



A natúr és kezelt repce melléktermékek takarmányozási potenciálja: lehetőségek és kihívások (Irodalmi áttekintés)

HORVÁTH ÉVA RITA¹, TÓTH TAMÁS^{2*}, FÉBEL HEDVIG³

¹Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar, Állattudományi Tanszék

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0646-1719>

²Széchenyi István Egyetem, Agrár- és Élelmiszeripari Kutató Központ, Mosonmagyaróvár

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-4457-1473>

Email: toth.tamas@sze.hu

³Állatorvostudományi Egyetem, Szülészeti Tanszék és Haszonállat-gyógyászati Klinika, Budapest

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9867-0664>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2025.02.28.

Revised/Átdolgozva: 2025.05.03.

Accepted/Elfogadva: 2025.06.08.

Published/Megjelent: 2025.06.27.

ÖSSZEFOGLALÁS

A globális takarmányipar egyre nagyobb mennyiségű fehérjeforrást igényel, miközben a szójatermelés nem tud lépést tartani a növekvő kereslettel. Az alternatív fehérjeforrások közül a repceolaj-gyártás melléktermékei, különösen a repcepogácsa és az extrahált repcedara, ígéretes lehetőséget kínálnak a monogasztrikus állatok (sertés, baromfi) takarmányozásában. A repce melléktermékek jelentős fehérjetartalommal bírnak, azonban alkalmazásukat korlátozza a magas rosttartalom és az antinutritív vegyületek, például a glükozinolátok, a szinapin és a tanninok jelenléte.

Irodalmi áttekintésünk adatai alapján megállapítottuk, hogy a fizikai kezelések (például extrudálás) hatékonyan csökkenthetik az antinutritív anyagok mennyiségét, ezáltal javítva a táplálóanyagok emészthetőségét és az ízletességet. A kémiai eljárások, mint az extrahálás vagy az ammóniakezelés, tovább mérsékelhetik a glükozinolátok és a tanninok kedvezőtlen hatásait. A kombinált kezelések, például a hidrotermikus és kémiai módszerek együttes alkalmazása, hatékonyabb megoldást jelenthetnek a repce-alapú melléktermékek minőségének javítására. A jelenlegi nemesítési programok célja a glükozinolát- és rosttartalom további csökkentése, valamint a fehérje- és olajtartalom optimalizálása. A repce melléktermékeinek felhasználása a bioetanol- és a keményítőgyártás melléktermékeivel (például DDGS, CGF) kombinálva gazdaságos és fenntartható alternatívát jelenthet az extrahált szójadara részleges kiváltására. A megfelelő feldolgozási technológiák alkalmazásával a helyben megtermelt repce-alapú takarmányok hozzájárulhatnak az élelmiszerbiztonság növeléséhez és a környezeti fenntarthatósághoz.

Kulcsszavak: repce, glükozinolát, kezelések, fizikai módszerek, kémiai eljárások



1. BEVEZETÉS

A hús- és tojástermelés növeléséhez egyre nagyobb mennyiségű takarmányra, illetve vízre van szükség. A takarmánykeverékek iránti megugrott kereslet miatt fokozódik az igény a gyártáshoz szükséges fehérjeforrásokra is. A fehérjehordozó takarmánynövények megtermelése nehezen tud lépést tartani a kereslettel. A szántóterületek csökkenése, a globális klímaváltozás, az édesvíz hiánya, továbbá a magas patogenitású madárinfluenza, illetve afrikai sertéspestis terjedése mind megnehezíti a növekvő fehérjeigény kielégítését. Ebben az összefüggésben érdemes alternatív és fenntartható fehérjeforrásokat alkalmazni, amelyek hozzájárulhatnak a globális élelmezésbiztonsághoz (Slimen et al., 2023).

A monogasztrikus állatok takarmánykeverékeiben a fő fehérjehordozó alapanyag az extrahált szójadara. A hazai állatállomány takarmányához a szójaigény töredékét tudjuk megtermelni, importra szorulunk (Popp et al., 2018). Az extrahált szójadara takarmányokban való részleges helyettesítésének igényét különböző fehérjehordozókkal elsősorban a takarmányköltségek csökkentése hívta életre (Popp et al., 2015). Az alternatív fehérjehordozók alkalmazása olyan országok számára jelentős szempont, amelyek éghajlati adottságukat tekintve nem, vagy csak kis mennyiségben képesek szójatermesztésre (Chiang et al., 2010; Kralovánszky, 2012; Nega és Woldes, 2018). A repcemag olajipari feldolgozásakor a melléktermékként nagy mennyiségben keletkező hidegen sajtolt repcepogácsa lehetőséget nyújt egyrészt a környezeti fenntarthatóság és a környezetbarát koncepció előmozdításában, másrészt egy olcsóbb és értékes takarmány-alapanyag, amely csökkentheti a szójadarától való függőséget (Wengerska et al., 2022; Rakita et al., 2023).

Az olajnövények, ezen belül a repce, mint lehetséges fehérjehordozó előretörésében meghatározó szerepet játszott, hogy a repcemag az elmúlt 20 évben a biodízel előállítás elsődleges alapanyagát képezte az EU-ban (Carré és Pouzet, 2014; Tikász, 2014; Golebiewska et al., 2022). A biodízel-előállítás során a repcemagból az olajat préseléssel, hideg (50-70 °C-on) vagy meleg (100-150 °C-on) sajtolási eljárással nyerik ki. Így melléktermékként repcepogácsa keletkezik. Az olajpogácsában maradt olajat egy további művelettel, az extrakcióval vonják ki. A folyamat végén kapjuk meg az extrahált repcedarát (Baker et al., 2020).

A repcealapú melléktermékek táplálóanyag-tartalmát, valamint azok emészthetőségét nagymértékben befolyásolja a repcemag minősége és a feldolgozás módja (Drazbo et al., 2018; Olukomaiya et al., 2020). A repcében több antinutritív összetevő is előfordul. A goitrogén (golyvaképző) hatású glükozinolátok másodlagos jódhiányt okoznak a szervezetben (Tripathi és Mishra, 2007). A növénynevelők előállítottak olyan úgynevezett dupla-, tripla- és tetranullás repcefajtákat, amelyekben jelentősen csökkentették az antinutritív anyagok mennyiségét. Az élelmiszeriparban, valamint takarmányozás céljára kizárólag olyan repce használható, amelyben az erukasavtartalom az összes olajtartalomnak kevesebb, mint 2 %-a, a glükozinolátok mennyisége pedig kevesebb mint 20 µmol/g (Radfar et al., 2017).

A repcepogácsa jelentős mennyiségű fehérjét tartalmaz, kéntartalmú aminosavakban gazdag. Nagyobb olajtartalmának köszönhetően jobb energiaforrás, mint az olaj extrakciója után visszamaradó extrahált repcedara (Hayder, 2018). Hátránya a szójával/szójadarával szemben, hogy lizinből kevesebbet tartalmaz. Ezt mindenképp figyelembe kell venni, mivel lizinkiegészítés hiányában romlanak a termelési mutatók (súlygyarapodás, takarmányértékesítés) (Swiatkiewicz et al., 2010). A duplanullás repce olaja nagy mennyiségben tartalmaz telítetlen zsírsavakat (olajsav C18:1, linolsav C18:2n-6, linolénsav C18:3n-3), a telített zsírsavak (palmitinsav C16:0, sztearinsav C18:0) aránya alacsony (Szydłowska-Czerniak et al., 2021). A többszörösen telítetlen zsírsavak



nagyobb részaránya rontja az oxidatív stabilitást (Heszky, 2007), ezáltal a végtermék eltarthatóságának ideje csökkenhet. A repcepogácsa alkalmazásakor erre tekintettel kell lenni.

A szójafehérje repcével való helyettesítésekor célszerű olyan repcekezelési eljárást választani, amely alternatívát szolgáltat ahhoz, hogy a repce és melléktermékeinek alkalmazásával a szója minél nagyobb mértékben kiváltható legyen.

A tanulmány célja, hogy átfogó irodalmi áttekintés keretében bemutassa a biodízel-előállítás során keletkező melléktermékek – elsősorban a repcedara és a repcepogácsa – takarmányozási potenciálját, feltérképezze alkalmazásuk előnyeit és korlátait a monogasztrikus állatok (sertés, baromfi) teljes értékű takarmánykeverékeiben, valamint elemezze azokat a fizikai, kémiai és kombinált feldolgozási eljárásokat, amelyek révén e melléktermékek energia- és táplálóanyagtartalma, valamint hasznosíthatósága javítható a fenntartható takarmányozás céljából. Jelen áttekintés nem tér ki a repcedara és -pogácsa konkrét alkalmazásának értékelésére sertések és baromfifajok esetében, mivel ezt korábbi munkánkban részletesen bemutattuk (Horváth et al., 2014).

2. A BIOÜZEMANYAG-ELŐÁLLÍTÁS MELLÉKTERMÉKEI

A bioüzemanyag-előállítás alapanyaga a bioetanol-gyártáshoz a nagy keményítő- és cukortartalmú növények (elsősorban kukorica és cukornád), míg a biodízel-gyártásban olajnövényeket alkalmaznak (elsősorban repcét és szóját) (Oláh és Popp, 2022).

A bioüzemanyag-előállítás egyik lehetséges terméke a bioetanol (Osman et al., 2021). A globális etanoltermelés mintegy 80 %-a bioüzemanyagként kerül felhasználásra, a fennmaradó részből szeszesital és ipari alkohol készül. Az üzemanyagcélú etanolgyártás alapanyagának közel 55 %-át kukorica, 34 %-át cukornád, 6 %-át melasz, 3,5 %-át búza és 1,5 %-át egyéb nyersanyag képezi (Popp et al., 2010).

