



SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
UNIVERSITAS SCIENTIARUM SZEGEDIENSIS
MÉRNÖKI KAR

CIROKFAJTÁK BELTARTALMI MUTATÓINAK VÁLTOZÁSA HÁNTOLÁSI KÍSÉRLETEK SORÁN

TDK DOLGOZAT

Virág Szabina

Okleveles Élelmiszerbiztonsági- és Minőségi mérnök MSc

Témavezetők:

Bakos Tiborné

mesteroktató

Dr. Palágyi Andrea

Cirok nemesítési csoportvezető, Gabonakutató Nonprofit Kft.

SZEGED

2024.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	3
1 IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	4
1.1 A cirok jellemzése.....	4
1.1.1 A cirok eredete és elterjedése	4
1.1.2 A cirok morfológiája	5
1.2 A szemtermés felépítése	6
1.2.1 Perikarpium	7
1.2.2 Maghép.....	8
1.2.3 Endospermium.....	8
1.2.4 Csíra	9
1.3 A cirok beltartalmi sajátosságai.....	9
1.3.1 Szénhidrátok	9
1.3.2 Fehérje	10
1.3.3 Lipidek, vitaminok és ásványi anyagok	10
1.3.4 Fenolos vegyületek	11
1.4 A cirok felhasználási területei	11
1.4.1 Takarmány	12
1.4.2 Élelmiszeripari felhasználás	12
1.4.3 Bioetanol	14
1.4.4 Csomagolóanyag.....	15
1.5 A cirok hántolástechnológia jellemzése	15
1.5.1 Kézi hántolás	16
1.5.2 Mechanikus hántolás.....	16
1.5.3 A hántolástechnológia előnyei.....	17
1.6 A cirok keményítő szerkezete, jellemzői	17
1.6.1 A keményítő összetétele.....	18
1.6.2 Rezisztens keményítő.....	20
2 ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK.....	21
2.1 Felhasznált anyagok.....	21
2.2 Kísérleti célkitűzések	21
2.3 Hántolási kísérletek.....	21

2.4	A cirokminták fizikai tulajdonságainak vizsgálata	22
2.4.1	Szemkeménység, szemátmérő és ezerszemtömeg vizsgálata.....	22
2.4.2	Színmérés	22
2.5	A cirokminták beltartalmi tulajdonságainak vizsgálata	23
2.5.1	Nedvességtartalom meghatározás.....	23
2.5.2	Hamutartalom meghatározás	23
2.5.3	Nyersfehérje tartalom meghatározása	23
2.5.4	Zsirtartalom meghatározás	23
2.5.5	Nyersrost-tartalom meghatározás	24
2.5.6	Keményítőtartalom meghatározása.....	24
2.6	Amilóz és amilopektin arány, illetve gélesedési tulajdonságok vizsgálata.....	25
2.6.1	Amilóz és amilopektin arányának meghatározása.....	25
2.6.2	Gélesedési tulajdonságok vizsgálata.....	25
2.7	Hengermalmos aprítás frakcióinak vizsgálata	25
2.7.1	Örlés	25
2.7.2	Szitaanalízis	26
2.7.3	Szitafrakciók vizsgálata.....	26
3	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK	27
3.1	Hántolási kísérletek.....	27
3.2	Fizikai tulajdonságok	29
3.3	Beltartalmi jellemzők	32
3.4	Amilóz-amilopektin arány és gélesedési tulajdonságok	37
3.5	Szitaanalízis	39
3.6	A különböző szemcseméretű frakciók fehérjetartalma	40
4	ÖSSZEFOGLALÁS	43
	IRODALOMJEGYZÉK	45

BEVEZETÉS

Dolgozatom témája a cirokfajták beltartalmi mutatóinak változása hántolási kísérletek során. Ezt a témát legfőképpen az aktualitása miatt választottam. Mint ismeretes, az egyre nagyobb problémát jelentő szárazság következtében a gabonák terméshozama csökken, ezáltal a cirok öntözés nélkül is jövedelmező termesztése előtérbe került. Továbbá személyes kötődésem is van, ugyanis családom már generációk óta földműveléssel foglalkozik, így az aszály hatását első kézből is látom. A téma kutatásával még BSc tanulmányaim során kezdtem foglalkozni, a szakdolgozat keretein belül. Ekkor a cirokban található tannin (csersav) tartalmának változását vizsgáltam élelmi célú feldolgozások során, mindezen túl szeretnék többet megtudni a cirok beltartalmi sajátosságairól. Dolgozatom során bemutatom magát a cirok növényt, szemtermésének felépítését, beltartalmi sajátosságait és azt, hogy mi mindenre lehet felhasználni. Ezen felül – a téma teljes kifejtése céljából – kitérek a hántolástechnológiára és ismertetem a keményítő összetételét.

Az egyik legnagyobb kihívás a gazdák számára világszerte az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás és annak a növénytermesztésre gyakorolt hatása. A cirok sok más gabonaféléhez képest nagyfokú tűrőképességgel rendelkezik a forró és száraz éghajlattal szemben, és genetikai sokféleséget mutat. A szemescirok Afrika és más fejlődő régiók egy részében alapvető élelmiszer, valamint kiváló takarmánynövény a haszonállatok számára (Proietti et al., 2015). Ezen kívül néhány ipari termék, például etanol, továbbá falécek és csomagolóanyagok előállítására is felhasználják (Xie és Seib, 2000). Az elmúlt években egyre népszerűbb az élelmiszeripari felhasználása, mivel gazdag olyan egészségügyi előnyökkel bíró összetevőkben, mint a rezisztens keményítő, az élelmi rostok, a telítetlen zsírsavak, a mikro-tápanyagok és a polifenolok. Összességében a cirok kiegyensúlyozott tápanyagprofilú, „éghajlati szempontból intelligens” gabonafélének tekinthető.

Kutatásom célja a cirok beltartalmi jellemzőivel kapcsolatos ismeretek bővítése; Megvizsgálni, hogy egyes cirokfajták milyen minőségi paraméterekben különböznek egymástól, valamint a különböző mértékű hántolás hogyan befolyásolja a szem és a belőle őrölt liszt minőségi tulajdonságait.

1 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

1.1 A cirok jellemzése

A szemescirok faj az *Andropogoneae* törzsbe, a *Panicoideae* alcsaládba és a *Poaceae* családba (fűfélék) tartozó *Sorghum* nemzetség (Spangler et al., 1999) tagja. A termesztett szemescirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) C4 fiziológiai típusú, önbeporzó növény, amely magas fotoszintetikus hatékonysággal rendelkezik (Gomez-Martinez és Culham, 2000; Goyal et al., 2020). Éves világtermelése (2021 januárjában) 61,62 millió tonna, termőterületét tekintve a gabonafélék között a kukorica, a rizs, a búza és az árpa után az ötödik helyen áll (USDA, 2021).

Rendkívül szárazságtűrő növény (Wagaw, 2019), amely leginkább Afrika szub-szaharai részén, Ázsiában, a Közel-Keleten, valamint Közép- és Észak-Amerikában, továbbá Ausztrália száraz és félszáraz területein termesztik. Ennek ellenére ez a gabonaféle túlélheti a viszonylag hűvös időjárást (12-15 °C), a vízzel elárasztott körülményeket (rövid ideig), és az időszakosan lezúduló nagy mennyiségű csapadékkal is megterem (Lim, 2012). Termesztésének jelentőségét növeli, hogy nem igényel olyan intenzív növényvédelmet és tápanyag-utánpótlást, mint a kukorica. Kevésbé érzékeny a talaj minőségére, és olyan helyeken is sikeresen termesztethető, ahol más kultúrák egy átlagos évben nem vagy alig hoznak hasznat (Kolozsvári et al., 2022).

1.1.1 A cirok eredete és elterjedése

A cirok Afrikában őshonos, és a szub-szaharai régióban termelt főbb élelmiszer-alapanyagok 43%-át teszi ki (IFPRI, 1983). Maunder a cirkot Afrika és Ázsia nagy részén hagyományos növénynek, a nyugati féltekén bevezetett és hibridizált növénynek tekinti (Maunder, 2002). Doggett arról számolt be, hogy a cirkot Etiópiában mintegy 5000 vagy még ennél is több évvel ezelőtt házasították a vad cirokból, a *S. arundinaceum sensu lato*-ból, deskriptív szelekcióval (Doggett, 1965). Feltételezések szerint a Közel-Keleten vagy Arábián keresztül Etiópiába vándorolt hamita származású nép domesztikálta, ami akkor gyomként fordult elő a búzaföldjeiken. A cirkot Etiópiából vitték Kelet-Afrikába, ahol busman vadászok és élelemgyűjtők, ún. kusiták szálltak meg, akik kedvező fekvésű magaslatokat foglalhattak el és teraszos gazdálkodást folytattak. A cirkot Kelet-Afrikából valószínűleg az i. e. 1. évezredben vitték Indiába és feltehetően a korai keresztény korszakban a selyemúton jutott el Indiából Kínába (Purseglove, 1972). Ezután az Indiából és Afrikából hozott alapanyagból terjedt el a mediterrán országokban. A cirkot Nyugat-Afrikából gyöngykukoricaként rabszolga-kereskedők vitték az Újvilágba, és a kilencedik század közepe táján került az Amerikai Egyesült Államokba (USA). A mai termesztett cirok a *Vertilliflorum* alfajhoz tartozó vad ősnövényből

származik (FAO, 1995). A cirok nemzetség legnagyobb változatosságát Afrika északkeleti kvadránsának, az Etiópiát, Szudánt és Kelet-Afrikát magában foglaló régiójában figyelték meg (Etuk et al, 2012).

Magyarországon a seprőcirokat az 1800-as években kezdték el először termesztani. Surányi János volt az, aki a 20. század elején megkezdte a szemescirok honosítását. Az Amerikából behozott fajták azonban alacsony termőképességűek és hosszú tenyészidejűek voltak, így nem terjedtek el széles körben. A hímsterilitás felfedezése tette lehetővé a hibridnövények nemesítését, amely új perspektívát nyújtott a szemescirok fajták fejlesztésében, a heterózis hatás kihasználásával. Végül a 70-es években, amikor a megfelelő gazdasági és technikai feltételek rendelkezésre álltak, elindult a bőtermő és rövid tenyészidejű cirokhibridek nagyüzemi termesztése Magyarországon (Koháry, 2003).

1.1.2 A cirok morfológiája

Gyökérzet

A cirokfélék gyökérzete bojtos felépítésű, hasonlóan a pázsitfűfélék családjának legtöbb tagjához. A gyökérzet a főgyökérből és a mellégyökerekből áll. A főgyökér a csírázaskor a gyököcskéből fejlődik, vastagsága a teljes hosszúság mentén állandó, de a gyökérzet egészének csupán kis részét képezi (Latković et al., 2015). A fejlődés során a hosszú főgyökér viszonylag hamar elér az élettartama végére, ekkor a dús mellégyökérzet veszi át a szerepét, amely a gyökérfejből fejlődik ki (Berényi és Szabó, 2001). Ezek a mellégyökerek másod- és harmadrendű gyökerekből állnak, sűrű gyökérszörökkel borítva. Eleinte 35-45 cm mélységig függőlegesen nőnek, majd vízszintes irányba folytatják a növekedést. A cirok gyökérzete összesen 1,5 m széles és 2,5 m mélyre fejlődik (Latković et al., 2015).

Szár

A cirok szára hengeres, belül üreges és szivacsos szerkezetű, csomókra és csomók közötti részekre oszlik. A kifejlett növény egy főhajtást és néhány mellékajtást (ún. sarjhajtást) alakít ki. A szár vízpergető hatású viaszréteggel borított, ami miatt a víz nem marad meg a felületén, így a mikrobák kevesebb nedvességhez jutnak. A viaszrétegnek nagy szerepe van a szárazságtűrésben és a kíméletlen hő-stressz elleni védekezésben. A szár feladata a tápanyagok szállítása, valamint a levelek és a buga megfelelő helyzetben és szögben tartása. A szár és a levél cukortartalmát független kromoszóma lókuszok határozzák meg. A rostosabb szár dominánsan öröklődik, esetében a leveleken fehér ér található. A recesszív gén a lédús szárért felelős, ilyenkor a levelek gyakran sárgás-zöld színűek. A szár cukortartalmának öröklődéséért

egy gén felelős; a szár édes íze recesszív módon öröklődik. A szár általában 70-140 cm magas, átmérője pedig 0,5-2,5 cm (Berényi és Szabó, 2001).

Levél

A cirok levelei – akárcsak más pázsitfűféléknél – két részből állnak: levélnyélből és levélből. A leveleket egy vastag, vízvesztésüket csökkentő epidermisz borítja, ezt vastag viaszréteg fedi, amely lassítja a párolgást. Ez a hatékony vízgazdálkodás különösen előnyös szárazabb években. A levelek elhelyezkedésénél minden szárcsomóhoz egy levél tartozik. A levelek szélei enyhén hullámosak, sima felületűek, 20-60 cm hosszúak és 1-6 cm szélesek. Azok a fajták, amelyek felálló levelekkel rendelkeznek, jobban hasznosítják a napfényt sűrű állományban is, ami nagyobb termés hozamot eredményez hektáronként (Berényi és Szabó, 2001).

