. – Leiterer, M. (2017): Nutritional value of duckweeds (Lemnaceae) as human food. *Food Chemistry*, 217, 266–273. DOI: [10.1016/j.foodchem.2016.08.116](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.116)
- 6, Appenroth, K. J. – Sree, K. S. – Bog, M. – Ecker, J. – Seeliger, C. – Böhm, V. – Lorkowski, S. – Sommer, K. – Vetter, W. – Tolzin-Banasch, K. – Kirmse, R. – Leiterer, M. – Dawczynski, C. – Liebisch, G. – Jahreis, G. (2018): Nutritional Value of the Duckweed Species of the Genus *Wolffia* (Lemnaceae) as Human Food. *Frontiers in Chemistry*, 6(483). DOI: [10.3389/fchem.2018.00483](https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00483).
- 7, Balikó S. – Bódis L. – Kralovánszky P. (2007): A szója feldolgozása, felhasználása. *Mezőgazda Kiadó*, Budapest
- 8, Benzie, I. F. – Strain, J. J. (1996): The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem.* 15;239(1):70-6. DOI: [10.1006/abio.1996.0292](https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292)
- 9, Beukelaar, M. F.A. – Zeinstra G. G. – Mes, J. J. – Fischer, A.R.H. (2019): Duckweed as human food. The influence of meal context and information on duckweed acceptability of

Dutch consumers, *Food Quality and Preference*, 71, 76–86. DOI: [10.1016/j.foodqual.2018.06.005](https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.06.005)

10, Borsos J. – Pusztai P. – Radics L. – Szemán L. – Tomposné L. V. (1994): *Szántóföldi növénytermesztés*. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Kertészeti Kar, Budapest. Letöltés dátuma: 2023.07.02. Forrás: <https://mek.oszk.hu/01200/01216/01216.pdf>

11, Compeer, A.E. – de Best, J.H. (2018): *Avans University of Applied Sciences: Applications of proteins, amino acids and starch from duckweed*. Forrás: <https://www.mnext.nl/app/uploads/2019/03/Report-Applications-of-Duckweed.pdf>

12, Csapó J. – Albert Cs. – Kiss D. (2020): *Analitikai kémia élelmiszermérnököknek*. Scientia Kiadó, Kolozsvár.

13, Dewanji, A. (1993): Amino Acid Composition of Leaf Proteins Extracted from Some Aquatic Weeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(8), 1232–1236. DOI: [10.1021/jf00032a013](https://doi.org/10.1021/jf00032a013)

14, Duan, Y. – Zeng, L. – Li, F. – Wang, W. – Li, Y. – Guo, Q. – Ji, Y. – Tan, B. – Yin Y. (2016): Effect of branched-chain amino acid ratio on the proliferation, differentiation, and expression levels of key regulators involved in protein metabolism of myocytes. *Nutrition*, 36:8-16. DOI: [10.1016/j.nut.2016.10.016](https://doi.org/10.1016/j.nut.2016.10.016)

15, Edelman, M. – Appenroth, K.J. – Sree, K.S. – Tokitaka, O. (2022): Ethnobotanical History: Duckweeds in Different Civilizations. *Plants*, 11(16), 2124. DOI: [10.3390/plants11162124](https://doi.org/10.3390/plants11162124)

16, EFSA (2021): Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(1), 6343, DOI: [10.2903/j.efsa.2021.6343](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6343)

17, EFSA (2022): Safety of *Lemna minor* and *Lemna gibba* whole plant material as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 20(11), 7598. DOI: [10.2903/j.efsa.2022.7598](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7598)

18, FAO (2018): Protein quality assessment in follow-up formula for young children and ready to use therapeutic foods. FAO, Rome, Italy ISBN: 978-92-5-131120-2

19, Fan, Y. – Zhang, Q. – Lam, E. – Long, C. (2023): Ethnobotanical importance of duckweeds in China, *ISCDRA - Duckweed Forum*, 11 (1), 09 – 22, Forrás: http://www.ruduckweed.org/uploads/1/0/8/9/10896289/duckweed_forum_issue_40.pdf