Az üzemanyagcélú-bioetanol legnagyobb előállítója az Amerikai Egyesült Államok (USA) (51 milliárd liter) és Brazília (21 milliárd liter), vagyis a két ország együttesen a globális termelés 80 %-át teszi ki, míg az EU a harmadik legjelentősebb termelő 4,3 milliárd liter bioetanol-kibocsátással (Popp, 2013). Az etanolgyártás során az alkohol előállítása történhet cukor kivonásával és fermentációval, keményítő hidrolízisével és fermentációval vagy cellulóz hidrolízisével és fermentációval (Somogyi, 2012). A jelenleg alkalmazott legnépszerűbb eljárás a keményítő hidrolízisének és fermentációjának alapul, amelyen belül megkülönböztethető a száraz-őrléses és a nedves-őrléses etanolgyártás. A száraz őrléses bioetanolgyártás során minden 100 kg kukoricából 30-32 kg etanol, 30 kg CO₂ és 29 kg szárított gabonatorrköly (DDGS) keletkezik. Az eljárás során a desztilláció utáni cefremaradványt centrifugálással és/vagy bepárlással nyerik ki (Sakib és Haque, 2024). A nedves őrléses eljárással gyártott bioetanol technológiájának alkalmazásakor 100 kg kukoricából 29 kg etanol, 20 kg kukoricaglutén (CGF), 5 kg kukoricahéj, 3 kg kukoricacsíra nyerhető (Sipos, 2014).

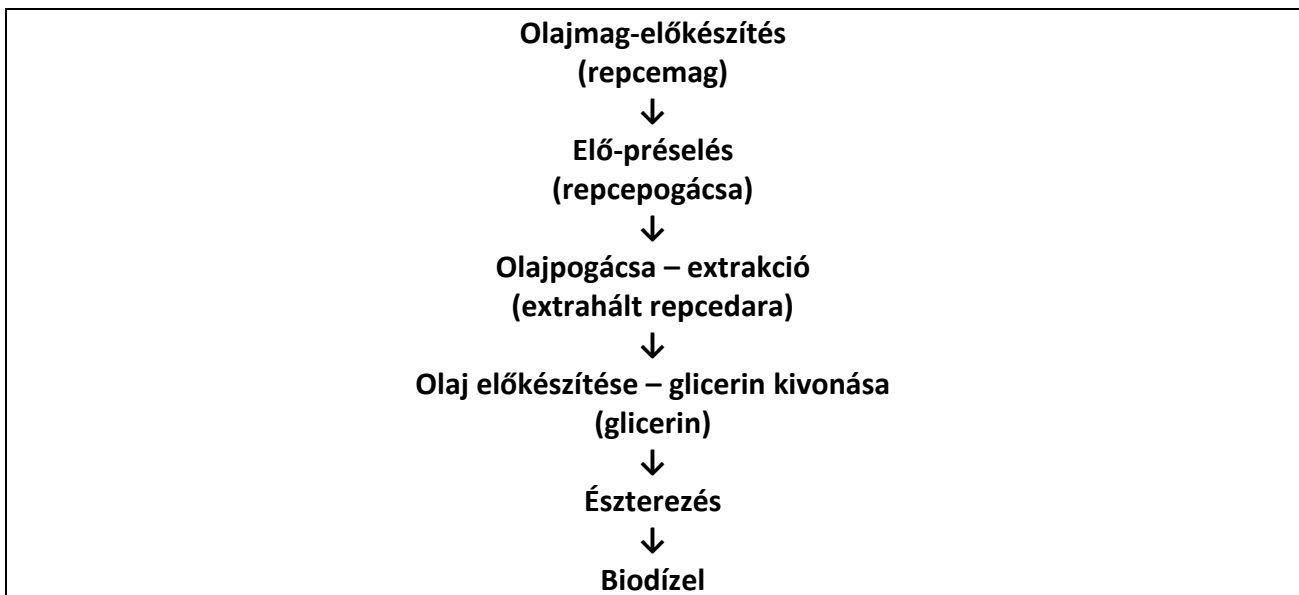
A DDGS táplálóanyag-tartalmát tekintve fehérjében, energiában és ásványianyagokban gazdag melléktermék (Böttger és Südekum, 2018). A szárítás során azonban a hőhatás jelentősen ronthat a termék nyersfehérje-tartalmának emészthetőségén. A CGF táplálóanyag-tartalmát leginkább a korpa és az áztatófolyadék aránya határozza meg (Mézes, 2018). A kukoricaglutén felhasználását korlátozó tényezők közül a nyersfehérje-tartalom és az aminosav-profil a leglényegesebbek (De Godoy et al., 2009). Mindkét melléktermék konzisztenciája, illetve minősége (táplálóanyag-tartalom) a takarmányban való felhasználás eredményességét közvetlenül befolyásolja (Révész, 2021). A DDGS és CGF ára alapvetően a kukoricához köthető, azonban figyelembe véve azt a tényt,



hogy a takarmányozáshoz használt DDGS és CGF a szója részleges helyettesítésére is használható, a DDGS és CGF árát a szójadara mindenkori árának alakulása is befolyásolja (Abudabos et al., 2021). A biodízel előállítása jellemzően két lépcsőre tagolódik: növényolaj-előállításra és átészterezésre (Musharavati et al., 2023). 1 tonna repcére vetítve a növényolaj-előállítás során 420 kg olaj és 540 kg dara keletkezik (43 % olajtartalommal számolva) (Jobbágy, 2013). A hidraulikus préselés eredménye az olajpogácsa, amelyből zsíroldószerrel végzett extrakciót követően extrahált dara nyerhető (Schmidt, 2003) (1. ábra).

Az olaj kinyerése hideg sajtolási eljárással egy horizontális csavarprés segítségével egy menetben, gőzhasználat nélkül történik, amely 50-70 %-os olajextrakciót eredményez (Kaldmae et al., 2010). A sajtolás során a hőmérséklet az 50-60 °C-ot éri el (Pál et al., 2011). A mechanikai olajkinyerés az ún. expeller-előállítás is. Ebben az esetben a préselést megelőzően az alapanyag hőmérsékletét gőz alkalmazásával 110-115 °C-ra emelik, majd egyszeri vagy többszöri préselést követően nyerik ki az olaj 75 %-át (Cakaloglu et al., 2018).

A száraz extrudálással összekapcsolt technológia során a pogácsát extrudálják 120-130 °C-on, 20 másodpercig, majd újból kipréselik (Agwa et al., 2023). A préselés során kb. 62-70 kg repcepogácsa keletkezik 100 kg repcemagból. Az olajpogácsából extrakcióval további olajkivonás lehetséges, amelyet követően extrahált repcedarát kapunk. A nyersolaj (30-38 kg) észterképzési folyamat során válik felhasználhatóvá (biodízel 28-36 kg). Egy molekula triglicerid (zsír vagy olaj) lép reakcióba metanollal katalizátor jelenlétében, amely folyamat eredményeként metilészter-keverék (az ún. biodízel) és glicerin (3-4 kg 100 kg repceből) keletkezik (Fébel, 2018; Zieniuk et al., 2020).



1. ábra: Biodízel-előállítás folyamatai és a takarmányozásban felhasználható melléktermékei

Forrás: Hajdú (2006)



Az 1. táblázatban a biodízel gyártása során képződött melléktermékek, az extrahált repcedara, repcepogácsa, valamint az etanolgyártás során keletkezett DDGS és főként a keményítőgyártásból származó CGF (De Corato és Viola, 2023) táplálóanyag-tartalma hasonlítható össze.

1. táblázat: A biodízel és a bioetanol előállítása során keletkező melléktermékek táplálóanyag-tartalma (g/kg takarmány)

Paraméterek	Szójadara	Repcedara	Repce-pogácsa	DDGS	CGF
Szárazanyag	900,0	888,7	913,2	927,6	895,4
Nyersfehérje	459,0	328,0	318,7	284,8	190,6
Nyerszsír	21,0	19,0	116,4	123,7	23,3
Nyersrost	50,0	131,5	110,6	60,5	72,2
Nyershamu	62,0	67,6	59,3	47,1	50,5

Forrás: Fébel (2018)

3. A REPCEALAPÚ MELLÉKTERMÉKEK TAKARMÁNYOZÁSI SZEMPONTBÓL FONTOS TÁPLÁLÓANYAGAI

A repcedara fontos fehérjehordozó alapanyag, mivel nyersfehérje-tartalma átlag 35-40 % (2. és 3. táblázat). A repcedara és -pogácsa nyersfehérje-tartalmát – többek között – a repce típusa, termesztési helye, rosttartalma befolyásolja (Theodoridou és Yu, 2013). Radfar et al. (2017) vizsgálatai szerint a sárga magvú *Brassica juncea*-ból előállított dara nyersfehérje-tartalma nagyobb, mint a fekete magvú *Brassica napus canola*-é. Slominski et al. (2012) negatív korrelációt írtak le a dara nyersfehérje- illetve rosttartalma között ($P < 0,05$).

A repcedara és -pogácsa nyersfehérje-tartalmának látszólagos emészthetősége a monogasztrikus állatoknál kisebb a szójadarával összehasonlítva (Nega és Woldes, 2018).

2. táblázat: Az extrahált szójadara, a repcedara és a repcepogácsa kémiai összetétele és energiatartalma

Paraméterek	Szójadara	Repcedara	Repcepogácsa
Nyersfehérje (g/kg)	450-485	380-400	290-320
Lizin (g/kg)	33	22	20
Metionin (g/kg)	7	7	7
Nyerszsír (g/kg)	10	30-40	100-150
Nyersrost (g/kg)	35-50	110-130	90-110
Lignin (g/kg)	10	80	80
Keményítő (g/kg)	160	140	110
DE (MJ/kg) ¹	16,4	13,3	15,0
AME _n (MJ/kg) ²	12,0	8,4	10,2

¹DE = emészthető energiatartalom; ²AME_n = zéró (0) N-visszatartásra korrigált, látszólagos metabolizálható energiatartalom

Forrás: Magyar Takarmánykódex (2004)



A repcedara, illetve –pogácsa kisebb nyersfehérje-tartalma következtében az aminosavak abszolút mennyisége, a metionin kivételével, nem éri el az extrahált szójadarában mért értékeket (3. táblázat).