Virágzat

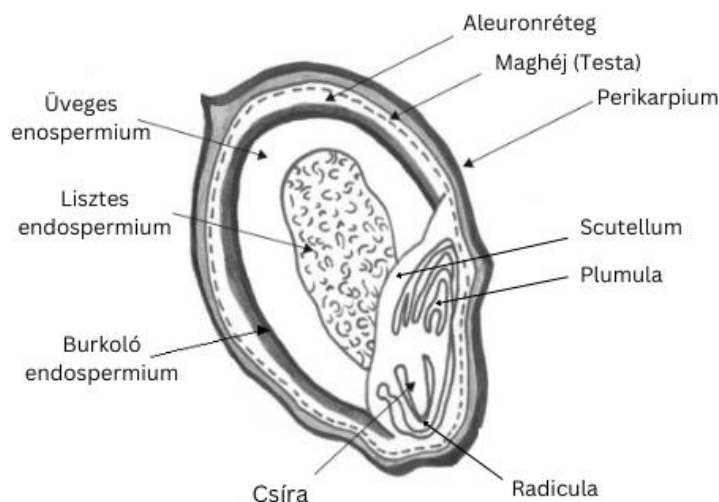
A cirokra jellemző a bugavirágzat, amely 12-30 cm hosszú. A buga egy összetett fürtvirágzat, melynek első-, másod- és harmadrendű oldalágai vannak. A buga formagazdagságát legjobban ez a szerkezet tükrözi. Egy száron általában egy végálló buga található, tehát a buga száma megegyezik a fő- és oldalhajtások számával. A környezeti tényezők jelentősen befolyásolják a buga méretét. A virágzás a buga csúcsán kezdődik és lefelé halad, általában 7-10 napig tart, de hűvösebb időben akár 19-21 napig is eltarthat. A bugavirágzat hímnős, azaz a hím- és női ivarszervek egy virágon belül közel helyezkednek el, ami elősegíti a megtermékenyülést. A beporzást főként a szél végzi, de különböző rovarok is részt vesznek a megtermékenyítésben. A virágokat borító pelyvavevél virágzáskor zöld, majd lilás elszíneződést mutat és az érés végére a fajtára jellemző szín alakul ki, amely lehet világosbarna, vörösbarna, bordó vagy szalmasárga (Palágyi, 2022).

1.2 A szemtermés felépítése

A cirok rendkívül nagy genetikai és fenotípusos variabilitással rendelkező gabonaféle. Szemtermése általában gömbölyű, ezerszem-tömege 20-30 g között mozoghat. Színe lehet fehér, vörös, sárga, barna vagy bronz. (Mace et al., 2021). A cirokszemek minőségét, megjelenését és színét sok gén együttesen szabályozza. A maghéj (testa) réteg jelenlétét (B1 és B2) vagy hiányát (b1 és b2), a perikarpium színét (R és Y) és vastagságát (Z), valamint az endospermium színét és szerkezetét (wx) az itt felsorolt szabályozó gének befolyásolják (Rooney és Miller, 1982).

A cirokszem általános összetétele a tudományos eredmények szerint 3-6% perikarpium, 84-90% endospermium és 5-10% csíra (1. ábra) (Rooney et al., 2016). Az, hogy az érett cirok

kariopszisának van-e pigmentált belső burka, genetikai szabályozás alatt áll. A pigmentált belső burok általában nagy mennyiségben tartalmaz pro-antocianidint, vagyis „kondenzált tannint”. Azokat a vörös cirokfajtákat, amelyek nagy pigmentált belső héjjal rendelkeznek, madár-rezisztens ciroknak is nevezik, mivel madarak nem szeretik a kissé keserű és fanyar tanninokat, így nem fogyasztják szívesen (Delcour és Hoseneý, 2010).



1. ábra A cirok szemtermésének felépítése (saját fotó)

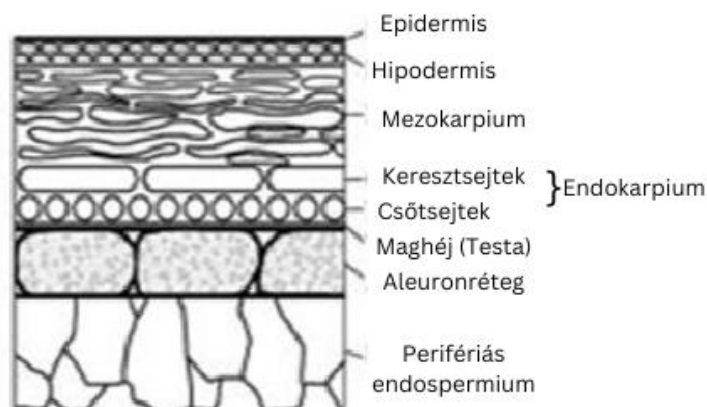
1.2.1 Perikarpium

Elektronmikroszkópos felvételek alapján mondható, hogy a legtöbb cirokfajta vastag perikarpiummal rendelkezik (2. ábra), amely három rétegből áll: epikarpiumból, mezokarpiumból és endokarpiumból (Delcour és Hoseneý, 2010).

Az epikarpiumot hosszúkás, négyszögletes sejtek képezik, melyeket vékony viaszos réteg borít. Két alrétegből áll: az epidermiszből és a hipodermiszből. Az epidermiszben gyakran vannak jelen pigmentek. Az epidermiszhez képest a hipodermisz vékonyabb sejtekkel rendelkezik, és egy-három sejtrétegből áll (Rooney et al., 2016). A mezokarpium (a középső réteg) a cirok perikarpiumának legvastagabb rétege; vastagsága azonban genotípusonként nagymértékben eltér. A legtöbb gabonafélétől eltérően a cirok mezokarpiuma keményítőszemcséket tartalmaz. Az endokarpium, a legbelső réteg, amely kereszt- és csősejtekből áll (Waniska és Rooney, 2000).

A cirokszemek színe a perikarpium pigmentációja és vastagsága, valamint a testa jelenléte miatt nagymértékben változik. A fenolos vegyületek, különösen a tannin, hozzájárulnak a perikarpium és a testa pigmentációjához (Sedghi et al., 2012). A szemtermésben jelentős fenolsav a ferulasav, mint sok más apró szemű gabonafélében. Ezen

kívül a cirokszemek flavonoidokat is tartalmaznak; pl. flavonolokat (kvercetin és kaempferol), flavanonokat (naringenin) és flavonokat (apigenin és luteolin) (Khoddami, 2021).



2. ábra A cirok héjszerkezete (saját fotó)

1.2.2 Magháj

Az endokarpium alatt található a testa réteg vagy magháj. A magháj a cirok genotípusok között lehet pigmentált vagy pigmentálatlan. A B1B2 génkombináció pigmentált magháj réteget hoz létre, amelyben tannin van jelen, míg a B1b2, b1B2 vagy b1b2 a pigmentált magháj hiányát eredményezi. A Tp gének a magháj specifikus színét szabályozzák (Wu et al., 2012). Vöröses magháj akkor található, ha a Tp gének homozigóta recesszívek (tptp), míg a TpTp vagy Tptp barna maghájat eredményez. A legmagasabb a kondenzált tannin szintje a domináns B1BB2S géneket tartalmazó cirokban; az S gén szabályozza a tanninok jelenlétét az epikarpiumban és az endokarpiumban, abban az esetben ha pigmentált magháj van jelen (Khoddami, 2021).

1.2.3 Endospermium

A többi gabonaféléhez hasonlóan az endospermium a cirokszem tárolószövege és a cirokszem legnagyobb részét képezi. Aleuronrétegből, valamint periférikus, üveges és lisztes szegmensből áll. Az aleuron közvetlenül a magháj alatt helyezkedik el és vastag sejtfalú sejtekből áll. Ásványi anyagokat, hidrolitikus enzimeket (amelyek főként a szem áztatásakor szintetizálódnak) és lipideket tartalmaz. Az endospermium perifériája több réteg sűrű sejtéből áll, amelyek keményítőszemcséket és fehérjét tartalmaznak (Waniska és Rooney, 2000). Az endospermium üveges- és lisztes zónáját keményítőszemcsék, fehérjemátrix, fehérjetestek és glükurono-arabinoxilánokban gazdag sejtfaalak építik fel. Ezekben a szegmensekben a keményítőszemcsék és a fehérjetestek fehérjemátrixba záródnak. A lisztes endospermium a szem magjában helyezkedik el, a periférikus és üveges rétegekhez képest nagyon kevés

fehérjetestet tartalmaz. A lisztes és az üveges endospermium aránya nagymértékben meghatározza az endospermium textúráját, amely a gabona őrlési hozamával és emészthetőségével kapcsolatos tulajdonság. Minél nagyobb az üveges és a lisztes endospermium aránya, annál könnyebb a cirokszemek hántolhatósága, ami nagyobb liszthozamot eredményez (Khoddami, 2021).

1.2.4 Csíra

A csíra két fő részre oszlik: az embrionális tengelyre és a scutellumra. Az embrionális tengely alkotja az új növényt, és radiculára és plumulára tagolódik. A gyökércsúcs elsődleges gyökereket, míg a szilumulum leveleket és szárazakat képez. A scutellum a cirokmag egyetlen sziklelevelét alkotja. Nagy mennyiségű olajat (a szferoszómákban), fehérjéket (köztük enzimeket) és ásványi anyagokat tartalmaz, illetve az endospermium és a csíra közötti összekötő kapocsként szolgál (Rooney et al., 2016; Waniska és Rooney, 2000).

1.3 A cirok beltartalmi sajátosságai

Az energiaérték tekintetében a ciroktakarmány – a különböző állatfajokra vonatkoztatva – a kukorica 90-100%-át éri el. A cirokmagvak fehérjetartalma magasabb (10-12%) a kukoricánál, zsírtartalma azonban alacsonyabb, mint a kukoricáé, de magasabb, mint a búzáé (Atteh, 2002).

1.3.1 Szénhidrátok

A cirokszem szénhidrátjai közül legjelentősebb poliszacharid a keményítő, majd a fruktozán és a triszacharid raffinóz. A diszacharidok közül legfontosabb a szacharóz és a maltóz, valamint a monoszacharidok közül a glükózt és a fruktózt kell kiemelni (Anglani, 1998). A keményítő főként szemcsék formájában található az endospermiumban; néhány keményítőszemcse azonban a szem perikarpiumában is megtalálható. Khan és munkatársai arról számoltak be, hogy a keményítőtartalom mértéke a száraz szemtömeg 55,6-70,0%-a, fajtától függően (Khan et al., 2013).

A cirokszemek szabad cukortartalma a becslések szerint 1-2% között van. A nem-keményítő poliszacharidok (NSP-k) általában a cirokszemek perikarpium és endospermium sejtfalában találhatók. Az NSP-k felelősek a cirok endospermium szénhidrátjainak oldhatatlanságáért és ellenállóságáért. A búza endospermiuma vízben oldódó arabinoxilánokat tartalmaz, ezzel szemben a cirok endospermiumának sejtfalai nagy mennyiségben tartalmaznak olyan glükurono-arabinoxilánokat, amelyek vízben nem oldódnak, ezért hátrányosak lehetnek a kenyérfőzés és a sörfőzés során (Khoddami, 2021).

1.3.2 Fehérje

A fehérjék a cirokszemek fontos komponensei, átlagosan 10-12%-át képezik és főként az endospermiumban találhatók. A cirokfehérjéket albuminokra, globulinokra, glutelinekre és kafirinekre osztják. A kafirinek, amelyek hidrofób, proteázzal szemben ellenálló prolaminek, az összes fehérje 50-80%-át teszik ki, a glutelinek a második legnagyobb mennyiségben előforduló fehérjék (Duodu et al., 2003; Hamaker et al., 1995). A kafirineket négy alcsoportra osztják a szerkezet, az oldhatóság és a molekulatömeg különbségei alapján: α -kafirin, β -kafirin, γ -kafirin, δ -kafirin (nyomokban) (Izquierdo és Godwin, 2005). A cirokból származó prolamín, a kafirín aminosav-összetételében hasonlít a kukoricában található zeinre, illetve a cirok és a kukorica teljes aminosav-összetétele is nagyon hasonló (Delcour és Hosney, 2010).

Az aminosav-elemzés azt mutatja, hogy mindegyik kafirín típus alacsony mennyiségben lizint is tartalmaz, amely az emberi táplálkozásban esszenciális aminosav. A β -kafirín és a γ -kafirín magas ciszteín-tartalmú, a δ -kafirín pedig meglehetősen magas metionint tartalmaz, ami szintén esszenciális aminosav (Shull et al., 1992). A perifériás és a lisztos endospermiumban lévő fehérjetestek főként α -kafirineket tartalmaznak, míg az üveges endospermium nagyobb mennyiségben tartalmaz β - és γ -kafirineket (Khoddami, 2021).

A cirokfehérje emészthetőségének *in vivo* és *in vitro* vizsgálatai 30 és 72% közötti értékeket mutattak, amelyek alacsonyabbak, mint a búza (81%) és a kukorica (73%) esetében (Axtell et al., 1981; Nawar et al., 1970). A 46%-os fehérje-emészthetőséggel rendelkező teljes kiőrlésű cirokhoz képest 35%-kal nőtt a fehérje emészthetősége, amikor a szemeket dekortírozták és extrudált terméket állítottak elő (MacLean et al., 1983).

1.3.3 Lipidek, vitaminok és ásványi anyagok

A fő komponensek mellett a cirok számos kisebb alkotórészt is tartalmaz. A cirokszemek közel 3% lipidet tartalmaznak, ami alacsonyabb, mint a kölesben és a kukoricában, de magasabb, mint a rizsben és a búzában. A lipidek főként a scutellumban találhatók, és tipikus zsírsavprofiljuk 49% linolsav, 31% olajsav, 14% palmitinsav, 2,7% linolénsav és 2,1% sztearinsav (Dykes és Rooney, 2006).

A szemescirok jelentős mennyiségben tartalmaz β -karotint (az A-vitamin provitaminját) és tokoferolokat, továbbá zsírban oldódó vitaminokat, mint az A, D és K, valamint vízben oldódó vitaminokat is, mint a tiamin, riboflavin és piridoxin forrása (Khoddami, 2021).