- 20, Ge, X. – Zhang, N. – Phillips, G.C. – Xu, J. (2012): Growing *Lemna minor* in agricultural wastewater and converting the duckweed biomass to ethanol. *Bioresource Technology*, 124, 485 – 488. DOI: [10.1016/j.biortech.2012.08.050](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.050)
- 21, Gódor-Kacsándi A. – Magyar N. – Lugasi A. (2023): Ehető rovarok, mint fenntartható alternatív fehérjeforrások egyes táplálkozásélettani aspektusainak vizsgálata. *Magyar Táplálkozástudományi Társaság*, Budapest, szerkesztő: Lugasi Andrea, 39–54.
- 22, Gostyńska, J. – Pankiewicz, R. – Romanowska-Duda, Z. – Messyasz, B. (2022): Overview of Allelopathic Potential of *Lemna minor* L. Obtained from a Shallow Eutrophic Lake. *Molecules* 27 (11), 3428. DOI: [10.3390/molecules27113428](https://doi.org/10.3390/molecules27113428)
- 23, Gubicskóné Kisbenedek A. – Szabó Z. (2015): *Élelmiszertudományi ismeretek*, Medicina Könyvkiadó Zrt., Budapest
- 24, Gualano, A.B. – Bozza, T. – Campos, L.D.P. – Roschel, H. – Costa, A. D.S. – Marquezi, L. M. – Benatti, F. – Herbert, L. J. A. (2011): Branched-chain amino acids supplementation enhances exercise capacity and lipid oxidation during endurance exercise after muscle glycogen depletion. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 51(1):82-88., Letöltés dátuma: 2024.03.14., forrás: <https://www.researchgate.net/publication/49813873>
- 25, Guo, L. – Liu, J. – Wang, Q. – Yang, Ya. – Yang, Yo. – Guo, Q – Zhao, H. – Liu, W. (2023): Evaluation of the Potential of Duckweed as a Human Food, Bioethanol Production Feedstock, and Antileukaemia Drug. *Journal of Food Biochemistry*, 1 – 12. DOI: [10.1155/2023/6065283](https://doi.org/10.1155/2023/6065283)
- 26, Hegedűs A. – Stefanovicsné Bányai É. (2012): *Természetes antioxidáns-forrásunk: a gyümölcs*. Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Debrecen.
- 27, Huang, D. – Ou, B. – Prior, R.L. (2005): The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(6), 1841–56, DOI: [10.1021/JF030723C](https://doi.org/10.1021/JF030723C)
- 28, Lengyelne Kónya É. – Berki M. – Tömösköziné Farkas R. – Abrankó L. (2022): Aminosav-vizsgálatok az élelmiszeriparban–analitikai kihívások és megoldási lehetőségek. *Élelmiszer Tudomány Technológia*, 72(1), 39–45. Letöltés dátuma: 2024.01.14., forrás: <https://journal.unim-ate.hu/index.php/ett/article/view/4740/5013>
- 29, Mézes M. (2018): A rovarfehérje, mint a fehérjeellátás új alternatívája, *Állattenyésztés és takarmányozás*, 67 (4), 287–296. DOI: [10.5555/20203227653](https://doi.org/10.5555/20203227653)