3. táblázat: Az extrahált szójadara, a repcedara és a repcepogácsa esszenciális aminosavtartalma a nyersfehérje %-ában

Paraméterek	Szójadara	Repcedara	Repcepogácsa
Nyersfehérje (%)	43,8	38,60	35,70
Arginin	3,49	1,83	1,82
Hisztidin	1,21	0,86	0,83
Izoleucin	2,15	1,29	1,24
Leucin	3,66	2,34	2,26
Lizin	2,99	1,30	1,33
Metionin	0,60	0,63	0,60
Fenilalanin	2,35	1,45	1,35
Treonin	1,89	1,49	1,40
Triptofán	0,66	0,43	0,42
Valin	2,24	1,74	1,62

Forrás: Banaszkievicz (2011); Feng és Zuo (2007)

Amennyiben azonban 1 egység extrahált szójadarat 1,3-1,4 egység repcepogácsával helyettesítünk, úgy metioninben, cisztinben és treoninban gazdagabb keveréket kapunk (Kakuk és Schmidt, 1988; Rakita et al., 2023). A szójadara kiváltásakor, a repcedara aminosavainak kisebb ileális emészthetősége miatt, különösen fontos az összes aminosav helyett a különböző korú és hasznosítási irányú sertés, illetve baromfifélék takarmányreceptúra összeállításakor a standardizált ileálisan emészthető aminosav mennyiségét (SID, Standardized Ileal Digestibility) figyelembe venni (Fébel, 2018). A szója lizinben gazdag takarmány, amely a repcével együtt etetve nagyon jól kiegészítik egymás aminosav-garnitúráját (Salazar-Villanea et al., 2016; Cheng et al., 2022).

A repce típusa, a szennyezőanyag-tartalom, a feldolgozási technológia és egyéb tényezők (pl. talaj, éghajlat) egyaránt befolyásolhatják a repceből előállított melléktermék energia- és táplálóanyag-tartalmát (Adewole et al., 2016). A repcemag préselése után a repcepogácsában még jelentős mennyiségű olaj marad, amit a nyerszsírtartalom viszonylag nagy értéke (100–150 g/kg) mutat (2. táblázat). A hidegen préselt repce nyerszsírtartalma megközelítően 120-130 g/kg, míg a nagyobb hőmérsékleten és nyomással préselt repce esetén 100-150 g/kg (Orosz és Tóth, 2010). Theodoridou és Yu (2013) kutatásai szerint a barna magvú *Brassica napus*-ból készült repcepogácsa nyerszsírtartalma akár nagyobb is lehet, mint a sárga magvú *Brassica juncea*-é és *Brassica napus*-é, azonban a nyersfehérje jobb emészthetősége (vékonybéli) és a kisebb rosttartalom miatt a sárga magvú repce alkalmazása eredményezhet kedvezőbb minőségű alapanyagot a gazdasági haszonállatok takarmányozásában.

A duplanullás változatú repce olaja nagy mennyiségben tartalmaz telítetlen zsírsavakat (olajsav C18:1(9), linolsav C18:2 (9,12), linolénsav C18:3 (9,12,15), míg a telített zsírsavak (palmitinsav C16:0, sztearinsav C18:0) aránya kicsi. A többszörösen telítetlen zsírsavak viszonylag nagy aránya rontja az oxidatív stabilitást. Ennek megelőzésére az élelmiszeriparban a repceolajat hidrogénezéssel stabilizálják. A zsírsavak átalakítása előnytelen hatású transz-izomerek képződésével jár (Danthine et al., 2022). A transz-izomerek ugyanis növelik a vérben az LDL-koleszterin-szintet (Low Density Lipoprotein) és csökkentik a HDL-koleszterin-szintet (High Density Lipoprotein). A vérben lévő



nagyobb LDL-koleszterin-szint (2 mmol/l felett) és a kisebb HDL-koleszterintartalom (0,9 mmol/l > HDL < 5,2 mmol/l) növeli a szív- és érrendszeri megbetegedések (pl. érelmeszesedés) kialakulásának valószínűségét (Brouwer et al., 2010; Wang et al., 2024). A növénynevelési eljárásokkal igyekeznek a repcemagban az olajsav-tartalmat tovább növelni, illetve kisebb linolsav és linolénsav arányt elérni. Ez ugyanis lehetővé tenné a hidrogénezési folyamat alkalmazásának csökkentését, illetve elhagyását (Heszky, 2007; Delgado és Kleber, 2019).

Az olajkinyerés során keletkező melléktermékek, az extrahált repcedara és a repcepogácsa mért zsírsavösszetételének adataiból (4. táblázat) kitűnik, hogy az extrahált repce olajsavtartalma (C18:1n-9c), linolsav-tartalma (C18:2n-6c), illetve α -linolénsav-tartalma (C18:3n-3) kisebb a repcepogácsával összehasonlítva, ami a technológia során a repcepogácsában visszamaradt nagyobb olajtartalom eredménye (Schmidt, 2003).

4. táblázat: Extrahált repcedara és repcepogácsa zsírsavösszetétele

Paraméterek	Extrahált repcedara		Hidegen sajtolt repcepogácsa	
Zsírsavak	mg/g	%	mg/g	%
C12:0 (Laurinsav)	0,01	0,05	-	-
C14:0 (Mirisztinsav)	0,07	0,34	0,14	0,14
C15:0 (Pentadekánsav)	0,04	0,19	0,07	0,07
C16:0 (Palmitinsav)	2,33	11,89	7,20	7,25
C16:1 (Palmitoleinsav)	0,34	1,73	0,69	0,70
C17:0 (Heptadekánsav)	0,03	0,17	0,09	0,09
C18:0 (Sztearinsav)	0,35	1,77	1,88	1,89
C18:1n-9c (Olajsav)	7,20	36,69	45,99	46,27
C18:2n-6c (Linolsav)	7,47	38,05	30,15	30,33
C18:3n-3 (α -Linolénsav)	1,58	8,04	11,34	11,40
C20:0 (Arachidsav)	0,09	0,46	0,61	0,62
C20:1n-9 (Eikozénsav)	0,09	0,48	1,13	1,14
C20:2n-6 (Eikozadiénsav)	0,01	0,05	0,07	0,07
C22:1 (Erukasav)	0,02	0,09	0,05	0,05
Összes zsírsav (mg/g)	19,62		99,41	
Nyerszsír (g/kg)	19,00		116,4	

Forrás: Fébel (2018)



A repcedara és -pogácsa viszonylag gazdag ásványi anyagokban (5. táblázat), beleértve a kalciumot, foszfort, káliumot, vasat és cinket (Beyzi et al., 2019; Kolláthová et al., 2019).

A szójadarához képest a repcedara kalcium- és foszfortartalma nagyobb, ami viszont a vitaminösszetételét tekintve a repce nagy mennyiségben tartalmaz B-vitamint, biotint, folsavat, niacint, riboflavint, tiamint, valamint E-vitamint (Szydłowska-Czerniak, 2013). Ezenkívül a repce gazdag fenolos és más bioaktív vegyületekben, mint pl. tokoferolokban és kolinban (Vuorela et al., 2004).

5. táblázat: A szója- és repcepogácsa makro- és mikroelem-tartalmának összehasonlítása

Paraméterek	Szójapogácsa	Repcepogácsa
Kalcium (g/kg szárazanyag)	3,49	6,63
Foszfor (g/kg szárazanyag)	6,08	12,23
Magnézium (g/kg szárazanyag)	2,09	4,08
Nátrium (g/kg szárazanyag)	0,23	0,18
Kálium (g/kg szárazanyag)	20,47	13,81
Réz (mg/kg szárazanyag)	14,68	8,90
Vas (mg/kg szárazanyag)	88,97	107,94
Mangán (mg/kg szárazanyag)	25,62	54,07
Cink (mg/kg szárazanyag)	44,77	52,38

Forrás: Kolláthová et al. (2019)

4. A REPCEALAPÚ MELLÉKTERMÉKEK FELHASZNÁLÁSÁT AKADÁLYOZÓ ANTINUTRITÍV VEGYÜLETEK

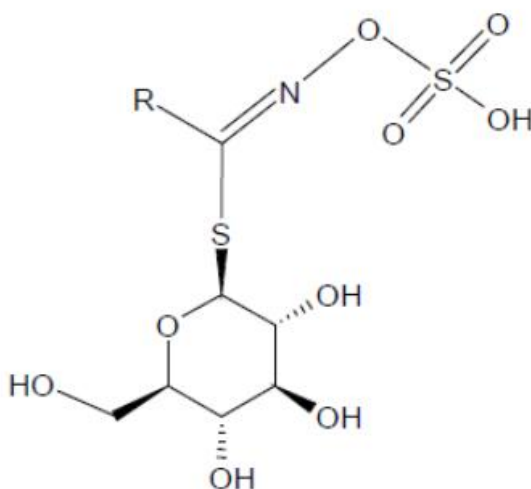
A repce felhasználhatóságát antinutritív hatású összetevői [erukasav, csersav (tannin), glükoszínolát (mustárolajglikozid), szinapin, fitát] korlátozzák (Mawson et al., 1994; Cheng et al., 2022).

Az erukasav, illetve trigliceridjei karcinogén hatásúak, károsítják a szívizmot, a májat és a mellékvesét (Rudas és Frenyó, 1995). A kis erukasav-tartalmú repcét Kanadában nemesítették, innen az elnevezése: CANOLA (CANadian-Oil-Low-Acid). A tannin a növényekben lévő polifenol-származékok gyűjtőneve, amely csökkenti a fehérje emészthetőséget, valamint a fehérjeburokkal körbezárt endospermium hasznosítását is monogasztrikus állatoknál (Schmidt, 2003; Das et al., 2020).

A repce szemtermése és vegetatív részei kéntartalmú, jellegzetes szagú mustárolaj-glikozidokat, összefoglaló néven glükoszínolátokat tartalmaznak (2. ábra). Nevüket onnan kapták, hogy hatóanyaguk béta-glikozid kötéssel kapcsolódik egy, vagy több monoszacharid molekulához. Ma már több mint ötven ismert glükoszínolátot tartanak számon (Yan és Chen, 2007; Vermeulen, 2009). Valamennyi glükoszínolátra jellemző, hogy gátolják a jódd beépülését a tiroxin pajzsmirigyhormonba (Pasko et al., 2018; Goyal et al., 2021), valamint károsítják a máj és vese működését (Kállai és Kralovánszky, 1978; Lee et al., 2020).