A cirokszemek perikarpiuma, aleuronrétege és csírája gazdag ásványi anyagokban, például magnéziumban, vasban, cinkben, rézben, kalciumban, foszforban és káliumban. A cirokban lévő vitaminok és ásványi anyagok főként az aleuronban és a csírában találhatók, míg

a lipidek a csírában koncentrálnak. Emiatt a cirokszemek hántolása fontos tápanyagok elvesztését eredményezi. (Khoddami, 2021).

1.3.4 Fenolos vegyületek

A fenolos vegyületek a fitokémiai anyagok legnagyobb csoportját alkotják, alapvető szerkezeti jellemzőjük egy vagy több hidroxil-csoportot hordozó aromás gyűrű. A növényi fenolos vegyületeket a molekulában lévő fenol-egységek száma alapján egyszerű fenolok vagy polifenolok közé sorolják. Így a növényi fenolok közé tartoznak az egyszerű fenolok, kumarinok, ligninek, lignánok, kondenzált és hidrolizálható tanninok, fenolsavak és flavonoidok (Soto-Vaca et al., 2012).

A cirokban található fenolok három fő kategóriába tartoznak: flavonoidok, fenolsavak és tanninok. Jól ismertek arról, hogy *in vitro* vizsgálatokban antioxidánsként hatnak, és néhányukról ismert, hogy erősebb antioxidánsok, mint más növényfajokban található vitaminok. A cirok fito-kemikáliái, különösen az antociánok és más flavonoidok egyes vizsgálatok szerint gyulladáscsökkentő hatásúak. Hatásosak továbbá szív- és érrendszeri betegségek ellen, cukorbetegség ellen és rák ellen. Anti-lipidémiás, immunmoduláns, vérszegénység elleni, neuroprotektív, antimikrobiális és féreghajtó hatásukat is leírták. (Khoddami, 2021).

A szemescirok a tannintartalma alapján I., II. és III. típusba sorolható (Price és Butler, 1977). Az I. típusú cirok tanninmentes, míg a II. és III. típusú cirok alacsony, illetve magas tannintartalmú. A madarakkal és rovarokkal, valamint szélsőséges időjárási viszonyokkal szembeni ellenálló képességük és magas terméspotenciáljuk miatt a tannint tartalmazó cirokfajtákat előnyben részesíthetik a gazdálkodók (Lubadde et al., 2019). A tannin azonban a gabona egyik tápanyag-felszívódást korlátozó komponense az állati vagy emberi fogyasztás szempontjából is. A kísérleti feljegyzések szerint a tannin csökkenti a keményítő és a fehérje emészthetőségét, és csökkenti a súlygyarapodást monogasztrikus állatokban, például baromfiban és nyúlban (Liu et al., 2015; Muriu et al., 2002). Barros és munkatársai *in vitro* vizsgálatokkal igazolták a keményítő és a fehérje emészthetőségének csökkenését a tanninnal való kölcsönhatás eredményeként (Barros et al., 2012).

1.4 A cirok felhasználási területei

Irodalmi adatok szerint a globális ciroktermés 51%-át haszonállatok takarmányozására, míg 49%-a humán fogyasztásra és egyéb (bioetanol, csomagolóanyag) felhasználásra kerül (Maunder, 2002). A tanulmányok azonban azt mutatják, hogy egyre nagyobb az érdeklődés az

emberi táplálkozásban való felhasználása iránt, ami a cirkot a szeszesitalok és élelmiszerek előállításának potenciális forrásává tette (Lemlioglu-Austin et al., 2012).

1.4.1 Takarmány

Az állati takarmányozásban gyakran a rosszabb minőségű gabonafélék kerülnek felhasználásra, ezért a kiváló tápértékű és mikotoxinoktól mentes, egészséges ciroktakarmány egyre inkább a figyelem középpontjába kerül. A cirok tápértéke, különösen a fehérje- és energiatartalma, hasonló a kukoricához, ami lehetőséget ad arra, hogy a cirok szélesebb körben elterjedjen és elérhető legyen (Ronda et al., 2019).

A cirok takarmányozási értéke a különböző állatfajok vonatkozásában változik. Kérődzők (szarvasmarha, juh, kecske) esetén a gyomor mikroflórája képes javítani a fehérjék emészthetőségén és a cirok főként keményítőforrásként hasznosul. Nem kérődzők (sertés, baromfi, hal) esetében viszont a cirok energiaforrásként és fehérjeforrásként is fontos, hiszen a cirok alapú takarmányok akár a nyersfehérje egyharmadát is biztosíthatják a növedék sertések számára (Rooney 2003). Ezen kívül a szárított levelek és száruk hasznos nyers tömegtakarmányt képeznek a szarvasmarhák és lovak számára. Az optimális érésű silócirok zöldtakarmányként vagy szilázsként is felhasználható (Etuk et al, 2012).

A cirok vitamin- és ásványianyag-tartalma is jelentős, sok esetben meghaladja a kukoricáét. A cirokban található biotin, kolin, folsav és más B-vitaminok koncentrációja magasabb, míg a kukoricában valamivel több az A-, E- és tiamin-vitaminok előfordulása. Azonban a termesztési körülmények, a talaj termékenysége, a betakarítás és a tárolás mindkét gabona tápanyagtartalmát befolyásolják, így a különbségek gyakran minimális jelentőséggel bírnak az állattenyésztők szempontjából (Hancock 2000).

A cirok takarmányozási értéke a kukoricához képest 91%-99% között mozog, ami azt jelzi, hogy a cirok jól alkalmazható takarmányként. Különösen fontos, hogy az utóbbi idők kutatásai nem mutattak ki jelentős különbséget a cirokkal és kukoricával etetett kismalacok között a növekedési teljesítmény tekintetében (Jordan et al., 2015).

1.4.2 Élelmiszeripari felhasználás

Afrikában és Ázsiában teljes cirokszemekből és hántolt szemekből is készítenek cirokclisztet, melyet számos élelmiszer előállítására használnak. Ezek közé tartoznak a híg vagy sűrű, erjesztett vagy erjesztés nélküli zabkásák, amelyek a kukorica- vagy rizsszemekből készült kásákhoz hasonló főtt termékek. A pattogatott cirok, a popcorn-hoz hasonló csemege, továbbá a hagyományos lepénykenyér és a különböző cirokcliszt alapú sütemények. Afrikában és Mexikóban a cirkot olyan italok előállítására használják, mint az alkoholmentes erjesztett

italok és a (alkoholos) sör. Legnagyobb mennyiségben Kínában gyártanak cirokból erjesztett italokat (pálinkát és sört). Kína nemzeti itala is szemescirokból készül, amelynek éves fogyasztása már meghaladja a vodkáét. Ezeken kívül ecetet is gyártanak cirokból. Nagy jelentőséggel bír a glutén-érzékenyek számára, hogy cirokkal helyettesíthető a búza a glutén-mentes élelmiszerek előállításánál, többek között tészták, kenyerek, kekszek és kásák készítésére alkalmas (Chávez et al., 2018). Csecsemők, kisgyermekek részére nagy energiatartalmú, könnyen emészthető ételek készíthetők cirokból. A hagyományos, nehezebben emészthető kásaételek helyét egyre inkább átveszik a cirokból korszerű technológia alkalmazásával előállítható, könnyebben emészthető termékek, snackek. A cirok ugyanis, a kukoricához hasonlóan jó expanzív tulajdonságokkal rendelkezik, így jól extrudálható, foszlatható, és pelyhek gyártására is alkalmas (Léder és Monda, 1987). Alacsony olajsavtartalma miatt diétás étrend kialakításában lehet jelentősége.

Erjesztett élelmiszerek és italok

Számos afrikai cirokból készült élelmiszer és ital jellemzője, hogy előállításuk során tejsavas erjesztésen mennek keresztül tejsavbaktériumok, általában a *Lactobacillus* nemzetséghez tartozó baktériumok által. Az erjedés az afrikai élelmiszerek eltarthatósága és biztonsága szempontjából is nagy jelentőségű. A tejsavtermelés csökkenti az élelmiszer pH-értékét, ami lelassítja vagy megakadályozza az egyéb mikroorganizmusok általi romlást, és biztonságossá teszi az élelmiszert a kórokozók szaporodásával szemben. Afrikában a legtöbb embernek ma még sincs hozzáférése a modern élelmiszer-tartósítási módszerekhez, például a hűtéshez, és sajnos sokan még biztonságos ivóvízzel sem rendelkeznek.

Afrikában a két legelterjedtebb hagyományos élelmiszer illetve ital az injera és a ciroksör (Taylor 2003). Az injera, egy nagy, kerek, erjesztett palacsinta-szerű lepénykenyér, amely Etiópia alapétele. Annak ellenére, hogy a gabona nem tartalmaz glutént, az injera egy kovászos kenyér, amely vonzó, szivacsos állagú (Gashe 1985). Afrika egész szubszaharai részén a cirok a hagyományos sörök előállításához használt fő gabona. E sörök fő összetevője a cirokmaláta, amely hidrolitikus enzimeket (különösen amilázt, amely a cukrokat etanollá és szén-dioxiddá erjeszti), keményítőt (az erjeszthető cukrok forrása), élesztő tápanyagokat, valamint íz- és színanyagokat biztosít. Afrika déli részén a cirok malátázása a sörgyártás céljából nagyüzemi iparággá fejlődött, évente mintegy 150 000 tonna cirok malátázását végzik kereskedelmi céllal (Taylor 2003).

Az élelmiszerbiztonság kérdésén kívül a tejsavas erjesztésnek számos más táplálkozási előnyét is felfedezték. Az erjesztésről megállapították, hogy növeli a szénhidrátok *in vitro*

hozzáférhetőségét (Kazanas és Fields, 1981), valamint a keményítő és a fehérjék emészthetőségét (Hassan és Tihay, 1995). A mikrotápanyagok tekintetében a cirok erjesztése során a B-vitaminok, különösen a tiamin mennyisége növekszik (Kazanas és Fields, 1981). Bár az erjesztés nem változtatja meg az ásványi anyagok mennyiségét, valószínűleg némileg javul a hozzáférhetőségük, mivel a cirokban és más gabonafélékben jelen lévő kétértékű fémionok erős kelát-képzők, és a fitát (mioinozitol-hexafoszfát) mennyisége jelentősen csökken az erjesztés hatására (Marfo et al., 1990).

Cirokból készült korszerű élelmiszerek és italok

A cirok nem csupán egy ősi gabona Afrikában, hanem egyre inkább az új élelmiszer- és italtermékek kulcsfontosságú alapjául is szolgál.

A „Morvite” egy előfőzött ciroktermék Dél-Afrikában, amely vitaminokkal, citromsavval, cukorral és édesítőszerekkel dúsított. Száraz por formájában kapható, amit forró vagy hideg vízzel, illetve tejjel lehet elkészíteni instant zabkásaként vagy italként. Eredetileg bányászoknak fejlesztették ki, de ma már az iskolai étkeztetésben szerepel és szupermarketekben is kapható. A „Morvite” előállítása egyszerű, és olcsóbb, mint más zabkásák, így vonzó a gyártók és a fogyasztók számára egyaránt (Taylor 2003).

Nigériában az alkoholmentes malátaitalok, mint például a „Guinness” és a „Heineken Malta” termékei, széles körben népszerűek. Ezek az italok hagyományosan árpamaláta-kivonat felhasználásával készülnek. Édes, cukorban gazdag sörlevek, amiket párologtatással sűrítenek sötét színű, gazdag ízű sziruppá vagy száraz porrá. A keményítő teljes zselatinizálása és szolubilizálása érdekében, valamint a cirokmaláta β -amiláz aktivitásának megőrzése céljából speciális cefrézési eljárásokat fejlesztettek ki. A cirokmaláta pörkölésére is kifejlesztettek technológiákat, amelyek segítenek elérni a kívánt szint és az árpamalátára jellemző komplex, diós vagy csokoládé aromát. Annak ellenére, hogy a gabonaimportra vonatkozó tilalmat később feloldották, a helyi cirok megmaradt a sörfőzés és a malátaital-gyártás fő alapanyagaként Nigériában. Ez a fejlődés kedvezett a helyi gazdáknak, ipari növekedést eredményezett, és csökkentette az importköltségeket, erősítve ezzel a helyi gazdaságot (Taylor 2003).

1.4.3 Bioetanol

A fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó üvegházhatású gázok, melyek a globális felmelegedéshez vezettek, számos kutatást indítottak el egy megoldást jelentő alternatív és környezetbarát bioüzemanyag megtalálása érdekében. Jelenleg a legígéretesebb bioüzemanyag a bioetanol, amely tulajdonságai miatt helyettesítheti a benzint. A növényi

biomasszából származó bio-üzemanyagok minden bizonnyal jó megoldást jelentenek a közlekedésben használt üzemanyagok bio-komponenseinek előállítására (Batog et al., 2020).

A cirok biomassza értékes alapanyag lehet szilárd, folyékony és gáznemű bio-üzemanyagok előállításához, illetve a betakarított cirok biomassza minden része hatékonyan feldolgozható bioenergiává. A cirok biomassza bio-etanollá történő hatékony átalakításának első lépése a biomassza fizikai-kémiai előkezelése. Az aprítás és őrlés fizikai technológiai segítenek a szubsztrát méretének csökkentésében, valamint a lignocellulóz polimerizációs és kristályosodási fokának mérséklésében. A kémiai eljárások közé tartozik a híg savas, lúgos és semleges kezelés. Az alkalmazott módszertől függően különböző változások mennek végbe a lignocellulóz-komplexben. Az egyik leghatékonyabb lúgos kezelés elsősorban a lignin és a hemicellulóz részleges lebontásából áll. A következő lépés az enzimatisz hidrolízis, amely során enzimkészítmények alkalmazásával redukáló cukrok szabadulnak fel. Az utolsó lépés az etanolos erjesztés, amelyben az egyszerű cukrokat szeszipari élesztők alakítják át etanollá, főként *Saccharomyces. cerevisiae*, *S. uvarum*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Kluyveromyces marxianus* és *Candida utilis* segítségével (Frankowski et al., 2022).