- 30, Mirzaeva, D.A. – Maksumkhodjaeva, K.S. – Khujamshukurov, N.A. – Gazieva Sh.Q. – Abdullaev, X.O. – Iskhakova, Sh.X. – Kuchkarova, D.Kh. (2020): Nutritional Value of Lemnaceae Macrophytes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9 (4), 3233 – 3242. DOI: [10.20546/ijcmas.2020.904.376](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.904.376)
- 31, Nasser, B.S. – Omayma, A.E. (2013): Carotenoids. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2 (1), 225 – 234. Forrás: https://www.researchgate.net/publication/303126550_Carotenoids
- 32, Oláh J. (2019): A fenntartható élelemiszerellátás kihívásai az energia és környezetbiztonság tükrében. *A Falu*, 34 (4), 21–34. Letöltés dátuma: 2023.07.12. Forrás: https://matarka.hu/cikk_list.php?fusz=167386
- 33, Ozengin, N – Elmac, A. (2007): Performance of Duckweed (*Lemna minor* L.) on different types of wastewater treatment. *Journal of Environmental Biology*, 28 (2), 307–314. Forrás: https://www.researchgate.net/publication/5928785_Performance_of_Duckweed_Lemna_minor_L_on_different_types_of_wastewater_treatment
- 34, Pagliuso, D. – Grandis, A. – Fortirer, J.S. – Camargo, P. – Floh, E.I.S. – Buckeridge, M.S. (2022): Duckweeds as Promising Food Feedstocks Globally. *Agronomy*, 12 (4), 796. DOI: [10.3390/agronomy12040796](https://doi.org/10.3390/agronomy12040796)
- 35, Polutchko, S.K. – Stewart, J.J. – McNamara, M. – Doherty Garcia, N. – López-Pozo, M. – Adams, W.W.III. – Demmig-Adams, B. (2022): Lemna as a Sustainable, Highly Nutritious Crop: Nutrient Production in Different Light Environments. *Nutraceuticals*, 2 (4), 350–364. DOI: [10.3390/nutraceuticals2040027](https://doi.org/10.3390/nutraceuticals2040027)
- 36, Popp J. – Pető K. – Oláh J. (2018a): Alternatív fehérjefogyasztás kilátásai Magyarországon. *A Falu*, 22 (2), 37–46. Letöltés dátuma: 2023.06.20. Forrás: https://matarka.hu/cikk_list.php?fusz=163873
- 37, Popp J. – Harangi-Rákos M. – Oláh, J. (2018b): Fehérjetakarmány függőség az EU-ban. Status quo? *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 67 (4), 209–224. Letöltés dátuma: 2023.06.20. Forrás: https://matarka.hu/cikk_list.php?fusz=161552
- 38, Popp J. – Oláh J. – Harangi-Rákos M. – Fári M. (2016): A fehérjetakarmány helyettesítése alternatív fehérjeforrásokkal az EU-ban. *Gazdálkodás*, 60 (6), 506 – 531. DOI: [10.22004/ag.econ.258594](https://doi.org/10.22004/ag.econ.258594)

- 39, Popp J. – Pető K. – Oláh J. (2018a): Alternatív fehérjefogyasztás kilátásai Magyarországon. *A Falu*, 22 (2), 37–46. Letöltés dátuma: 2023.06.20. Forrás: https://matarka.hu/cikk_list.php?fusz=163873
- 40, Quesnele, J. – Laframboise, M. – Wong, J. – Kim, P. – Wells, G. (2013): The Effects of Beta-Alanine Supplementation on Performance: A Systematic Review of the Literature. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 24. DOI: [10.1123/ijsnem.2013-0007](https://doi.org/10.1123/ijsnem.2013-0007)
- 41, Razak, M.A. – Begum, P.S. – Viswanath, B. – Rajagopal, S. (2017): Multifarious Beneficial Effect of Nonessential Amino Acid, Glycine: A Review. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, DOI: [10.1155/2017/1716701](https://doi.org/10.1155/2017/1716701)
- 42, Schaafsma, G. (2000): The protein digestibility-corrected amino acid score. *The Journal of Nutrition*, 130 (7), 1865S-1867S. DOI: [10.1093/jn/130.7.1865S](https://doi.org/10.1093/jn/130.7.1865S)
- 43, Shoham, T. (2022): Current state of regulatory approval for duckweed as human food. *ISCDRA - Duckweed Forum*, 10 (4), 155 – 163, Forrás: http://www.ruduckweed.org/uploads/1/0/8/9/10896289/duckweed_forum_issue_39_high_resolution.pdf
- 44, Shoham, T. (2024): SpaceX CRS-29: A historic launch of duckweed into Space - *ISCDRA - Duckweed Forum*, 12 (1), 2. Letöltés dátuma: 2024.03.01.
- 45, Singla, P. – Sharma, S. – Singh, S. (2017): Amino Acid Composition, Protein Fractions and Electrophoretic Analysis of Seed Storage Proteins in Lupins. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry*. 30 (1), 33–40. DOI: [10.5958/0974-4479.2017.00005.3](https://doi.org/10.5958/0974-4479.2017.00005.3)
- 46, Singleton, V. L. – Rossi, J. A. (1965): Colorimetry of total pphenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid „reagents”. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158. Letöltés dátuma: 2024.02.20.
- 47, Sowjanya Sree, K. – Edelman, M. – Appenroth, K.J. (2023): Historical account on St. Hildegard von Bingen Inventor of Duckweed Elixir and polymath nun from medieval times, *ISCDRA - Duckweed Forum*, 11 (1), 23 – 25, Forrás: http://www.ruduckweed.org/uploads/1/0/8/9/10896289/duckweed_forum_issue_40.pdf
- 48, Sujak, A. – Kotlarz, A. – Strobel, W. (2006): Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food Chemistry* 98 (4): 711 – 719. DOI: [10.1016/j.foodchem.2005.06.036](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.06.036)