A repcemagban található glükoszínolátok és az azt bontó mirozináz (tioglükozid glükohidroláz EC 3.2.3.1) egymástól elkülönülve, külön sejtterekben helyezkednek el (Maskell és Smithard, 1994). Az előkészítő eljárásokkal (darálás, pépesítés, áztatás) a sejtfalak sérülnek, az enzim és a glükoszínolátok kölcsönhatásba léphetnek. Az enzimes hidrolízis hatására a pajzsmirigy működését károsan befolyásoló vegyületek (izotiocianát, goitrin, nitrilek, tiocianát) képződnek (Goyal et al., 2021). A repce feldolgozás során alkalmazott eljárások, mint a hőkezelés azonban a hőérzékeny mirozináz inaktiválását eredményezi (Schmidt et al., 2003). A glükoszínolátok takarmányban való előfordulásának minimalizálására azért van szükség, mert egészségkárosító metabolitjaik goitrogén,

mutagén, hepatoxikus és nefrotoxikus hatásúak az állat szervezetében (Tripathi és Mishra, 2007). Ugyanazt a kiindulási alapanyagot feltételezve, a kezelési technológia a repcepogácsában kisebb, az extrahált repcedarában viszont nagyobb glükozinoláttartalmat hoz létre (Rymer és Short, 2002). A duplanullás repceből készült repcepogácsában a glükozinolát koncentrációja 18,5 mmol/kg szárazanyag, míg az extrahált repcedarában mintegy 30 mmol/kg szárazanyag volt (Hill et al., 2003; Schöne et al., 1996).



2. ábra A glükozinolát általános szerkezete, R változó oldallánc

Forrás: Wittstock és Halkier (2002); Golebiewska et al. (2022)

A repce szinapintartalma is antinutritív hatású. A repcében kb. 1 % mennyiségben található szinapin lebontása során keletkező trimetilamin tehető felelőssé egyes barna héjú tojást termelő tyúkok tojásában megjelenő halszagért (Tripathi és Mishra, 2007).

A glükozinolátok és szinapin mellett számolni kell a fitáttartalommal. A fitinsav (mioinozitol-hexafoszforsav) a foszfor raktározott formája a gabonákban, hüvelyesekben, diófélékben és olajos magvakban (Jacela et al., 2010). A fitinsav fehérjékkel és számos ásványi anyaggal (Zn, Ca és Fe) oldhatatlan komplexeket képez. Ez a kölcsönhatás megváltoztathatja a fehérje szerkezetét és a fehérje oldhatóságát, ami az állat bélrendszerében gátolja a felszívódást (Nissar et al., 2017). A fitáz hatására felszabaduló fehérjék stimulálják azon bélbaktériumok aktivitását, amelyek aktivitásának eredményeként a glükozinolátok hidrolízise toxikus vegyületek felszabadulásához vezet (Smulikowska et al., 2010).

A repcepogácsa, illetve az extrahált repcedara felhasználhatóságát nyersrosttartalmuk is korlátozza, mindkettő kétszer-háromszor annyit tartalmaz, mint az extrahált szójadara (Hansen et al., 2017). A roston belüli lignintartalom nagyobb, mintegy nyolcszorosa a repcepogácsában és az extrahált repcedarában is, a szójadarához viszonyítva. A lignin nagymértékben rontja a cellulóz bakteriális lebonthatóságát. A nagyobb nyersrosttartalom, ezen belül a lignin, sertésben, illetve baromfifélékben megakadályozza a táplálóanyagok (szerves anyag, nyersfehérje, aminosavak, nitrogénmentes kivonható anyag) hozzáférhetőségét a bélcsatornában, így jelentősen csökkenti azok látszólagos emészthetőségét (Cheng et al., 2022).



Az antinutritív hatású anyagok összességében rontják a takarmány ízletességét, az emészthetőséget és nagyobb mennyiségben károsak a létfontosságú szervek állapotára is. Ebből következően a gazdasági állatok takarmányozásában a repceből készült melléktermékek felhasználásához, a termelési mutatók, valamint az anyagforgalmi paraméterek romlásának megelőzése érdekében elengedhetetlen azok kezelése (Nega és Woldes, 2018; Cheng et al., 2022; Golebiewska et al., 2022).

5. REPCEKEZELÉSI ELJÁRÁSOK

5.1 Növénynemesítés

A növénynemesítés során az első lépés az antinutritív hatású anyagok csökkentésére, a „0” (nullás) változatú repcemag kinemesítése volt. Az erukasav mennyisége az összes zsírsav %-ában kifejezve 50 %-ról 1 % alá csökkent, Kanadában és Nyugat-Európában gyorsan elterjedt használata (Shahidi, 1990). Ezt követően a „00” (duplanullás), vagy CANola repce nemesítésére került sor, ami a csökkentett erukasav-mennyiségen túl, glükoszínolát-tartalomban is kisebb volt, mint az addig alkalmazott repcefajták, hibridek. Glükoszínolát-tartalma 100 $\mu\text{mol/g}$ -ról 18 $\mu\text{mol/g}$ alá csökkent (Ewing, 1997). A duplanullás repcét a „000” (triplanullás, olaj erukasav-tartalom: < 0,5 %) és „0000” (tetranullás, erukasav-tartalom: nyomokban) változatok követték, amelyekben kisebb a nyersrosttartalom a korábbi köztermesztésű fajtákhoz viszonyítva (Mailer et al., 2008). A tripla-, és tetranullás változatok 20-30 %-kal kevesebb nyersrostot, illetve 50 %-kal kisebb mennyiségű lignint tartalmaznak (Slominski et al., 2012; Yahbi et al., 2024) (6. táblázat).

6. táblázat: Különböző nemesített repcefajták összehasonlítása

Nemesítés	Olaj erukasav-tartalom (%)	Mag olajtartalom (%)	Mag glükoszínolát-tartalom ($\mu\text{mol/g}$)
Nagy erukasav	48-52	45-47	90-140
Duplanullás	2 >	42-44	20-30
Triplanullás	0,5 >	42-44	20 >
Tetranullás	nyomokban	45 <	10 >

Forrás: Hoffmann (2011)

Jelenleg a hazai gyakorlatban alkalmazott duplanullás repcefajták olajminősége tekinthető a legkedvezőbbnek az itthon termesztett olajnövények közül, mind élelmiszer (étolaj), mind hajtóanyag célú (biodízel) felhasználáshoz (Tóth et al., 2014). A nemesítés spontán és indukált mutációval, mutánsok szelekciójával és mutációs nemesítéssel próbál olyan fajtákat előállítani, amelyekben az olaj zsírsav-összetétele megfelel a kívánalmaknak (Falusi et al., 2013). A nemesítés biotechnológiai úton transzgenikus fajták előállításával kívánja az élelmiszeripar, illetve a biodízel-előállítás követelményeit teljesíteni. Az élelmiszer célú módosítások elsődleges célja olyan olajrepce fajták előállítása, amelyekben a telített zsírsavak aránya 4 % alatt van (jelenleg a köztermesztésű fajtákban lévő telített zsírsavak aránya 7 % alatti) (Heszky, 2007). A nemesítés minőségi követelményei az olajtartalom növelése (jelenleg 42-47 %, cél 45-50 %, az erukasav-mentesség (0,1 %), mérsékelt glükoszínolát-tartalom (25 $\mu\text{mol/g}$ alatt), kicsi tannintartalom, illetve kedvezőbb zsírsavösszetétel elérése (Hoffmann, 2011).

Az USA-ban köztermesztésbe került a Monsanto (Calgene) két szabadalmaztatott génkonstrukciója (LauricalTMCanola névvel), amelyek laurinsav-tartalma elérte a 45 %-ot. Az új zsírsav megjelenése a repceolajban nem okozott negatív hatást a repce növekedésére, fejlődésére és termőképességére



(Ton et al., 2020). Az Európai Unióban a GM növények felhasználása jogilag szabályozott, Magyarország pedig moratóriumot hirdetett e növények termesztésére (Vértes, 2010). A magyar nemesítési munka az olajsavtartalom növelésére irányul, amely elsősorban a repceolaj hidrogénezésének csökkentését, ezáltal a transzszírsavak keletkezésének megakadályozását vonja maga után, másodsorban hasznos a biodízel célú felhasználásnál az üzemanyag cetánszáma, stabilitása, illetve a hőmérséklettel szembeni ellenállása szempontjából. A GK TRENDI HO nevű repcefajta 74 % olajsavat tartalmaz, 2011-ben kapott állami minősítést hazánkban (Falusi et al., 2013).

5.2 Fizikai kezelések

A hőkezelés csökkenti a repcedara glükoszínolát-tartalmát. Hidrotermikus eljárásnál gőzzel, vagy víz hozzáadásával történik a kezelés. A száraz termikus módszernél a hőn kívül nem alkalmaznak más segédanyagot. Előbbihez tartozik pl. a tősztolás, míg a száraz termikus eljárásoknál a mikronizálást, a mikrohullámú kezelést vagy a száraz extrudálást alkalmazzák (Paya et al., 2022). Összehasonlítva a két különböző típusú hőkezelést, a nedves közegben végzett változat hatékonyabb a glükoszínolát mennyiségének csökkentése szempontjából, mint a száraz, függően a kezelt repce fajtájától/hibridjétől a hevítési idő hosszától, illetve a hevítési hőmérséklettől. Hidrotermikus eljárással 630-950 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ a teljes glükoszínolát mennyiségének (63-95 %) bontása. 100 °C-on 30 másodpercig történő hőkezelés 50 %-kal csökkenti a glükoszínolát mennyiségét a fehérje minőségének befolyásolása nélkül (Wang et al., 2018). Alapvetően a magvak termikus (száraz) és hidrotermikus kezelése kedvező hatással van takarmányozási értékükre, ami egy összetett hatásmechanizmusra vezethető vissza. Abban ugyanis egyaránt szerepet játszanak a fizikai változások hatására létrejövő kémiai folyamatok, valamint az ezeket kísérő egyéb hatások (pl. a mikrobiológiai állapot javulása). Jeroch et al. (1999) kísérletében hidrotermikus úton kezelt repcedarát alkalmazott, amelynek szinapintartalma 6152 mg/kg-ról 50 mg/kg-ra csökkent az eljárásnak köszönhetően, míg glükoszínoláttartalma 13,8 mmol/kg-ról 1,4 mmol/kg-ra.

A repcedara héjitalanítását és zsírtalanítását követő 30 másodpercig tartó tősztolás (gőzös hőközlés 115-120 °C-on, 14-20 másodpercig) 17 %-kal csökkenti a darában lévő szinapin-tartalmat (Salazar-Villanea et al., 2017).