1.4.4 Csomagolóanyag

A legújabb terület a cirok felhasználásában a lebomló csomagolóanyagok és fóliák előállítása, a szintetikus polimerek helyettesítésére. Mehboob és munkatársai a cirokkeményítő keresztkötésével és/vagy acetilezésével kapcsolatos kutatásról számoltak be, amelyből ehető fóliák készíthetők élelmiszerek csomagolására (Mehboob et al., 2020). A cirokkeményítőt héjanyagként is használják gumiarábikummal kombinálva, hogy elnyomják a szerecsendió olajban lévő aromaanyagok lebomlását (Arshad et al., 2020).

1.5 A cirok hántolástechnológia jellemzése

Mivel a cirkot a rizshez hasonlóan nehéz egész gabonaként megfőzni, évszázadok során kialakult az a gyakorlat, hogy a gabonát lisztté vagy darává őrlik, így használják kása, palacsinta és egyéb élelmiszerek készítéséhez. Ilyen célokra általában teljes kiőrlésű lisztet vagy magas extrakciós arányú lisztet használnak, amelyet a durva korpa 3-5%-ának kiszűrése után nyernek (Desikachar 1981). Az idő múlásával azonban nyilvánvalóvá vált, hogy szükség van olyan módszerek kidolgozására, amelyekkel olyan félig finomított ciroklisztet lehet előállítani. Ez azt jelenti, hogy a korpa nagy részét eltávolítják a tápanyagtartalom minimális elvesztése mellett, ugyanis a korpa az egyik fő oka a ciroktermékek durva szerkezetének. Emiatt a gabona feldolgozásának egyik elsődleges művelete a gabonaszemek hántolása, ami a külső rétegek elválasztását jelenti a szemcsétől (Ibyatov et al., 2020). Pontosabban a perikarpium, a testa réteg

és a csíra eltávolításáról van szó, melyeket később állati takarmányként használnak fel (Léder és Monda, 1987).

1.5.1 Kézi hántolás

A fejlődő országokban a cirok hántolása kézzel történik, mivel nem állnak rendelkezésre gépi hántolók. A hántoláshoz használt szemeket természetes úton szárítják 6-9%-os nedvességtartalomra. A szemek hántolásához a következő felszerelésekre van szükség: mély mozsár és mozsárörrlő, szárító (matankadi), némi víz, egy viszonylag nagy edény és egy sima felület vagy szőnyeg a szárításhoz. A módszer során a cirkot a mozsárba teszik, majd a szemeket vízzel locsolva megnedvesítik. A nedves szemeket a mozsárral addig ütögetik, hogy a korpa meglazuljon és leváljon, amíg az összes szem hántolatlan lesz. A lehántolt szemeket a matankadi, egy fűből vagy rafiából szőtt helyi szárítószőnyeg segítségével megszáritják. A lehántolt szemeket egy nagy tartályba teszik és vízzel tisztára mossák. Többnyire fejtetön – agyagból készült tárolóedényekben – viszik, amelyeket a levegőztetés érdekében nádfedeles fűvel borítanak (Reichert et al., 1985).

A perikarpium vastagsága a szemek feldolgozását befolyásoló fontos tényező. A vastag perikarpium és a szaruréteges endospermium együttesen szükséges a cirokliszt nagy hozamának eléréséhez. A kemény és vastag terméshéjat sokkal könnyebb eltávolítani ütögetéssel – ami Afrikában elterjedt gyakorlat – míg a vékony terméshéj eltávolítása mechanikus módon több időt igényel. A vastag perikariummal rendelkező cirokfajtáknak azonban van néhány hátrányuk, például a penészre való érzékenységük, valamint a szemek érése közbeni károsodása a szántóföldön az időjárási tényezőktől, és a szemek gyors romlása a tárolás során (Guindo et al., 2016).

1.5.2 Mechanikus hántolás

A cirok hántolásának legtöbb ipari méretű mechanikai módszere a száraz cirokmagot dolgozza fel, bár néhány kísérletet tettek a hőkezelést követő drótkéféshántolásra (Weinecke és Montgomery 1965; Shoup et al. 1970). Az irodalmi adatok alapján a karborundum kövekkel vagy smirglivel bevont csiszolótárcsákkal felszerelt hántológépeket használják a leggyakrabban. Ebbe a kategóriába tartozik néhány függőleges típusú hántológép, amelyek mindegyike nagyon hasonló elvű. A Decomatic (Bernhard Keller AG, Zürich, Svájc), a DSRD és MHV típusú Buhler-Miag (Buhler Bros, Uzwil, Svájc) és a 270-es típusú függőleges hántológép (F. H. Schule GMBH, Hamburg, Nyugat-Németország). A vízszintesen összeszerelt, csiszolókorongokkal vagy kövekkel ellátott hántológépek közé tartozik a Ce Co Co (Ce Co Co Co, Ibaraki City, Osaka, Japán), a Wondergrain Jaybee (Jaybee Engineering Pty.

Ltd, Dandenong, Ausztrália), a Bavaria Record (Etablissements Rohr, Sarcelles, Franciaország), a Palyi Hansen BR 001-2 (United Milling Systems, Koppenhága, Dánia), PRL, PRL/RIIC és PRL mini hántológépek (Nutana Machine Co., Saskatoon, Kanada), valamint a Buhler-Miag DNRH és DSRH típusai (Reichert et al., 1985).

A mechanikai módszerrel történő hántolás minősége az endospermium és a korpa rétegek közötti tapadás mértékétől, valamint a szemek keménységétől függ. A puha szemek a csiszolófelület nyomása alatt könnyen megrepednek, ami a finom anyagok eltávolítását eredményezi a mag minden részéből, nem pedig csak a peremrétegekből. Ezért kívánatosak az üveges (keményebb) tulajdonságú magvak (Reichert et al., 1985).

1.5.3 A hántolástechnológia előnyei

A csiszolóhántolás alkalmazásakor a késztermékben csökken a héjrészecskék száma és javul a termék megjelenése. A héjak eltávolításával:

- szilárdabb és higiénikusabb tiszta terméket kapunk,
- magasabb fehérségi indexű lisztet eredményez,
- a lisztet élelmiszerként ízletesebbé teszi,
- jelentősen csökkenteni az őrlő- és szitarendszerek számát, egyszerűsíti az őrlés technológiai sémáját.

Ezenkívül meg kell jegyezni, hogy a hántolás során nemcsak a szennyeződéseket távolítják el a gabona felületéről, hanem a maghéj egy részét is. Ez pozitív hatással van a szemek nedvességtartalmának csökkentésére, illetve az őrlemény hamutartalma is csökkenni fog (Kandrokov et al., 2020). Az eddigi ismeretek alapján a cirok hántolásával nagymértékben javítható az emészthetőség, ugyanis ezen technológiával a héj alatti részben található polifenolok, tanninok és egyéb antinutritív anyagok (fitinsav, fitáttartalom) számottevő része eltávolítható. Léder és Monda szerint hántolással a tannin 65-80%-ban, a fitáttartalom pedig 27-53%-ban eltávolítható (Léder és Monda, 1987).

1.6 A cirok keményítő szerkezete, jellemzői

A gabonafélékben és más magasabb rendű növényekben a keményítőszemcsék az amiloplasztiszokban képződnek. Az egyszerű keményítőszemcsékkel rendelkező gabonafélékben (búza, kukorica, rozs, cirok, köles), mint amilyen a cirok, minden egyes amiloplasztisz egy szemcsét tartalmaz. Az összetett keményítőszemcsékkel rendelkező rizsben és zabban minden egyes amiloplasztiszban több szemcse található. A különböző gabonafélék keményítőszemcséinek mérete és alakja nagymértékben eltér. A kukorica és a cirok keményítőszemcséi méretben és alakban hasonlítanak egymáshoz. Átlagosan körülbelül 20 µm

átmérőjűek, alakjuk pedig a sokszögletűtől egészen a gömb alakúig változhat (Delcour és Hoseney, 2010).

1.6.1 A keményítő összetétele

A keményítő – számos kisebb összetevőtől eltekintve – elsősorban (kb. 98%-ban) polimer szénhidrátokból áll, amelyek α -D-glükopiranozil egységekből épülnek fel. Minden egyes keményítőmolekulának egy hemiacetál csoportja van, amelyet általában „redukáló végnek” neveznek, és amely redukáló erőt kölcsönöz a molekulának. A glükóz monomerek glikozid kötással kapcsolódnak a szomszédos glükóz 4. vagy 6. pozíciójához. A kötések α orientációjúak, struktúrájukat tekintve az α -1,4 és α -1,6 kötések lineáris és elágazó szerkezetet eredményeznek. Két polimer különböztethető meg, az amilóz és amilopektin (Delcour és Hoseney, 2010). A cirokban egyetlen recesszív gén, a wx, szabályozza a viaszos endospermium termelését. Az endospermiumban 25% amilózt tartalmazó cirokmagot normál (WxWxWx), míg a majdnem 100% amilopektint tartalmazó szemeket viaszosnak (wxwxwx) nevezik. A köztes mennyiségű amilózzal (15%) rendelkező szemeket hetero-viaszosnak (WxWxwx vagy Wxwxwx) nevezzük (Sang et al., 2008).

Az amilóz és (kisebb mértékben) az amilopektin erősen befolyásolja a keményítő zselésedését, retrograditását, a paszta viszkozitását és α -amiláz emészthetőségét (Dadnia et al., 2018). Jellemzően a cirokkeményítők magasabb zselésedési hőmérsékletet (68-78 °C) és nagyobb fokú retrogradációt, de lassabb enzimátikus hidrolízisráta mutatnak, mint más gabonafélékből, például a kukoricából (62-72 °C), búzából (58-64 °C) és árpából (51-60 °C) származó keményítők. A zselésedési tulajdonságok a cirok amilopektinjében található rövid elágazó láncok kisebb számának köszönhetők a többi gabonaféléhez képest. A cirokkeményítő magas zselésedési hőmérséklete kedvezőtlenül befolyásolhatja a sütőipari termékek minőségét (Khoddami, 2021). Ellenben kimutatták, hogy a magas téstacsúcs viszkozitása, vízfelvétele és visszahúzódása, valamint az alacsony zselatinizációs hőmérséklet előnyös a cirokból készült lapos lepénykenyerek, például a Roti készítésénél, míg az alacsony téstacsúcs viszkozitása és a magas zselatinizációs hőmérséklet kívánatos a kemény kása, például az indiai Sankhati és az afrikai Tô készítéséhez (Ratnavathi és Patil, 2013).

Amilóz

Az amilóz általában glükóz planáris polimere, ahol α -1,4 glikozidos kötással kapcsolódnak egymáshoz a glükóz egységek. Az amilóz molekulatömege 80.000 és 1.000.000 között változik. A molekulatömeg nem csak a növényfajok között, hanem egy fajon belül is különbözhet, és függ a szem érési fokától. A polimerről feltételezik, hogy lineáris, viszont ez

csak az amilóz egy részére igaz. A molekulák 25-55%-ához ugyanis esetenként α -1,6 elágazási pontokon keresztül másodlagos láncok kapcsolódnak. Felesleges vízben, a zselatinizációs hőmérséklet feletti hőfokra felmelegítve, a keményítőből kioldott amilóz lineáris. A kioldási hőmérséklet növelésével viszont nagyobb molekulatömegű és több elágazást tartalmazó amilóz vonható ki. Mind az enzim-, mind a viszkozitási vizsgálatok azt mutatták, hogy az elágazások hosszú láncúak, az oldalláncok több száz glükózmolekulát tartalmaznak. Az amilóz elágazásai olyan ritkák, hogy a molekula sok szempontból elágazás nélküli egységként viselkedik.

Az amilóz hosszú, lineáris jellege egyedi tulajdonságokat kölcsönöz neki, például hogy képes komplexeket képezni jóddal, szerves alkoholokkal vagy zsírsavakkal. Az ilyen komplexeket „klatrátoknak” vagy „helikális zárványvegyületeknek” nevezik. A jód és keményítő elegye által adott jól ismert kék színt feltehetően az amilóz spirál központi magjában lévő polijodid-ionok okozzák. Nukleáris mágneses rezonancia vizsgálatok kimutatták, hogy a natív gabonakeményítőben is előfordulnak amilóz-lipid komplexek, és a gabonakeményítőben előforduló szabad lipidek további amilóz-lipid komplexeket képezhetnek a keményítő zselatinizációja során (Delcour és Hoseneý, 2010).

Amilopektin

Az amilózhoz hasonlóan az amilopektin is α -D-glükózból áll, amelyet elsősorban α -1,4 kötések kötnek össze. Az amilopektin sokkal nagyobb mértékben elágazó, mint az amilóz, a glikozidos kötések 4-5%-a α -1,6 kötés. Ez az elágazás mértéke azt jelenti, hogy az amilopektin átlagos egységlánca mindössze 20-25 glükózmolekula hosszú. Az amilopektin molekulatömege a jelentések szerint akár 10^8 is lehet. Ez valóban egy hatalmas molekula, az egyik legnagyobb a természetben található molekulák közül (Delcour és Hoseneý, 2010).