- 49, Szabó A. (2014): A szójaallergia. *Élelmezés* 12, 24 – 26. Letöltés dátuma: 2023.06.20.
- 50, Szarvasházi J. (2009): *Az allergiáról*. Patika magazin könyvek, Galenus kiadó, Budapest
- 51, Varga E. – Tikász I.E. – Barna A. (2016): A nyers, a hőkezelt szójabab és az extrahált szójadara táplálóanyag-tartalma, Agrárgazdasági Kutató Intézet 2018, Budapest. DOI: [10.7896/ail804](https://doi.org/10.7896/ail804)
- 52, Xu, J. – Shen, Y. – Zheng, Y. – Smith, G. – Sun, X. S. – Wang, D. – Zhao, Y. – Zhang, W. – Li, Y. (2021): Duckweed (Lemnaceae) for potentially nutritious human food: A review. *Food Reviews International*, 39 (7), 3620. DOI: [10.1080/87559129.2021.2012800](https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2012800)
- 53, Yahaya, N. – Hamdan, N.H. – Zabidi, A. – Mohamad, A. – Suhaimi, M. – Johari, M. – Yahya, Han. – Yahya, Haf. (2022): Duckweed as a future food: Evidence from metabolite profile, nutritional and microbial analyses. *Future Foods*, 5. DOI: [10.1016/j.fufo.2022.100128](https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100128)
- 54, Zeinstra, G.G. – Somhorst, D. – Oosterink, E. – Fick, H. – Klopping-Ketelaars, I. – van der Meer, I.M. – Mes, J.J. (2019): Postprandial amino acid, glucose and insulin responses among healthy adults after a single intake of Lemna minor in comparison with green peas: a randomised trial. *Journal of Nutritional Science*, 8 (e28). DOI: [10.1017/jns.2019.26](https://doi.org/10.1017/jns.2019.26)
- 55, Zeller, M. – Ryan, H. – Suraj, S. (2013): Sustainable bioderived polymeric materials and thermoplastic blends made from floating aquatic macrophytes such as “duckweed”. *Journal of Applied Polymer Science*, 127(1). DOI: [10.1002/app.37555](https://doi.org/10.1002/app.37555)
- 56, Zhou, Y. – Stepanenko, A. – Kishchenko, O. – Xu, J. – Borisjuk, N. (2023): Duckweeds for Phytoremediation of Polluted Water. *Plants* 12 (Duckweed: Research Meets Applications), DOI: [10.3390/plants12030589](https://doi.org/10.3390/plants12030589)
- 57, Zsombik L. (2018): Alternatív fehérjenövények: Lehetőség vagy örök ígéret? *Állattenyésztés és takarmányozás*, 67 (4), 225 – 236. Letöltés dátuma: 2023.08.01. Forrás: https://real-j.mtak.hu/12755/4/%C3%81TT%202018_4%20FINAL%20r.pdf

8. Internetes források

- 1, [KSH \(https://www.ksh.hu/interaktiv/grafikonok/vilag_nepessege.html\)](https://www.ksh.hu/interaktiv/grafikonok/vilag_nepessege.html)
- 2, <https://www.agrarunio.hu/hirek/novenytermesztes/5261-a-szoja-helyzete-magyarorszagon>
- 3, <https://magyarszoja.hu/wp-content/uploads/2014/10/AN-1409.pdf>
- 4, https://mdosz.hu/hun/wp-content/uploads/2017/02/taplalkozasi_akademia_2017_02_szoja_170228.pdf
- 5, www.ogyei.gov.hu
- 6, https://webgate.ec.europa.eu/fip/novel_food_catalogue/#
- 7, <https://hu.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9kalencseform%C3%A1k>
- 8, <http://www.ruduckweed.org/about.html>
- 9, <https://fertinnowa.com/download/lemna-minor-summary/>
- 10, <https://www.instant-tea-powder.com/extract-powder/Duckweed-powder.html>
- 11, <https://fdc.nal.usda.gov/>