A mikronizálás módszerével infravörös generátorok közvetlenül hevítik az egyenletes hatás érdekében egyrétegben elterített magvakat, amelyekben a meginduló hőtermelő molekuláris rezgés hatására a víztartalom gőzzé válva felrobbantja a magot (Schmidt, 2003). Az eljárás (195 °C-on 90 másodpercig tartó mikronizálás) a repcedara teljes glükoszínoláttartalmát 370 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ mennyiségben képes csökkenteni (Fenwick et al., 1986).

A 2450 MHz-en történő, 2,5 másodpercig tartó mikrohullámú kezelés 70-254 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ glükoszínolát bomlást eredményez. A bomlás fokozható nagyobb nedvesség-tartalommal, a mikrohullámú sugárzás idejének növelésével és a hőmérséklet emelésével (Zhang et al., 2023).

A préselés vagy sajtolás a repcemag olajtartalmának kinyeréséhez alkalmazott fizikai kezelés, amely során a visszamaradó mellékterméket repcepogácsának nevezzük (Orosz és Tóth, 2010). Két különböző eljárást különböztetünk meg, az alacsony hőfokon történő hidegen préselés (50-70 °C) módszerét, illetve a nagyobb hőfokon (100-150 °C) történő meleg sajtolás (Baker et al., 2022).

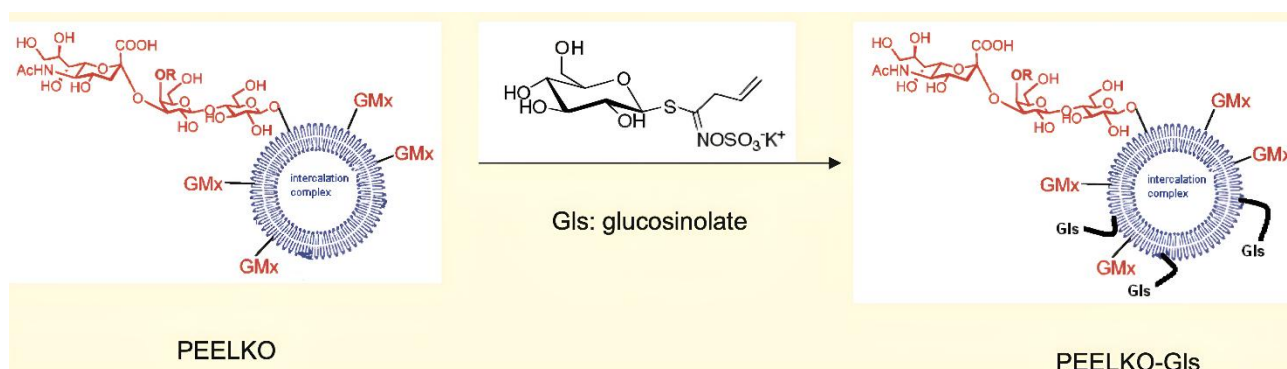
A száraz extrudálás mechanikus erőhatással, magas hőmérsékleten (110-140 °C-on) 110-120 bar nyomás mellett történik. A repcedara száraz extrudálása a teljes glükoszínolát-tartalom csökkenéséhez (193-428 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$) vezet (Fenwick et al., 1986; Martin et al., 2021).

5.3 Kémiai kezelések

Az extrahálás a legismertebb olyan kémiai eljárás, ami a repcedara szinapintartalmát csökkenti jelentősen (Rymer és Short, 2003). A feldolgozás során alkalmazott oldószer többek között etanolt, karbinolt, acetont és vizet tartalmaz, amelyek csökkentik a glükoszínolát molekulatömegét (Feng és Zuo, 2007). A metanol-ammónia-víz/hexán extrakció módszerével a repcedara glükoszínolát-tartalma 1,6 $\mu\text{mol/g}$ -ra, fenoltartalma 5 mg/g -ra (Naczk et al., 1992; Von der Haar et al., 2014) csökkenthető.

Ammóniakezeléssel az olajdara fenolvegyületei mérsékelhetők, amely vagy gázosítással, vagy alkoholos megoldással történik (Naczk et al., 1998). McGregor et al. (1983) gáz-ammonizációval kezelték a kísérletünkben alkalmazott Brassica juncea darát, amelynél a kezelés hatására a szinapintartalom 74 %-át távolították el. Az etanolos ammónia-módszerrel (0,2 M) a „Candle” és „Tower” típusú canola repcedarákban lévő fenolvegyületek mennyisége 82, illetve 39 %-kal csökkent (Higgs et al., 1982).

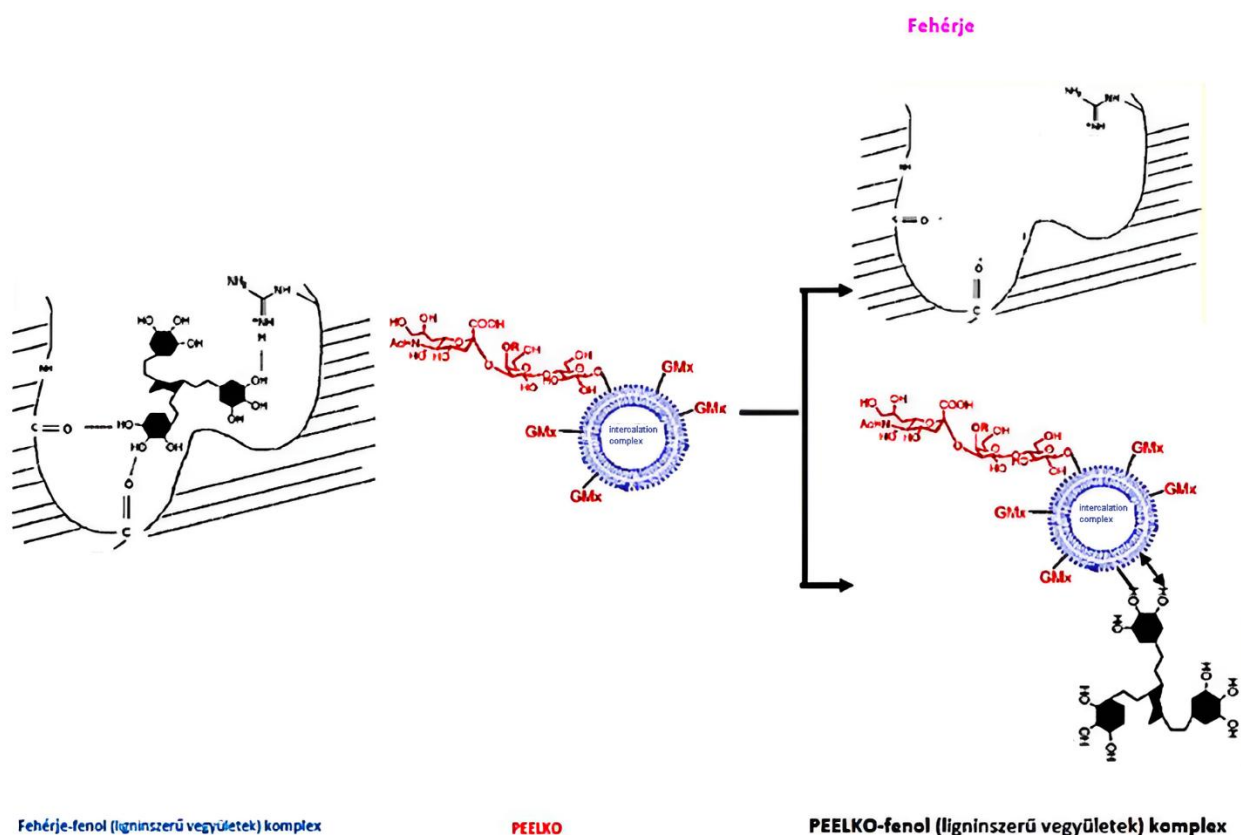
A „Peelko” takarmánykiegészítő a repcedara vagy repcepogácsa antinutritív anyagait (glükoszínolátokat, tanninokat) kémiai átalakítja (3. ábra), a képződött vegyület pedig kisebb mértékben szívódik fel. A kémiai előállítás lényege, hogy a hidegen vagy melegen préselt repcepogácsát, vagy extrahált repcedarát Al, Ca, vagy Mg elemek reaktív anionnal képzett sóját és polimerekkel alkotott vegyes sóját, ambivalens hőmérsékleten – célszerűen 15-30 °C-on reagáltatjuk (EP2520176; CA2774831) (Wallace et al., 2022).



3. ábra: „Peelko” kémiai kötése a glükoszínolátokkal

Forrás: M1101164 azonosítószerű védjegybejegyzés alapján (2011)

Az így módon előkészített takarmánykiegészítő („Peelko”) nemcsak a glükoszínolátokkal, de a fenolcsoportokat tartalmazó vegyületekkel is képes kémiai kötést létesíteni (4. ábra). Ez a módszer megakadályozza a glükoszínolátok kb. 95 %-nak felszívódását az emésztőcsatornából, másrészt csökkenti a vízben nem oldódó polimerek (pl. rostok) térfogatát (Lee et al., 2020; Cheng et al., 2022).



4. ábra: „Peelko”-fenol komplex keletkezésének folyamata

Forrás: M1101164 azonosítószerű védjegyjegyzék alapján (2011)

5.4 Kombinált kezelések

A fizikai típusú hidrotermikus módszer (expander) kémiai kezeléssel (10 % nátrium-bikarbonát, szóda-bikarbonát) történő kombinációja révén (Brettschneider, 2006; Jeroch et al., 2009) a repcemagban lévő glükózinnal mennyisége hatékonyabban csökkenthető (91 % szárazanyag-tartalom mellett 13,8 $\mu\text{mol/g}$ -ról 1,5 $\mu\text{mol/g}$ -ra), mint a tósztolási technológia az olajdarabban (Kozłowski és Jeroch, 2014).

A savas és lúgos bomlás eredménye csökkent antinutritív hatás, ami elérhető H_2SO_4 (kénsav), NaOH (nátrium-hidroxid), KOH (kálium-hidroxid), Ca(OH)_2 (kalcium-hidroxid) alkalmazásával hőkezelés mellett. A kombinált kezelés kivitelezése azonban drága és környezetszennyező. A repcedara savval és lúggal való kezelésekor az alapanyag minősége és íze jelentősen romlik (Feng és Zuo, 2007).