Egyéb összetevők

Bár a keményítő számos kisebb összetevőt tartalmaz, amelyek olyan kis mennyiségben fordulnak elő, amiért vitatható, hogy ezek a keményítő nyomelemeinek, vagy az izolálás során nem teljesen eltávolított szennyező anyagoknak tekinthetők. Ezek a kisebb összetevők csak kis koncentrációban vannak jelen a keményítőben, mégis befolyásolhatják a keményítő tulajdonságait.

Általában a gabonakeményítőben a lipidek szintje 0,5 és 1,0% között van. A keményítőhöz kapcsolódó lipidek jellemzően polárisak, ezért a legjobb, ha poláros oldószerekkel, például metanol-víz oldószerral vonjuk ki őket. A gabonakeményítőben a lipidek a keményítőszemcsék belsejében vannak jelen, előfordulhatnak szabadon vagy amilóz-lipid komplexként. A lipidek főként lizofoszfolipidekből és szabad zsírsavakból állnak, és az

amilóztartalommal pozitívan korreláló arányban vannak jelen. A gabonakeményítőkből a legnagyobb mennyiségben előforduló zsírsavak a linolsav és a palmitinsav. A keményítőben a foszfor a legnagyobb mennyiségben előforduló ásványi anyag, valamint alacsony nitrogéntartalommal is rendelkezik ($<0,05\%$), amelynek egy része a lipidekből származik, a maradék pedig többnyire fehérje eredetű (Delcour és Hoskeney, 2010).

1.6.2 Rezisztens keményítő

A „rezisztens keményítő” (RS) kifejezést először Englyst és munkatársai használták, az emésztőenzimokkal történő inkubáció során nem hidrolizálódó keményítő megjelölésére (Englyst et al., 1982). Ahhoz, hogy a keményítő emésztésnek ellenálló legyen, sérülés nélkül kell a vastagbélbe jutnia, ahol a bél mikroflórája fermentálja (Yue és Waring, 1998). Számos *in vivo* vizsgálat kimutatta, hogy az RS-nek olyan élettani hatásai vannak, amelyek potenciálisan előnyösek az egészségre. Liu és Xu egy egereken végzett kísérlet alapján megállapította, hogy az RS adagolása lassíthatja a vastagbélben a daganatos elváltozások növekedését és/vagy kialakulását (Liu és Xu, 2008).

Shen és munkatársai tanulmányában értékelték a cirok RS hatását a testsúly, a vérzsírok és a bél mikrobióta populációjának változásaira a magas zsírtartalmú étrenddel táplált túlsúlyos és elhízott patkányok vastagbelében. Az eredmények azt mutatták, hogy a cirok RS különböző mechanizmusokon keresztül segíti a szervezetet az elhízás megelőzésében és kezelésében, valamint a bél mikroflóra javulását (Shen et al., 2015). Willis és társai különböző rostforrások felhasználásával készült süteményekről számoltak be, és a hozzáadott RS-t tartalmazó termékek hosszabb ideig (180 percig) képesek voltak fenntartani a jóllakottság érzését, úgymint a kukoricakorpa, árpa, zab és a polidextrózzal készült termékek (Willis et al., 2009).

2 ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

2.1 Felhasznált anyagok

A kísérlet során a Gabonakutató Nonprofit Kft. által nemesített és forgalomban lévő szemescirok hibrideket használtam. Az F1 hibrid vetőmag F2 szemtermésén végeztem el a kísérleteimet. Minden minta a GK kiszombori telephelyéről, és a 2023-es évjáratból származik. A kísérletek átfogóságának érdekében három vörös és három fehér szemű cirkot választottam ki a vizsgálatokhoz.

2.2 Kísérleti célkitűzések

A kísérletek célkitűzéseit 5 pontban foglaltam össze.

1. A hántolhatóság vizsgálata. Különböző hántolási időket alkalmazva a tömegveszteség és a szemtörés mértékének megállapítása.
2. Az egész és hántolt cirokminták fizikai tulajdonságainak összehasonlítása (ezerszemtömeg, szemméret, szemkeménység, szín)
3. A cirokminták beltartalmi tulajdonságainak vizsgálata: hamutartalom, nyersfehérje tartalom, zsírtartalom, nyersrost tartalom és keményítőtartalom meghatározása.
4. Amilóz és amilopektin arányának meghatározása enzimológiai kit segítségével, illetve gélesedési tulajdonságok vizsgálata amilográffal.
5. Hengermalmos aprítás frakcióinak vizsgálata: A hántolás során keletkező minták őrlése, majd a keletkezett teljes őrlemény mintákon szitaanalízis végrehajtása az aprózódási hajlam és a lisztképződés meghatározására. A fehérje eloszlásának meghatározása a 120s-ig hántolt minták szitálással elkülönített frakcióiban.

2.3 Hántolási kísérletek

A cirokszemek rétegeinek vizsgálatához a magokat többszöri hántolással frakcióminták készítésére használtam. A hántoláshoz Satake laboratóriumi tárcsás hántoló berendezést alkalmaztam (3. ábra).



3. ábra Satake laboratóriumi tárcsás hántoló berendezés (saját fotó)

A berendezés központi eleme egy perforált lemezzel határolt hengeres munkatér, amelyben egy korrund csiszolótárcsa forog. A tárcsa érdes felülete a szemek külső rétegét a működési idő függvényében ledörzsöli. A gép működése szakaszos, és a munkatér egyszerre 200g búza hántolására van optimalizálva. A mintákat a garaton keresztül juttatjuk a kezelőtérbe, és a csiszolás mértéke az alkalmazott időtartammal szabályozható. A hántolási folyamat végén, a munkatér alján található tolózár nyitásával a hántolt szemek a középső gyűjtőedénybe kerülnek, míg a perforáción keresztül áthaladt héjrészek és por a két szélső kamrába jutnak.

A hántolás egyenletessége érdekében a munkatér térfogatának megfelelő mennyiséget kell egyszerre kezelni. A búza esetében a kezelési útmutató szerint ez 200g, míg cirok esetén a mennyiséget úgy határoztam meg, hogy 200g búzával azonos térfogatú cirok tömegét megmértem, ami 190g volt, ezért a hántolást 190g-os adagokkal végeztem. Először előkísérletet folytattam, hogy megállapítsam, a különböző hántolási idők milyen mértékű hántolási veszteséget okoznak a ciroknál. Megállapítottam, hogy a magháj teljes eltávolításához 120s hántolási idő szükséges. Ezen időtartamon belül 10s, 20s, 30s, 40s, 60s, 90s és 120s hosszú hántolásokat végeztem.

2.4 A cirokminták fizikai tulajdonságainak vizsgálata

2.4.1 Szemkeménység, szemátmérő és ezerszemtömeg vizsgálata

A teljes és hántolt szemescirok szemméretét, ezerszemtömegét és keménységét PERTEN SKCS 4100 mérőműszerrel vizsgáltam. Ez a készülék az erő-deformáció adatok alapján határozza meg a szem keménységét, és dimenzió nélküli keménységi indexet (HI) számol, ahol $HI \geq 50$ kemény, $HI < 30$ puha, és 30-50 között átmeneti keménységet jelent. A műszer 300 szem adatait 3 perc alatt rögzíti és hisztogramon ábrázolja és átlagértékeket. Bár a műszer búza vizsgálatára készült, cirokmintáim keménységének és ezerszemtömegének mérésére is alkalmasnak bizonyult, míg a szemméreteket nem vettem figyelembe.

A műszer mérési elve: A mintát egy magemelő kerék juttatja a mérlegkanálba, ahol a szem tömegét méri, majd a szemek egy keskeny résen áthaladva roppannak meg. A mérés során – a szemek vezetőképessége alapján – nedvességtartalmukat és átmérőjüket határozza meg a készülék. A rotor forgásakor az erőmérő cella a szemek által kifejtett erőt méri, és az adatokat digitálisan továbbítja. A műszer a 300 szem mérése után automatikusan leáll.

2.4.2 Színmérés

Előkészítés: A színméréshez a szemes mintákból finom szemcséjű teljes őrleményt készítettem PERTEN 3100 verőcsapos daráló segítségével. Az őrlemény szemcsemérete $< 0,5\text{mm}$.

A minták színét a CIE 1976 L^* , a^* , b^* színrendszerben határoztam meg MINOLTA CR 300 színmérővel. A készülék egy optikai érzékelőből és egy processzorból áll, xenon lámpával megvilágított felületet mérve. Az érzékelő három szilikon fotocellája a visszaverődő fényt elemzi, és a vörös (X), zöld (Y) és kék (Z) komponensekből számolja ki az L^* , a^* , b^* színekoordinátákat.

Az L^* a világosságot, az a^* a vörösséget, a b^* pedig a sárgasságot jelzi. Minden mintán 5 párhuzamos mérést végeztem.

2.5 A cirokminták beltartalmi tulajdonságainak vizsgálata

A beltartalmi vizsgálatokat a cirok minták PERTEN 3100 darálón aprított teljes őrleményét használtam.

2.5.1 Nedvességtartalom meghatározás

A cirokminták nedvességtartalmát MSZ EN ISO 712:210 szabvány szerint határozom meg.

2.5.2 Hamutartalom meghatározás

A cirokminták hamutartalmát MSZ EN ISO 2171:2023 szabvány szerint mértem.

2.5.3 Nyersfehérje tartalom meghatározása

FOSS KJELTEC AUTO 2300 készülékkel végzem a hántolt cirokminták nyersfehérje tartalmának vizsgálatát.

Mérés mente: A vizsgálati mintákból 1 g-ot mértem be roncsoló csövekbe, 4 tizedes pontossággal, analitikai mérlegen. A mintákhoz egy katalizátortablettát (K_2SO_4 és Se tartalmú) és 14 cm³ 96%-os kénsavat adtam. A csöveket az állvánnyal együtt behelyeztem a mérőrendszerhez tartozó DS 20 típusú, előzetesen 410°C-ra felfűtött elektromos roncsoló blokkba. A minta kénsavas roncsolása 410 °C-on 1 órán keresztül zajlott.

Az ammónia felszabadítása, desztillálása és titrálása a KJELTEC AUTO 2300 készülékben történt, előre betáplált program szerint. A mérés során a berendezés 60 cm³ desztillált vizet és 60 cm³ 33%-os NaOH oldatot adagol a roncsolmányhoz, majd vízgőz desztillációnak veti alá. A desztillátumot 30 cm³ 1%-os bórsav oldatban fogja fel, amely metilvörös és brómkrezolzöld indikátorokkal van színezve. A titrálást a műszer automatikusan elvégzi 0,2 n H_2SO_4 oldattal; az eredményt a mért fogyás és a beírt mintatömeg alapján a processzor kiszámítja, és monitoron kijelzi.

2.5.4 Zsírtartalom meghatározás

A cirokmintákból a nyerszsírtartalom meghatározást FOSS SOXTEC 2050 készülékkel végzem. A módszer lényege, hogy a szárított mintából oldószerrel extraháljuk a zsírt.

A műszer mérési elve: A készülék egyszerre 6 minta zsírtartalmát képes meghatározni, könnyű és biztonságos oldószerkezeléssel, időben programozható intenzív extrakcióval. A folyamat több lépcsőből áll, és a vezérlőegység szabályozza a fűtési hőmérsékletet és az egyes szakaszok időtartamát. A készülék beépített fűtő- és hűtőegységgel, valamint oldószergyűjtő tartállyal rendelkezik.

2.5.5 Nyersrost-tartalom meghatározás

A nyersrost-tartalmat a FOSS FIBRETEC SYSTEM 2010 műszerrel Weende féle módszerrel mértem. A módszer során híg kénsavval és lúggal főzve, szűréssel, utána vizes és acetonos mosással eltávolítottam a fehérjéket, zsírokat, szénhidrátokat és oldható ásványi anyagokat. Majd az anyag elégetése után a nyersrost tartalmat a hamu levonásával számítottam.

2.5.6 Keményítőtartalom meghatározása

A cirokminták keményítőtartalmát Ewest szerint polarimetriás módszerrel határoztam meg

Mérés menete: A mintát híg savban hidrolizáltam, majd derítés és szűrés után megmértem az oldat optikai forgatóképességét. Ezt 40%-os etanolos extrakció követte, majd az oldat savanyítása és újabb optikai forgatóképesség-mérés. A két mérés különbségéből számítottam ki a keményítőtartalmat.

A méréshez 2,5g mintát 50 cm³ híg sósavoldattal forró vízfürdőbe helyeztem 15 percre, majd derítés és hűtés után 100 cm³-re hígítva polariméterrel mértem az optikai forgatást. Az etanolban oldható anyagok méréséhez 20g mintát 40%-os etanollal kevertem, majd savval kezelve és az előző lépések szerint hidrolizálva újra mértem az optikai forgatást.

A keményítőtartalmat a következő képlet alapján számítottam:

$$S1 = \frac{2000}{a^{20^\circ}_D} * \left[\frac{2.5b}{W_1} - \frac{5c}{W_2} \right]$$

ahol,

S1: keményítő (%)

b: teljes optikai forgatás szöge (°)

c: a 40%-os etanolban oldható anyagok optikai forgatásának szöge (°)

$a^{20^\circ}_D$: a tiszta keményítő D fajlagos optikai forgatóképessége 20°C-on

(a cirok esetében az egyéb keményítőkre megadott értéket vettem figyelembe)

egyéb keményítők esetén 184,0°

W₁: a minta tömege teljes optikai forgatás meghatározásnál (2,5g)

W₂: a minta tömege 40%-os etanolban oldható anyagok optikai forgatásának meghatározásánál (10g)

2.6 Amilóz és amilopektin arány, illetve gélesedési tulajdonságok vizsgálata

2.6.1 Amilóz és amilopektin arányának meghatározása

A cirokminták amilopektin- és amilóztartalmát a Megazyme Amylose/Amylopectin Assay Kit segítségével határoztam meg. A módszer lényege, hogy a minta keményítő tartalmát enzimatisz hidrolízissel és spektrofotometriás méréssel határozzuk meg.