9. Táblázatok és ábrák jegyzéke

1. ábra: A Föld népességének várható alakulása	4
2. ábra: Szójabab	8
3. ábra: Fehér csillagfürt mag	12
4. ábra: Békalencse alcsaládok	17
5. ábra: Leggyakrabban előforduló békalencseformák Európában	17
6. ábra: A békalencse hozzávetőleges tápanyag-összetétele szárazanyagra vonatkoztatva.....	26
7. ábra: AAA Automata Aminosav Analizátor.....	35
8. ábra: A minták hígítási sora Folin-Ciocalteu reagens hozzáadása után	36
9. ábra: Thermo GENESYS™ 10UV UV-Vis Spectrophotometer, 120 V	37
10. ábra: TPC kalibrációs egyenes	37
11. ábra: FRAP kalibrációs egyenes	39
12. ábra: A minták Kjeldahl szerinti nyersfehérje tartalma %-ban, szárazanyagra vonatkoztatva	40
13. ábra: A vizsgálati minták aminosav összetétele	41
14. ábra: A minták és a referencia fehérje esszenciális aminosav tartalma (mg/g fehérje)	43
15. ábra: A referencia fehérjéhez hasonlított aminosav értékek (EAA).....	45
16. ábra: Fehérjemínőség értékeléséhez használt képlet.....	48
17. ábra: Békalencse, szójabab, csillagfürt és rovarfehérjék biológiai értékének összehasonlítása a PDCAAS értékek alapján.....	50
18. ábra: A vizsgált minták összes polifenol tartalma.....	51
19. ábra: A vizsgált minták antioxidáns kapacitása aszkorbinsav egyenértékben	52
1. táblázat: Fehérjehordozó élelmiszer- és takarmány-alapanyagok az EU-ban	5
2. táblázat: Hüvelyesek magjának átlagos táplálóanyag-összetétele % - ban	6
3. táblázat: Fehérjehordozó takarmányok termés- és fehérjehozama hektáronként	6
4. táblázat: Nyers szójabab táplálóanyag- és aminosav tartalma	9
5. táblázat: A szójában található antinutritív anyagok	11
6. táblázat: Fehér csillagfürt mag aminosav tartalma g/16g N	14
7. táblázat: A főbb gabonanövények és a békalencse terméshozamának, keményítőhozamának és potenciális bioetanol-termelésének összehasonlítása.....	21
8. táblázat: Békalencsével foglalkozó cégek	23
9. táblázat: Lemna minor aminosav összetétele	28
10. táblázat: Közvetlen napsugárzásnak kitett Lemna minor növény egyes összetételre vonatkozó adatai	33
11. táblázat: Vizsgálati minták nyers- és valódi fehérje mennyiségének összehasonlítása	43
12. táblázat: A vizsgálati minták esszenciális és limitáló aminosav mérési eredményei	45
13. táblázat: A vizsgált minták emészthetőségi együtthatója (D%)	47
14. táblázat: A fehérje emészthetőséggel korrigált aminosav érték.....	47
15. táblázat: A vizsgálati minták fehérje minősítése	49
16. táblázat: Békalencse és rovarfehérjék emészthetőségének és PDCAAS értékének összehasonlítása	50
17. táblázat: A vizsgálati minták összes polifenol tartalma és antioxidáns kapacitása.....	51

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Kővári-Szamák Dalma
A Hallgató Neptun kódja: DNQX3U
A dolgozat címe: Békalencse táplálkozásbiológiai vizsgálata
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Táplálkozástudományi Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

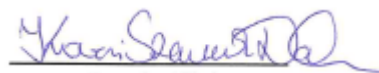
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védelmet követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: Budapest, 2024.04.16.



Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Kővári-Számák Dalma (Neptun azonosítója: DNQX3U) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: Budapest, 2024.04.16.



belső konzulens