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A repcedara és a repcepogácsa kedvező táplálóanyag-összetétele – különösen a kén-tartalmú aminosavak (metionin és cisztein), valamint a többszörösen telítetlen zsírsavak (PUFAs) szempontjából – ígéretes alternatívát jelent a monogasztrikus állatok takarmányozásában. Felhasználhatóságukat azonban jelentősen korlátozhatja a magas rosttartalom és az antinutritív vegyületek, például a glükózinnal és a szinapin jelenléte. A különböző feldolgozási technológiák alkalmazása kulcsfontosságú e hátrányok mérséklésében. A fizikai kezelések, mint az extrudálás és a különböző termikus és hidrotermikus kezelések, hatékonyan csökkenthetik az antinutritív anyagok



mennyiségét, ezáltal javítva az emészthetőséget és az ízletességet. A kémiai eljárások – például az extrahálás és az ammóniakezelés – tovább mérsékelhetik a glükozinolátok és a tanninok káros hatásait. A kombinált módszerek, különösen a hidrotermikus és kémiai kezelések együttes alkalmazása, ígéretes megoldást jelenthet a repce-alapú takarmányok beltartalmi értékeinek javítására. A repcemelléktermékek – elsősorban a repcepogácsa és az extrahált repcedara – fontos szerepet tölthetnek be a fenntartható takarmányozásban, mivel helyi, olcsóbb alternatívát kínálnak az import eredetű szójadarával szemben, ezzel csökkentve a globális ellátási láncoktól való függőséget. Amennyiben a bioüzemanyag-gyártás melléktermékeként keletkeznek, úgy az ipari melléktermékek újrahasznosításával erősítik a körkörös gazdaság elvét; továbbá kombinálva más ipari eredetű melléktermékekkel (pl. DDGS, CGF) gazdaságos, környezetbarát és kedvező táplálóanyag-tartalmú takarmánykeverékek állíthatók elő.

A jövőbeli kutatásoknak ki kell terjedniük az új fizikai, kémiai és kombinált eljárások fejlesztésére az antinutritív anyagok további csökkentése érdekében. Ígéretes megoldást jelenthet pl. a fermentáció, amely nemcsak az antinutritív vegyületek lebontását segítheti elő, hanem javíthatja a táplálóanyagok biológiai hasznosulását is, ezáltal pozitív hatást gyakorolva az állatok termelési mutatóira.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a repce melléktermékei megfelelő feldolgozási eljárásokkal és kiegészítő takarmányozási stratégiák alkalmazásával alkalmasak lehetnek a szójadara részleges vagy akár teljes helyettesítésére.



Feeding Potential of Rapeseed By-Products: Opportunities and Challenges (Review)

ÉVA RITA HORVÁTH¹, TAMÁS TÓTH^{2*}, HEDVIG FÉBEL³

¹Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Animal Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0646-1719>

²Széchenyi István University, Agricultural and Food Research Centre, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-4457-1473>

Email: toth.tamas@sze.hu

³University of Veterinary Medicine

Department of Obstetrics and Food Animal Medicine Clinic, Budapest, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9867-0664>

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

The global feed industry requires an increasing amount of protein sources, which soybean production cannot sustainably supply in the long term. Among alternative protein sources, by-products of rapeseed oil production, particularly rapeseed cake and extracted rapeseed meal, offer a promising solution for feeding monogastric animals (pigs and poultry). Rapeseed by-products have a considerable protein content; however, their utilization is limited by high fiber levels and the presence of antinutritional compounds such as glucosinolates, sinapine, and tannins.

Based on our literature review, we found that physical treatments (e.g., extrusion) effectively reduce the concentration of antinutritional factors, thereby improving nutrients' digestibility and palatability. Chemical processing methods, such as solvent extraction or ammonia treatment, can further mitigate the adverse effects of glucosinolates and tannins. Combined approaches, integrating hydrothermal and chemical treatments, may provide a more effective strategy for enhancing feed quality. Current plant breeding programs aim to further decrease glucosinolate and fiber content while optimizing protein and oil levels.

The utilization of rapeseed by-products in combination with co-products from bioethanol and starch production (e.g., DDGS, CGF) could serve as an economically viable and sustainable alternative for the partial replacement of extracted soybean meal. By applying appropriate processing technologies, locally produced rapeseed-based feedstuffs can contribute to improved food security and environmental sustainability.

Keywords: rapeseed, glucosinolate, treatments, physical methods, chemical processes



IRODALOMJEGYZÉK

- Abudabos, A. M., Abdelrahman, M. M., Alatiyat, R. M., Aljumaah, M. R., Al Jassim, R., & Stanley, D. (2021). Effect of dietary inclusion of graded levels of distillers dried grains with solubles on the performance, blood profile and rumen microbiota of Najdi lambs. *Heliyon*, 7, e05683. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05683>
- Adewole, D. I., Rogiewicz, A., Dyck, B., & Slominski, B. A. (2016). Chemical and nutritive characteristics of canola meal from Canadian processing facilities. *Animal Feed Science and Technology*, 222, 17-30. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.09.012>
- Agwa, H. M. M., Saleh, H. M., Ayyat, M. S., & Abdel-Rahman, G. A. (2023). Effect of replacing cottonseed meal with canola meal on growth performance, blood meatbolites, thyroid function, and ruminal parameters of growing lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 55, 122. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03528-0>
- Baker, P. W., & Charlton, A. (2020). A comparison in protein extraction from four major crop residues in Europe using chemical and enzymatic process- a review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, 102239. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102239>
- Baker, P. W., Visnjevec, A. M., Krienke, D., Preskett, D., Schwarzkopf, M., & Charlton, A. (2022). Pilot scale extraction of protein from cold and hot-pressed rapeseed cake: Preliminary studies on the effect of upstream mechanical processing. *Food and Bioproducts Processing*, 133, 132-139. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.03.007>
- Banaszkiewicz, T. (2011). The effect of high rape cake and phytase addition on nutritive value of diets for broiler chickens. *Journal Applied Animal Research*, 39, 346-352. <https://doi.org/10.1080/09712119.2011.620445>
- Beyzi, E., Gunes, A., Beyzi, A. B., & Konca, Y. (2019). Changes in fatty acid and mineral composition of rapeseed (*Brassica napus ssp. oleifera* L.) oil with seed sizes. *Industrial Crops and Products*, 129, 10-14. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.064>
- Böttger, C., & Südekum, K. (2018). Review: protein value of distillers dried grains with solubles (DDGS) in animal nutrition as affected by the ethanol production process. *Animal Feed Science and Technology*, 244, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.07.018>
- Brettschneider, J. G. (2006). Influence of chemical and hydro thermal treated rapeseed on performance, egg quality and thyroid parameters of laying hens [Doctoral thesis]. Olsztyn, Poland.
- Brouwer, I. A., Wanders, A. J., & Katan, M. B. (2010). Effect of animal and industrial trans fatty acids on HDL and LDL cholesterol levels in humans – A quantitative review. *PLoS ONE*, 5, e9434. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009434>
- Cakaloglu, B., Özyurt, V. H., & Ötles, S. (2018). Cold press in oil extraction. A review. *Food Technology*, 7, 640-654. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2018-7-4-9>
- Carré, P., & Pouzet, A. (2014). Rapeseed- Tremendous potential for added value generation? Rapeseed market, worldwide and in Europe. *OCL*, 21, D102. <https://doi.org/10.1051/ocl/2013054>
- Cheng, H., Liu, X., Xiao, Q., Zhang, F., Liu, N., Tang, L., Wang, J., Ma, X., Tan, B., Chen, J., & Jiang, X. (2022). Rapeseed meal and its application in pig diet: A review. *Agriculture*, 12, 849. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060849>
- Chiang, G., Lu, W. Q., Piao, X. S., Hu, J. K., Gong, L. M., & Thacker, P. A. (2010). Effects of feeding solid-state fermented rapeseed meal on performance, nutrient digestibility, intestinal ecology and intestinal morphology of broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 23(2), 263-271. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.90145>



- Danthine, S., Closset, S., Maes, J., Mascrez, S., Blecker, C., Purcaro, G., & Gibon, V. (2022). Enzymatic interesterification to produce zero-trans and dialkylketones-free fats from rapeseed oil. *OCL*, 29, 36. <https://doi.org/10.1051/ocl/2022029>
- Das, A. K., Islam, N., Faruk, O., Ashaduzzaman, & Dungani, R. (2020). Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities. *South African Journal of Botany*, 135, 58-70. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.08.008>
- De Corato, U., & Viola, E. (2023). Biofuel co-products for livestock feed. In *Agricultural Bioeconomy - Innovation and Foresight in the Post-Covid Era* (pp. 245-286). Academic Press, Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90569-5.00010-X>
- De Godoy, M. R. C., Bauer, L. L., Parsons, C. M., & Fahey, G. C. (2009). Select corn coproducts from the ethanol industry and their potential as ingredients in pet foods. *Journal of Animal Science*, 87, 189-199. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0596>
- Delgado, G. E., & Kleber, E. (2019). Trans fatty acids and mortality. In *The Molecular Nutrition of Fats* (pp. 335-345). Academic Press, Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811297-7.00026-3>
- Drazbo, A., Ognik, K., Zaworska, A., Ferenc, K., & Jankowski, J. (2018). The effect of raw and fermented rapeseed cake on the metabolic parameters, immune status, and intestinal morphology of turkeys. *Poultry Science*, 97, 3910-3920. <https://doi.org/10.3382/ps/pey250>
- Ewing, W. N. (1997). The feeds directory: commodity products guide. In W. N. Ewing (ed.) *Context Products Ltd., Pub. Div., Pack. UK*.
- Falusi, J., Falusi, J., & Sinka, A. (2013). *A repceolaj minőségének javítása, az olajsav tartalom növelése*. In Hoffmann, B., Kollaricsné, H. M. (szerk). XIX. Növénynevelési Tudományos Nap, Keszthely.
- Fébel, H. (2018). Ipari melléktermékek felhasználása gazdasági állataink fehérjeellátásának biztosítására. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 67, 254-272.
- Feng, D., & Zuo, J. (2007). Nutritional and anti-nutritional composition of rapeseed meal and its utilization as a feed ingredient for animal. Feed and industrial raw material: Feed [Conference session]. The 12th International Rapeseed Congress, Wuhan, China.
- Fenwick, G. R., Spinks, E. A., Wilkinson, A. P., Heaney, R. K., & Legoy, M. A. (1986). Effect of processing on the antinutrient content of rapeseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 37, 735-741. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740370805>
- Golebiewska, K., Fras, A., & Golebiewski, D. (2022). Rapeseed meal as a feed component in monogastric animal nutrition – A review. *Annals of Animal Science*, 22, 1163-1183. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0020>
- Goyal, A., Tanwar, B., Sihag, M. K., Kumar, V., Sharma, V., & Soni, S. (2021). *Rapeseed/Canola (Brassica napus) seed. Oilseeds: Health Attributes and Food Applications*. Springer Nature Singapore Pte. 47-71. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4194-0_2
- Hajdú, J. (2006). Bio-hajtóanyag előállítás és hasznosítás lehetőségei Magyarországon. Előadás, Szeged, 2006. május 24.
- Halle, I., & Schöne, F. (2013). Influence of rapeseed cake, linseed cake and hemp seed cake on laying intensity, egg composition and fatty acid composition of egg yolk in laying hens. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 8, 3. <https://doi.org/10.1007/s00003-013-0822-3>
- Hansen, J. O., Skrede, A., Mydland, L. T., & Overland, M. (2017). Fractionation of rapeseed meal by milling, sieving and air classification – Effect on crude protein, amino acids and fiber content and digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 230, 143-153. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.05.007>