Módszer elve Az α -amiláz és amiloglukozidáz enzimek segítségével a keményítőt glükóz egységekre hidrolizáljuk. A keletkezett glükózt dinitroszalicilsav (DNS) reagenssel reagáltatjuk, amely színes komplexet képez. A színintenzitás mérése alapján meghatározható a glükóz koncentrációja, ezáltal a keményítő aránya is.

2.6.2 Gélesedési tulajdonságok vizsgálata

Az egész szemű és hántolt cirokminták őrleményének gélesedő képességét BRABENDER Amilográf segítségével vizsgáltam.

A módszer elve: A cirok őrleményből és desztillált víz elegyéből készült szuszpenziók viszkozitásának alakulása határozható meg, hőhatás alatt. A mérés eredményét diagram, az úgynevezett amilogram formájában rögzíti a műszer. A viszkozitást empirikus mértékegységben, amilográf egységben (AE) vagy a nemzetközi gyakorlatban Brabender Unit (BU) formájában regisztrálja, az idő és a hőmérséklet függvényében.

Mérés mente: 80g őrleményt kevertem 450cm³ 25°C-os desztillált vízbe, majd a homogén szuszpenziót az amilográf keverőcsészéjébe töltöttem. A mérést 60 percig végeztem, miközben a hőmérséklet 1,5 °C/perc sebességgel emelkedett, 95°C-ig. A viszkozitás változása a keverés közbeni ellenállás módosulásában mutatkozott meg, amit a műszer a diagrampapíron rögzített.

A diagrampapíron az ordináta 1000 amilográf egységre van osztva. Lehetséges 1000 egységnél is nagyobb viszkozitás mérése ellensúlyok használatával, amivel a mérés határ 4000 AE-ig bővíthető. A diagramról leolvasható a gélesedés kezdete és vége, valamint a maximális viszkozitás értéke.

2.7 Hengermalmos aprítás frakcióinak vizsgálata

2.7.1 Őrlés

A hántolás során keletkezett mintákat QC 109 Hengeres labormalom segítségével leőröltem. A felöntött minta különböző sebességgel, egymással szemben forgó, fokozatosan finomabb rovátkolású acélhengerek között halad. Az őrlést a hengerpárok közötti nyíróerőt

felhasználva végzi. A berendezésből a hengersizát eltávolítottam, a teljes őrleményeket szitaanalízis során osztályoztam különböző szemcseméretű frakciókra.

2.7.2 Szitaanalízis

A teljes őrlemény mintákon szitaanalízist hajtottam végre FRITISH ANALYSETTE 3 berendezés segítségével. A méréshez 100, 200, 300, 400, 600 és 1000 μ m lyukbőségű szitabevonatokat használtam az aprózódási hajlam és a liszt képződés megállapítására érdekében.

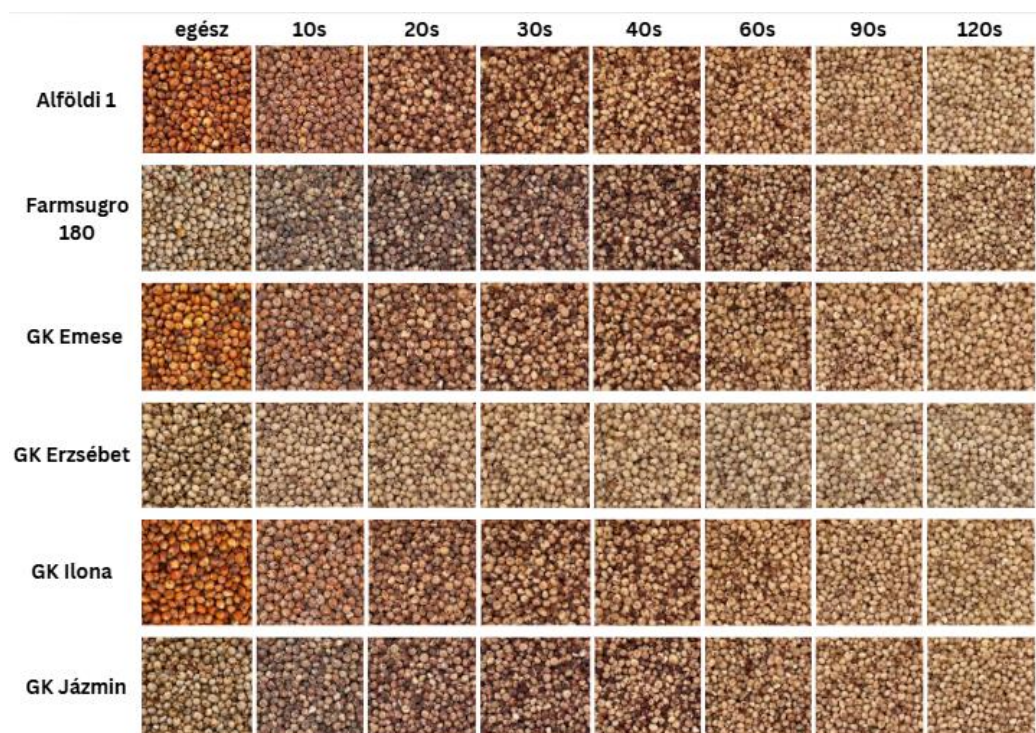
2.7.3 Szitafrakciók vizsgálata

A 120s hántolt minták szitálással kapott szemcseméret frakcióiból fehérjetartalmat mértem FOSS KJELTEC AUTO 2300 berendezéssel (lásd 2.5.3. fejezet) annak megállapítására, hogy a hántolt szem fehérjetartalma hogyan oszlik meg a hengerpáros aprítás során képződő különböző szemcseméretű frakciókban.

3 EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEŚÜK

3.1 Hántolási kísérletek

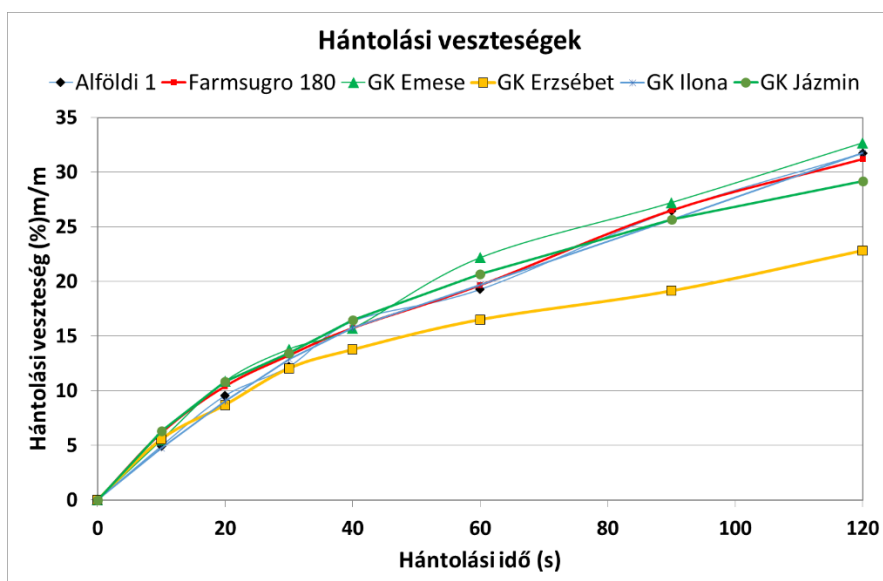
A 6 cirokfajta egyre növekvő hántolási idejű mintáinak fotói a 4. ábrán láthatók.



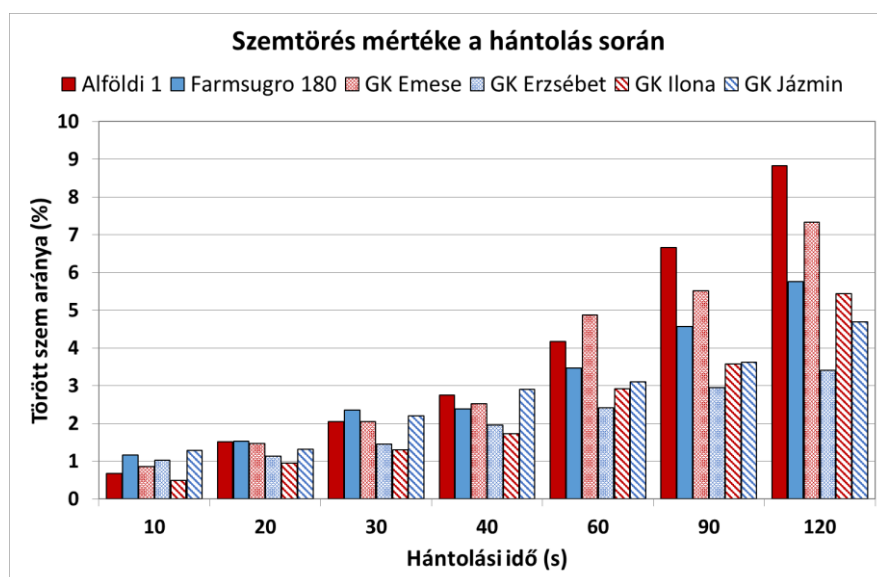
4. ábra Cirokszemek külső megjelenésének változása a hántolás hatására

Jól megfigyelhető, amint a hántolás különböző fokozatainál attól függően változik a szín, hogy az egyes héjrétegek milyen pigmenteket tartalmaznak. Például a három fehér cirokfajta közül a Farmsugro 180 és a GK Jázmin esetében megjelenik egy, a legkülső buroknál sötétebb belső réteg. Ez a GK Erzsébetnél nem tapasztalható. A 120s ideig történő hántolás már az összes minta esetében ledörzsölte a teljes héjat.

A hántolási tömegveszteség alakulását az 5. ábra mutatja. A különböző idejű hántolás hatására 5 fajta tömegveszteségének alakulása nagy hasonlóságot mutat. A GK Erzsébet tömegveszteségei kisebbek azonos idejű hántolás esetén, mint a többi fajtáé. A héj teljes ledörzsölését jelentő 120s-os hántolás ezeknél 30% körüli tömegveszteséget jelentett, míg a GK Erzsébetnél ez csak 23%. A 120s-os hántolás során a fehér szemű cirokfajták esetében kevesebb veszteséget tapasztaltam, mint a vörös színűeknél.



5. ábra Hántolási tömegveszteségek alakulása



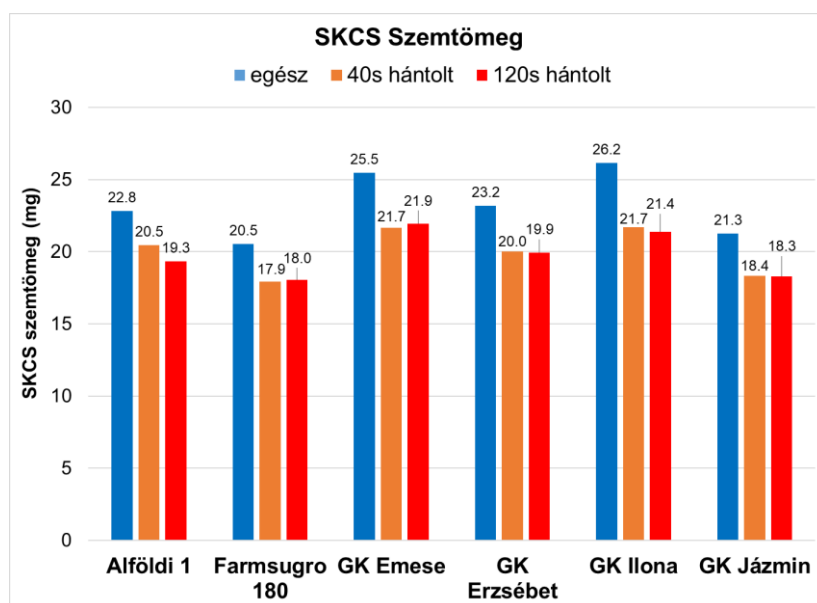
6. ábra A szemtörés mértéke

A 6. ábrán lévő diagram a hántolás hatására keletkező törött szemek arányát mutatja. A vörös szemű cirok fajtákat piros, a fehéreket kék színnel jelöltem. A szemtörés mértéke a hántolási idő növelésével nőtt. A fajták közül az Alföldi 1 és a GK Emese volt a legtörékenyebb. A legkisebb mértékű szemtörést GK Erzsébetnél tapasztaltam, ami összefügg a kisebb hántolási veszteségével.