- Hayder, G. (2018). The effect study of different levels of rapeseed meal on some productive and physiological characteristics in broiler chickens. *Al-Qadisiyah Journal of Agriculture Sciences*, 8, 83-87.
- Heszky, L. (2007). A repceolaj minőségének élelmiszer és biodízel célú módosítása. Útkeresés XI. Fórum a repcéről. *Agrofórum*, 18, 13-16.
- Higgs, D. A., McBride, J. R., Markert, J. R., Dosanjh, B. S., Plotnikoff, M. D., & Clarke, W. C. (1982). Evaluation of Tower and Candle rapeseed (canola) meal and Bronowski rapeseed protein concentrate as protein supplements in practical dry diets for juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, 29, 1-31. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(82\)90030-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(82)90030-8)
- Hill, J., Lethenborg, P., Li, P. W., Rahman, M. H., Sorensen, H., & Sorensen, J. C. (2003). Inheritance of progoitrin and total aliphatic glucosinolates in oilseed rape (*Brassica napus* L). *Euphytica*, 134, 179-187. <https://doi.org/10.1023/b:euph.00000003857.57573.2f>
- Hoffmann, S. (2011). *Ipari- és takarmánynövények termesztése. A repce integrált termesztése*. Digitális Tankönyvtár. Letöltve: 2025. 06. 16. https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/8736/0010_1A_Book_10_Ipari_es_takarmanynovenyek_termesztese.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Horváth, É. R., Tóth, T., & Fébel, H. (2014). A repcedara- és pogácsa felhasználási lehetőségei a monogasztrikus állatok takarmányozásában. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 63, 165-183.
- Jacela, J. Y., DeRouchey, J. M., Tokach, M. D., Goodband, R. D., Nelssen, J. L., Renter, D. G., & Dritz, S. S. (2010). Feed additives for swine: Fact sheets - high dietary levels of copper and zinc for young pigs, and phytase. *Journal of Swine Health and Production*, 18, 87-91. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.7067>
- Jeroch, H., Brettschneider, J. G., Dänicke, S., Jankowski, J., Kozłowski, K., & Schöne, F. (2009). The effect of chemically and hydrothermally treated rapeseed on the performance and thyroid parameters of layers. *Polish Veterinary Science*, 124, 439-448.
- Jeroch, H., Dänicke, S., Brettschneider, G., & Schumann, W. (1999). Use of treated rapeseed in brown laying hens. *Die Bodenkultur*, 50, 45-55.
- Jobbágy, P. (2013). A hazai biodízel-ágazat komplex elemzése. [Doktori (PhD) értekezés, Debreceni Egyetem]. Ihrig Károly Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola, Debrecen. <https://dea.lib.unideb.hu/server/api/core/bitstreams/f8301aa7-2441-4851-84cf-f98e7cab8c50/content>
- Kakuk, T., & Schmidt, J. (1988). *Takarmányozástan. 12.7.1. Olajipari melléktermékek* (pp. 496-499). Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Kaldmae, H., Leming, R., Kass, M., Lember, A., Tölp, S., & Kärt, O. (2010). Chemical composition and nutritional value of heat-treated and cold-pressed rapeseed cake. *Veterinarija ir Zootechnika*, 49, 55-60.
- Kállai, L., & Kralovánszky, U. P. (1978). *A takarmányozás biológiája*. Mg. Kiadó, Budapest.
- Kolláthová, R., Varga, B., Ivanisová, E., Bíró, D., Rolínek, M., Juráček, M., Simko, M., & Gálik, B. (2019). Mineral profile analysis of oilseeds and their by-products as feeding sources for animal nutrition. *Slovak Journal of Animal Science*, 52, 9-15.
- Kozłowski, K., & Jeroch, H. (2014). Enhancing the nutritional value of poultry feedstuffs using the example of rapeseed products – A review. *Annals of Animal Science*, 142, 245-256. <https://doi.org/10.2478/aoas-2014-0014>
- Kralovánszky, U. P. (2012). A hazai „fehérje-probléma” – fehérén, feketén. *Agrofórum*, 23, 14-18.
- Lee, J. W., Kim, I. H., & Woyengo, T. A. (2020). Toxicity of canola-derived glucosinolate degradation products in pigs- A review. *Animals*, 10, 2337. <https://doi.org/10.3390/ani10122337>



- Magyar Takarmánykódex (2004). *Vizsgálati módszerek, eljárások*. Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet, Budapest.
- Mailer, R. J., McFadden, A., Ayton, J., & Redden, B. (2008). Antinutritional components, fibre, sinapine and glucosinolate content in Australian Canola (*Brassica napus* L.) Meal. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85, 937-944. <https://doi.org/10.1007/s11746-008-1268-0>
- Martin, A., Naumann, S., Osen, R., Karbstein, H. P., & Emin, M. A. (2021). Extrusion processing of rapeseed press cake-starch blends: Effect of starch type and treatment temperature on protein, fiber and starch solubility. *Foods*, 10, 1160. <https://doi.org/10.3390/foods10061160>
- Maskell, I., & Smithard, R. (1994). Degradation of glucosinolates during in vitro incubations of rapeseed meal with myrosinase (EC 3.2.3.1) and with pepsin (EC 3.4.23.1)-hydrochloric acid, and contents of porcine small intestine and caecum. *British Journal of Nutrition*, 72, 455-466. <https://doi.org/10.1079/BJN19940047>
- Mawson, R., Heaney, R. K., Zdunczyk, Z., & Kozłowska, H. (1994). Rapeseed meal – glucosinolates and their antinutritional effects. Part 4. Goitrogenicity and internal organs abnormalities in animals. *Nahrung*, 38, 178-91. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811297-7.00026-3>
- McGregor, D. I., Blake, J. A., & Pickard, M. D. (1983). Detoxification of Brassica juncea with ammonia. In *Proceeding of 6th International Rapeseed Conference*, II, 1426, Paris, France.
- Mézes, M. (2018). Alternative protein sources in the nutrition of farm animals. *Acta Agraria Debreceniensis*, 150, 1-31. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/150/1699>
- Musharavati, F., Sajid, K., Anwer, I., Nizami, A-S., Javed M. H., Ahmad, A., & Naqvi, M. (2023). Advancing biodiesel production system from mixed vegetable oil waste: a life cycle assessment of environmental and economic outcomes. *Sustainability*, 15, 16550. <https://doi.org/10.3390/su152416550>
- Nacz, M., Amarowicz, R., & Shahidi, F. (1998). Role of phenolics in flavor of rapeseed protein products. *Developments in Food Science*, 40, 597-613. [https://doi.org/10.1016/S0167-4501\(98\)80080-0](https://doi.org/10.1016/S0167-4501(98)80080-0)
- Nacz, M., Shahidi, F., & Sullivan, A. (1992). Recovery of rapeseed tannins by various solvent systems. *Food Chemistry*, 45, 51-54. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(92\)90012-Q](https://doi.org/10.1016/0308-8146(92)90012-Q)
- Nega T., & Woldes, Y. (2018). Review on nutritional limitations and opportunities of using rapeseed meal and other rape seed by-products in animal feeding. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 8, 43-48. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00254>
- Nissar, J., Ahad, T., Naik, H., R., & Hussain, Sz. (2017). A review phytic acid: As antinutrient or nutraceutical. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6, 1554-1560.
- Oláh, J., & Popp, J. (2022). Fenntartható folyékony bioüzemanyagok kilátásai. *Journal of Central European Green Innovation*, 9, 13-29. <https://doi.org/10.33038/jcegi.2648>
- Olukomaiya, O. O., Fernando, W. C., Mereddy, R., Li, X., & Sultanbawa, Y. (2020). Solid-state fermentation of canola meal with *Aspergillus sojae*, *Aspergillus ficuum* and their co-cultures: Effects on physicochemical, microbiological and functional properties. *LWT*, 127, 109362. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109362>
- Orosz, Sz., & Tóth, T. (2010). A melegen préselt repce szerepe a szarvasmarha takarmányozásban. *Holstein Magazin*, 3, 49-52.
- Osman, A. I., Qasim, U., Jamil, F., Al-Muhtaseb, A. H., Jrai, A. A., Al-Riyami, M., Al-Maawali, S., Al-Haj, L., Al-Hinai, A., Al-Abri, M., Inayat, A., Waris, A., Farrell, C., Abdel Maksoud, M. I. A., & Rooney, D. W. (2021). Bioethanol and biodiesel: Bibliometric mapping, policies and future needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, 111677. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111677>



- Pál, L., Farkas, R., & Dublec, K. (2011). A takarmány repcepegácsa és kukorica DDGS kiegészítésének vizsgálata brojler hizlalási kísérletben. LIII. Georgikon Napok, Keszthely. 2011. szeptember 29-30.
- Pasko, P., Okon, K., Krosniak, M., Prochownik, E., Zmudzki, P., Kryczyk-Kozioł, J., & Zagrodzki, P. (2018). Interaction between iodine and glucosinolates in rutabaga sprouts and selected biomarkers of thyroid function in male rats. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 46, 110-116. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.12.002>
- Paya, H., Taghizadeh, A., Hosseinkhani, A., & Mohammadzadeh, H. (2022). Effects of different heat processing methods of rapeseed on ruminal and post-ruminal nutrient disappearance. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 73, 4425-4432. <https://doi.org/10.12681/jhvms.27293>
- Popp, J. (2013). A bioenergia szerepe az energiaellátásban. *Gazdálkodás*, 57, 419-435.
- Popp, J., Fári, M., Harangi-Rákos, M., & Dudits, D. (2015). A takarmánypiac dilemmái I. rész - Az EU takarmánypiac a szójaimport szorításában I. *Agro Napló*, 19, 108-111. <http://agronaplo.hu/szakfolyoirat/2015/05/takarmanyozas/a-takarmanypiac-dilemmai-i-resz-az-eu-takarmanypiac-a-szojaimport-szoritasaban-i/>
- Popp, J., Harangi-Rákos, M., & Oláh, J. (2018). Fehérjetakarmány függőség az EU-ban: status quo? (The EU's dependency on protein-rich feed: status quo?). *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 67, 209-224.
- Popp, J., Somogyi, A., & Bíró, T. (2010). Újabb feszültség a láthatáron az élelmiszer- és bioüzemanyag-ipar között? *Gazdálkodás*, 54, 592-603.
- Radfar, M., Rogiewicz, A., & Slominski, B. A. (2017). Chemical composition and nutritive value of canola-quality Brassica juncea meal for poultry and the effect of enzyme supplementation. *Animal Feed Science and Technology*, 225, 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.01.007>
- Rakita, S., Kokic, B., Manoni, M., Mazzoleni, S., Lin, P., Luciano, A., Ottoboni, M., Cheli, F., & Pinotti, L. (2023). Cold-pressed oilseed cakes as alternative and sustainable feed ingredients: a review. *Foods*, 12, 432. <https://doi.org/10.3390/foods12030432>
- Révész, N. (2021). *A DDGS alkalmazhatóságának vizsgálata a hazai akvakultúrában* [Doktori (PhD) értekezés, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem]. Állatbiotechnológiai és Állattudományi Doktori Iskola, Gödöllő. https://uni-mate.hu/documents/20123/336900/Revesz_Norbert_tezis.pdf/b65d180a-a033-9dbe-5e1c-40cb70cb35c7?t=1643019217480
- Rudas, P., & Frenyó, L. (2015). *Az állatorvosi élettan alapjai*. Springer Hungarica Kiadó, Budapest.
- Rymer, C., & Short, F. (2003, March). *The nutritive value for livestock of UK oilseed rape and rapeseed meal* [Research Review]. No. OS14, HGCA. https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Research%20Papers/Cereals%20and%20Oilseed/rr_os14_-_complete_final_report.pdf
- Sakib, A. N., & Haque, M. (2024). Corn to ethanol: design, simulate and statistical optimization for sustainable biofuel production. *Advances in Bioengineering & Biomedical Science Research*, 7, 1-22. <https://doi.org/10.33140/ABBSR>
- Salazar-Villanea, S., Bruininx, E. M. A. M., Gruppen, H., Hendriks, W. H., Carré, P., Quinsac, A., & van der Poel, A. F. B. (2016). Physical and chemical changes of rapeseed meal proteins during toasting and their effects on in vitro digestibility. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7, 62. <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0120-x>
- Schmidt, J. (2003). *A takarmányozás alapjai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Schöne, F., Kirchheim, U., Schumann, W., & Lüdke, H. (1996). Apparent digestibility of high-fat rapeseed press cake in growing pigs and effects on feed intake, growth and weight of thyroid and liver. *Animal Feed Science and Technology*, 62, 97-110. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(96\)00993-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)00993-5)



- Shahidi, F. (1990). *Canola and Rapeseed*. Prod. Chem. Proc. Technol. 173-192, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Sipos, Gy. (2014). A „Szarvasi-1” energiafű helye a megújuló energiatermelésben (Doktori (PhD) értekezés, Szent István Egyetem]. Gazdálkodás és Szervezéstudományok Doktori Iskola, Gödöllő. https://real-phd.mtak.hu/1282/2/SIPOS_GYULA_PHD_TEZIS.pdf
- Slimen, I. B., Yerou, H., Larbi, M. B., M’Hamdi, N., & Najar, T. (2023). Insects as an alternative protein source for poultry nutrition: a review. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1200031. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1200031>
- Slominski, B., Jia, W., Rogiewicz, A., Nyachoti, C. M., & Hickling, D. (2012). Low-fiber canola. Part 1. Chemical and nutritive composition of the meal. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 60, 12225-30. <https://doi.org/10.1021/jf302117x>
- Smulikowska, S., Czerwinski, J., & Mieczkowska, A. (2010). Effect of an organic acid blend and phytase added to a rapeseed cake – containing diet on performance, intestinal morphology, caecal microflora activity and thyroid status of broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94, 15-23. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00876.x>
- Somogyi, A. (2011). Az első generációs bioüzemanyag-piac komplex értékelése [Doktori (PhD) értekezés, Szent István Egyetem]. Gazdálkodás és Szervezéstudományok Doktori Iskola, Gödöllő.
- Swiatkiewicz, S., Koreleski, J., & Arczewska-Wlosek, A. (2010). Egg performance, egg quality, and nutrient utilization in laying hens fed diets with different levels of rapeseed expeller cake. *Agricultural and Food Science*, 19, 233-239. <https://doi.org/10.2137/145960610792912594>
- Szydlowska-Czerniak, A. (2013). Rapeseed and its products – sources of bioactive compounds: a review of their characteristics and analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53, 307-330. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.529959>
- Szydlowska-Czerniak, A., Polinski, S., & Momot, M. (2021). Optimization of ingredients for biscuits enriched with rapeseed press cake – changes in their antioxidant and sensory properties. *Applied Sciences*, 11, 1558. <https://doi.org/10.3390/app11041558>
- Theodoridou, K., & Yu, P. (2013). Effect of processing conditions on the nutritive value of canola meal and presscake. Comparison of the yellow and brown-seeded canola meal with the brown-seeded canola presscake. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 1986-1995. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6004>
- Tikász, I. E. (2014, July 10). Repcepiac és biodízelgyártás. *Agrárium*. <https://agrarium7.hu/cikkek/140-repcepiac-es-a-biodizelgyartas>
- Ton, L. B., Neik, T. X., & Batley, J. (2020). The use of genetic and gene technologies in shaping modern rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). *Genes*, 11, 1161. <https://doi.org/10.3390/genes11101161>
- Tóth, T., Horváth, É. R., & Fébel, H. (2014). A repcetermékek takarmányozási célú felhasználása a sertések és baromfifajok takarmányozásában. *Agro Napló*. <https://www.agronaplo.hu/agrofokusz/20140407/a-repcetermek-takarmanyozasi-celu-felhasznalasa-a-sertesek-es-baromfifajok-takarmanyozasaban-31543>
- Tripathi, M. K., & Mishra, A. S. (2007). Glucosinolates in animal nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 132, 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.03.003>
- Vermeulen, M. (2009). *Isothiocyanates from cruciferous vegetables: kinetics, biomarkers and effects* [Doctoral thesis, Wageningen University]. VLAG, Wageningen, The Netherlands.
- Von Der Haar, D., Müller, K., Bader-Mittermaier, S., & Eisner, P. (2014). Rapeseed proteins – Production methods and possible application ranges. *OCL*, 21, D104. <https://doi.org/10.1051/ocl/2013038>



- Vuorela, S., Meyer, A. S., & Heinonen, M. (2004). Impact of isolation method on the antioxidant activity of rapeseed meal phenolics. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52, 8202-8207. <https://doi.org/10.1021/jf0487046>
- Wallace, M., Holroyd, J., Kuraite, A., & Hussain, H. (2022). Does it bind? A method to determine the affinity of calcium and magnesium ions for polymers using ¹H NMR Spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 94, 10976-10983. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.2c01166>
- Wang, D., Li, D., Xu, Q., Lv, X., Chen, H., & Wei, F. (2024). Steam explosion pretreatment enhances free/combined phytosterol extraction and utilization in rapeseed (*Brassica napus* L.) and its processed products: Insights from SPE-GC approach. *Current Research in Food Science*, 27, 100869. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100869>
- Wang, Z., Zhu, M-Q., Li, M-F., & Wei, Q. (2019). Effects of hydrothermal treatment on enhancing enzymatic hydrolysis of rapeseed straw. *Renewable Energy*, 134, 446-452. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.019>
- Wengerska, K., Czech, A., Knaga, S., Drabik, K.; Próchniak, T.; Bagrowski, R., Gryta, A., & Batkowska, J. (2022). The quality of eggs derived from Japanese quail fed with the fermented and non-fermented rapeseed meal. *Foods*, 11, 2492. <https://doi.org/10.3390/foods11162492>
- Wittstock, U., & Halkier, B. A. (2002). Glucosinolate research in the *Arabidopsis* era. *Trends in Plant Science*, 7, 263-270. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(02\)02273-2](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(02)02273-2)
- Yahbi, M., Keli, A., Alami, N. E., Nabloussi, A., Maataoui, A., & Daoui, K. (2024). Chemical composition and quality of rapeseed meal as affected by genotype and nitrogen fertilization. *OCL*, 31, 12. <https://doi.org/10.1051/ocl/2024004>
- Yan, X., & Chen, S. (2007). Regulation of plant glucosinolate metabolism. *Planta*, 226, 1343-1352. <https://doi.org/10.1007/s00425-007-0627-7>
- Zhang, W., Fu, Q., Jiang, H., Tang, H., Li, X., Xie, Y., Cao, X., Liu, Q., & Yuan, Y. (2023). Insight into the microwave pretreatment of rapeseeds on the flavor characteristics of rapeseed oils. *LWT*, 184, 115045. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115045>
- Zieniuk, B., Woloszynowska, M., Bialecka-Florjanczyk, E., & Fabiszewska, A. (2020). Synthesis of industrially useful phenolic compounds esters by means of biocatalysts obtained along with waste fish oil utilization. *Sustainability*, 12, 5804. <https://doi.org/10.3390/su12145804>

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