3.2 Fizikai tulajdonságok

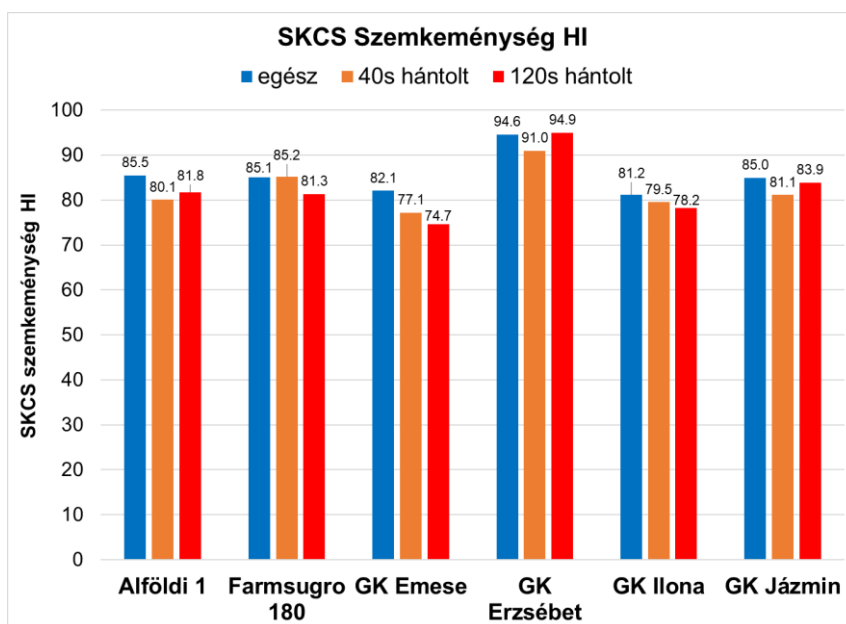
A PERTEN SKCS mérőműszer méréseink során mintánként 300 helyett 150 szemet vizsgáltam. A mérést a törött szemek kiválasztása után az egész szemekből végeztem. Meg kell jegyeznem, hogy ez a berendezés búza vizsgálatára van kifejlesztve. A hántolt mintáknál az apróbb cirokszemeket nehezen tudta a magemelő kerék felvenni. Ezzel magyarázható, hogy a 40s-os és a 120s-os hántoláson átesett szemek tömege (7. ábra) között nincs jelentős eltérés. A hántolt minták szemtömeg csökkenése a GK Erzsébet esetében volt a legkisebb, összefüggésben e fajta legkevesebb hántolási veszteségével.

A fajták közül a Farmsugro 180 és a GK Jázmin szemtömege a legkisebb, a GK Emesée és a GK Ilonáé a legnagyobb, 25 és 26mg feletti. Az eredményeket értékelve meg kell jegyezni, hogy a vizsgált fajták szemtömegei elmaradnak a Gabonakutatónál mért és az éves fajtakatalógusokban szereplő átlagos 28-32g ezerszemtömegtől. Ennek oka az aszályos 2023-as évjáráttal magyarázható a vizsgált magminták esetén.



7. ábra Cirokminták szemtömege

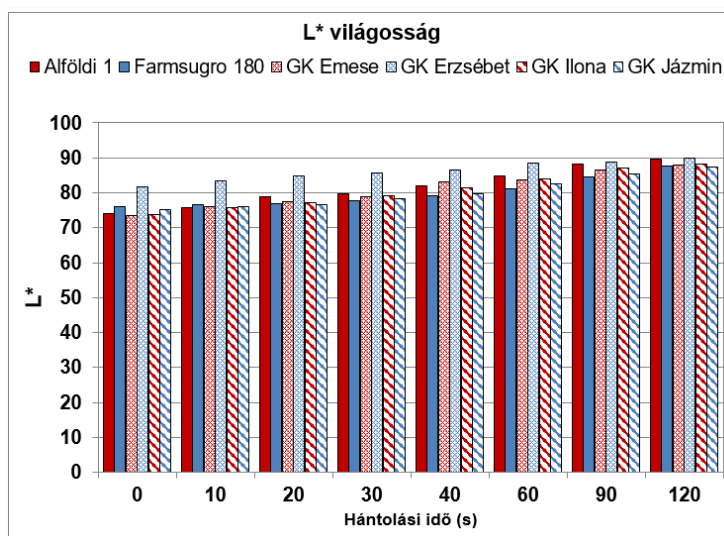
A szemkeménységi indexek (8. ábra) nem mutatnak jelentős változást a hántolás hatására, ami arra utal, hogy a szemek összeroppantásához szükséges erő nagyságát nem befolyásolja a héj jelenléte. A fajták közül a GK Erzsébet rendelkezik a többenél nagyobb szemkeménységgel, ami magyarázza a kisebb hántolási veszteséget és szemtörést.



8. ábra Cirokminták SKCS szemkeménységi indexe (HI)

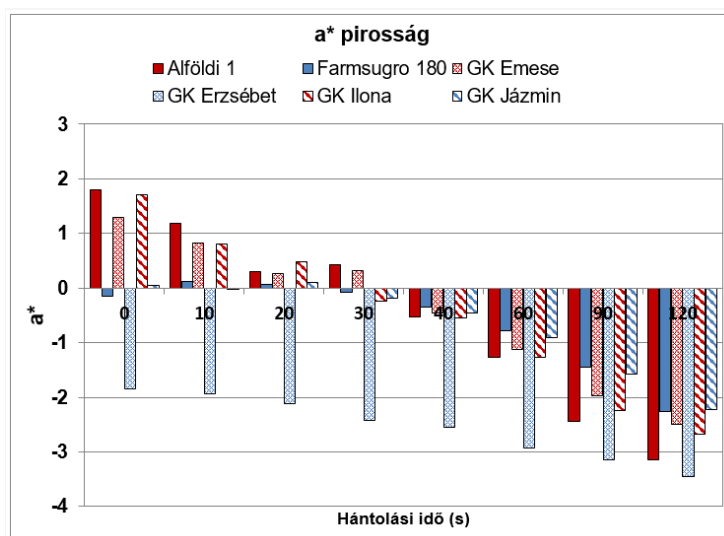
A cirokminták hántolás hatására bekövetkező színváltozásait az őrlményeik CIE $L^*a^*b^*$ szín koordináta rendszerben meghatározott színjellelmzőin keresztül értékelem.

A világosságot jelző L^* értékeket a 9. ábrán láthatjuk. A vörös szemű fajták piros, a fehérek kék színű oszlopokkal lettek jelölve a könnyebb megkülönböztetés érdekében. A világosság mértékében kiemelkedik a GK Erzsébet fajta, ennek legnagyobb az L^* értéke. A világosság a héj lehántolásával fokozatosan növekszik minden fajtánál. A 120s ideig történő hántolásnál a héj teljes mértékben eltávolításra került és a magbelső L^* színkoordinátájában nincs lényeges különbség a fajták között.

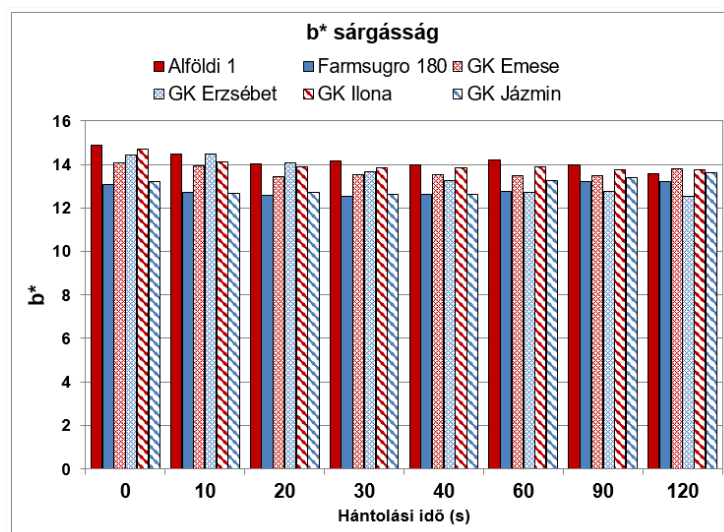


9. ábra Világosság L^* értékek

A piros-zöld színkoordinátát jelentő a^* értékek nagy változatosságot mutatnak (10. ábra). A koordináta tengelyen a pozitív értékek a piros, a negatívak a zöld színtartományt jelentik. A hántolás nélküli minták színe jól elkülönül egymástól. A fehér fajták közül a GK Erzsébet a^* értéke nyúlik át leginkább a negatív, zöldes tartományba. Az a^* értékek a hántolás hatására rendre csökkennek, 40s-os kezelésnél – ami átlagosan 15% tömegvesztést jelent – már az összes fajta színe elveszítette piros jellegét. A 120s-os hántolásnál is még vannak kisebb különbségek a fajták között, ami a magbelső árnyalatbéli színekülönbségeit mutatja. A GK Erzsébet mellett a kezdetben legpirosabb Alföldi 1 magbelsője a leginkább zöldes színű.



10. ábra Pirosság a^* értékek



11. ábra Sárgasság b^* értékek

A sárga-kék színkoordinátát mutató b^* értékek minden mintánál stabilan a pozitív, azaz a sárga tartományba esnek (11. ábra). Nagy különbség nincs köztük. Hántolás nélküli

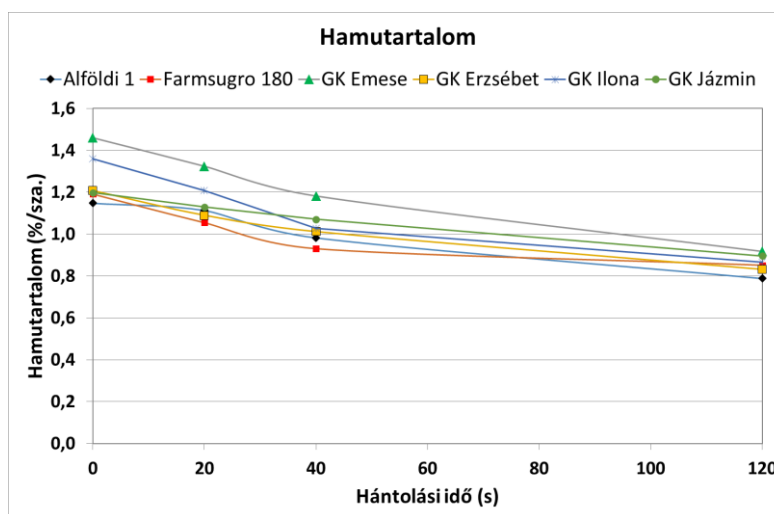
állapotban a két legpirosabb Alföldi 1 és GK Emese egyben a legsárgább is, viszont a GK Erzsébet a másik két fehér fajtánál nagyobb b^* értékkel rendelkezik. A hántolás hatására a b^* értékek kissé csökkennek. A magbelső színét tekintve a 120s-os hántolásnál már a GK Erzsébet a legkevésbé sárga színű.

A változatos színű maghéj és magbelső a bennük felhalmozódó különböző festékanyagokkal magyarázható, amelyek együttesen adják a szemtermés színét (Siklósiné, 2001). A cirok szemtermés endospermiumában található sárga pigmentek a karotenoidok (karotin és xantofil). A szemtermés maghéjában felhalmozódó tannin (aromás vegyületek összessége) főként a piros (vörös és barna) színű fajtákra jellemző.

3.3 Beltartalmi jellemzők

A cirokszem hamutartalma kisebb, mint a pelyvaleveleket tartalmazó gabonaféléké, mivel a pelyvalevelek már csépléskor eltávolításra kerülnek (Siklósiné, 2001).

A hamutartalom diagramon (12. ábra) látható, hogy a szemek kezdeti ásványi anyag tartalma 1,2-1,4 % körül mozog. A GK Emese és GK Ilona hamutartalma kicsit nagyobb a többinél. A hamutartalom a héj eltávolításával csökken. A hántolt szemek hamutartalma 0,8-0,9% körüli.



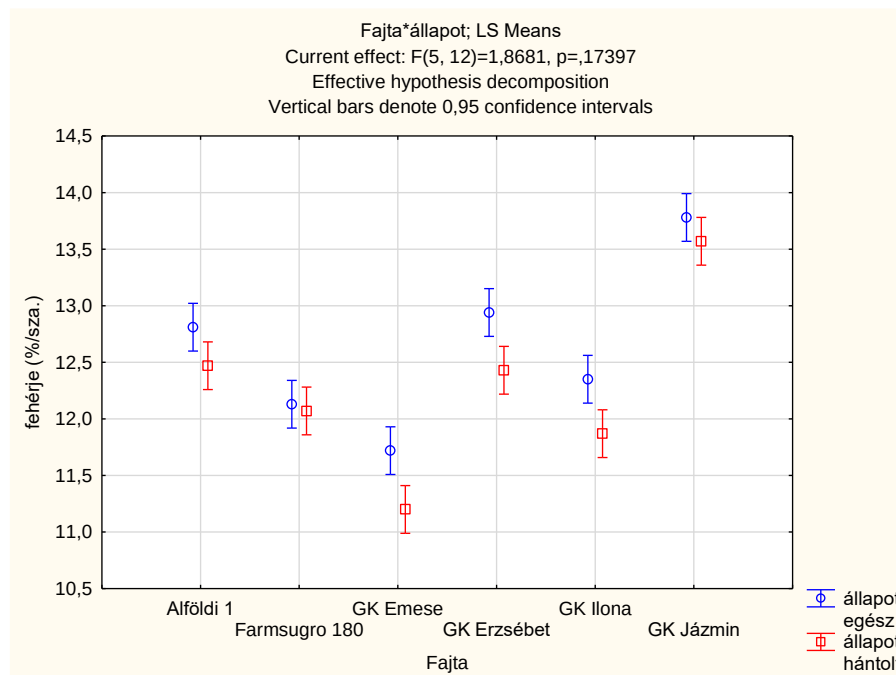
12. ábra Hamutartalom változása a hántolás során

A fehérje-, zsír-, rost- és keményítőtartalmat az egész szemű és teljesen, 120s-ig hántolt minták esetében végeztem el. Az eredményekből kéttényezős variancia analízist végeztem Statistica 13.5 program segítségével a fajták közti különbségek és a hántolás hatásának értékeléséhez.

A vizsgált fajták fehérjetartalma átlagosan 11,2-13,7% között alakult, amely megegyezik a Gabonakutató által mért adatokkal. Élelmi és takarmányozási szempontból is

fontos, hogy a szemescirok fajták fehérjetartalma (11-13%) nagyobb, mint a kukoricáé. A cirok szemtermés fehérje- és aminosavtartalma genetikailag determinált (Siklósiné, 1997).

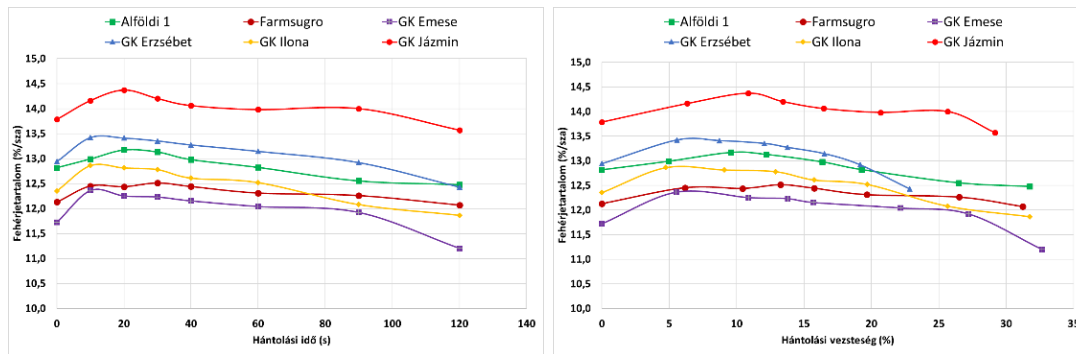
A szárazanyagra vonatkoztatott fehérjetartalmat tekintve (13. ábra) jelentős különbségek mutatkoznak a fajták között. Átlagosan 11,2-13,7 % volt a szárazanyagra vonatkoztatott fehérjetartalom. Egész állapotban legnagyobb fehérjetartalommal a fehér színű GK Jázmin rendelkezik, legkisebbel a vörös GK Emese. A vörös szemű fajták közül a GK Ilona fehérjetartalma emelkedett ki, ezt követte a GK Emese. A fehérjetartalom nem mutat összefüggést a 8. ábrán bemutatott SKCS szemkeménységgel.



13. ábra Cirokminták fehérjetartalmának kéttényezős variancia analízise

A héjtól megfosztott minták fehérjetartalma némileg alacsonyabb értéket mutatott, bár ez nem minden fajta esetében volt így. Ez arra enged következtetni, hogy a fehérje eloszlása a szem rétegei között eltérő lehet az egyes fajtáknál. Ennek feltérképezése, illetve a hántolás optimális mértékének megállapítása érdekében indokoltnak tűnt a fajták különböző mértékben hántolt mintáinak mindegyikét megvizsgálni.

A különböző mértékű hántolás fehérjetartalomra gyakorolt hatását a 14. ábrán követhetjük nyomon, ahol a fehérjetartalmat egyrészt a hántolási idő, másrészt a hántolási veszteség függvényében ábrázoltam.



14. ábra Cirokszemek fehérjetartalmának változása a hántolás hatására

A 14. ábrán látható, hogy a hántolás első fázisában jelentősen nő a fehérjetartalom, ami a rostban, ásványi anyagokban gazdag felső héjréteg eltávolításának köszönhető.

A maximális fehérjetartalomhoz tartozó hántolási idő, illetve tömegveszteség eltérő a fajtáknál. A legnagyobb fehérjetartalmú GK Jázmin éri el a legkésőbb ezt a csúcspontot, 20s-os hántolás, illetve 11% körüli tömegveszteség esetén. Hozzá hasonló görbét mutat még az Alföldi 1 és a Farmsugro 180, amelyeknél 20-30s, illetve 10-13% körüli hántolás után kezd el csökkenni a fehérjetartalom.

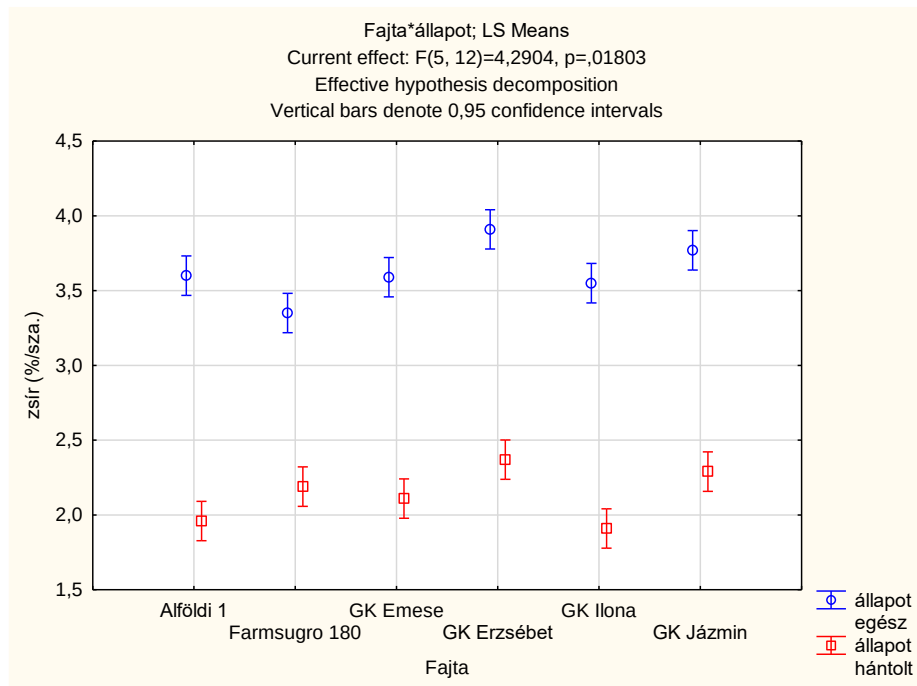
A csúcspont elérése utáni csökkenés mértékében is van különbség a fajták között. Legmeredekebb csökkenést a GK Ilona esetén láthatunk, legstabilabb fehérjetartalmi értéket a Farmsugro 180 fajta esetén tapasztaltam.

A fehérjetartalom csökkenés mértéke a hántolás utolsó szakaszában megnőtt a GK Jázmin, GK Erzsébet és GK Emese fajták esetében. E fajtáknál a 120s-os hántolás a fehérje veszteség miatt túlzott mértékűnek tűnik.

A cirok szemtermésének zsírtartalma kisebb, mint a kukoricáé és a zabé, de nagyobb, mint a rizsé, búzáé és az árpáé (Siklósiné, 2001).

A cirok szemtermésében a zsírtartalom és annak megoszlása az őrlési frakciókban a kukoricához hasonló, 3,2-4,0%-ig változik az irodalmi adatok alapján (Siklósiné, 1997). A teljes zsírtartalom 13%-a a magbelsőben, 76%-a a csírában és 11%-a a korpában található. A GK hibridek szemtermésének zsírtartalma 3,4-3,5%, ami a kísérletben mért eredményekhez hasonló.

A szárazanyagra vonatkoztatott zsírtartalom az egész szemű mintáknál 3,3-3,8% között mozog (15. ábra). A GK Erzsébet zsírtartalma a legmagasabb, míg a Farmsugro 180 hibridé a legalacsonyabb. A hántolás hatására a csíra egy része ledörzsölésre kerül, emiatt a zsírtartalom a csupasz mintáknál 2% körüli értékre csökkent. A Farmsugro 180 fajtánál a zsírtartalom csökkenésének mértéke valamivel kisebb volt, míg a GK Ilona fajtánál némileg nagyobb.

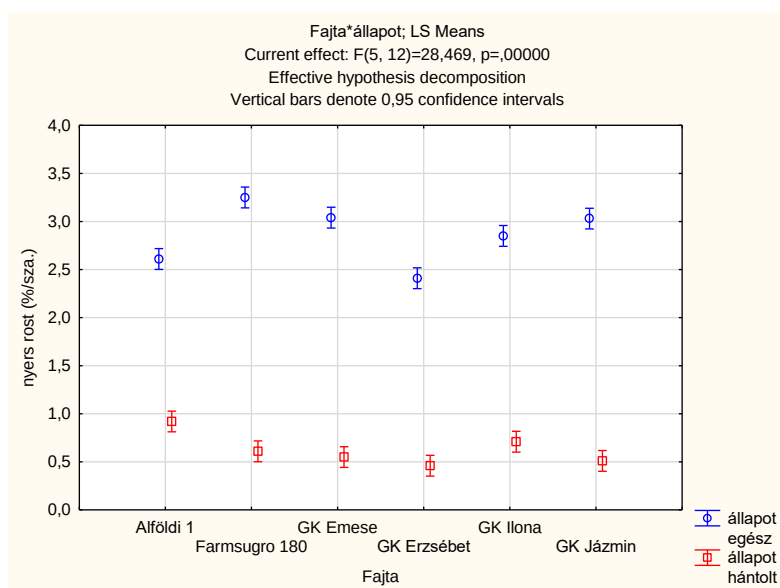


15. ábra Cirokminták zsírtartalma

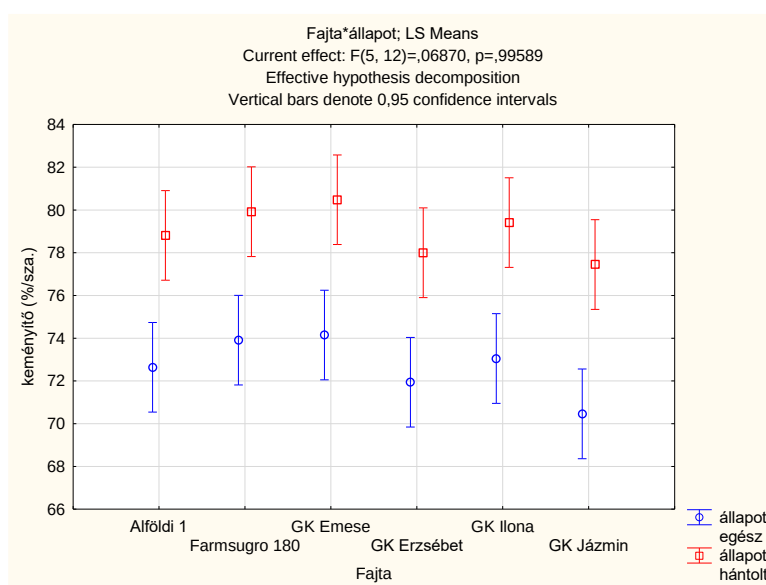
A cirok szemtermés rosttartalma kisebb, mint a pelyvaleveleket tartalmazó gabonaféléké, mivel azok már a csépléskor eltávolításra kerülnek (Siklósiné, 2001).

Az egész cirokminták nyersrost tartalma 2,5 és 3,3 % között változik (16. ábra). Legnagyobb értéket a Farmsugro 180, legkisebbet a GK Erzsébet esetén mértem. A héj lehántolásával a nyersrost tartalom jelentősen lecsökkent, hiszen köztudott, hogy a maghéj rosttartalma igen nagy. A hántolt minták közül legkevesebb rosttartalom a GK Erzsébet, legnagyobb az Alföldi 1 esetén lett.

A Gabonakutató szemescirok hibridjeinek keményítőtartalma 72-73%, amivel kellő energiaértéket biztosítanak (Siklósiné, 1997). Másik publikáció szerint 68-73% között változik a cirok szemtermésének keményítőtartalma (Siklósiné, 2001).



16. ábra Cirokminták nyersrost tartalma



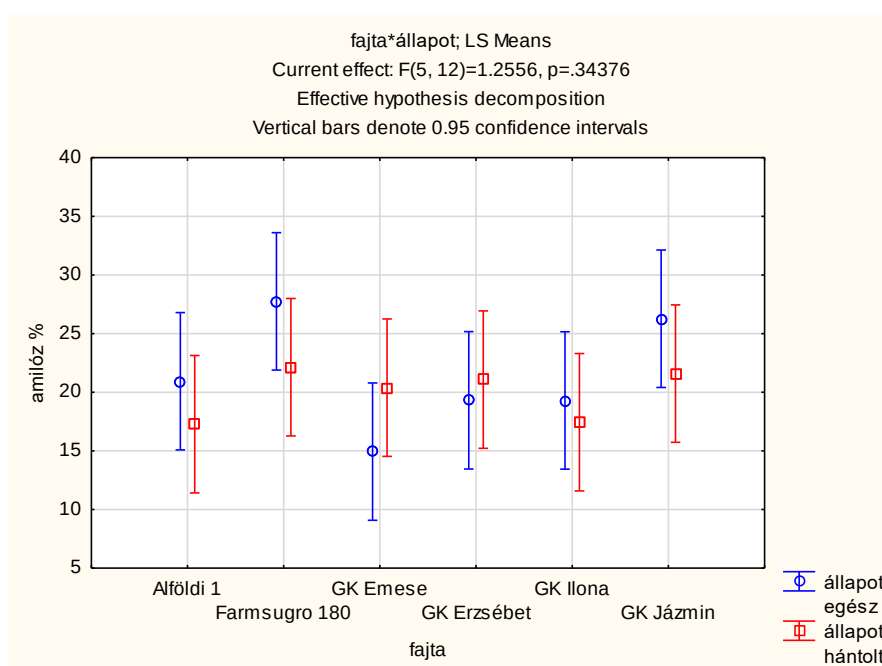
17. ábra Cirokminták keményítőtartalma

A cirokfajták keményítőtartalmában (17. ábra) markáns különbségeket nem mértem. 70,5 és 74% között mozogtak szárazanyagra vonatkoztatva, ami megegyezik az irodalomban közölt eredményekkel. Legkisebb értékkel a GK Jázmin, legnagyobb a GK Emese rendelkezett. A keményítőtartalom és a fehérjetartalom között fordított arányosság figyelhető meg. A hántolási folyamat következtében a keményítőtartalom növekedett, míg a zsírtartalom és a rosttartalom lecsökkent.

3.4 Amilóz-amilopektin arány és gélesedési tulajdonságok

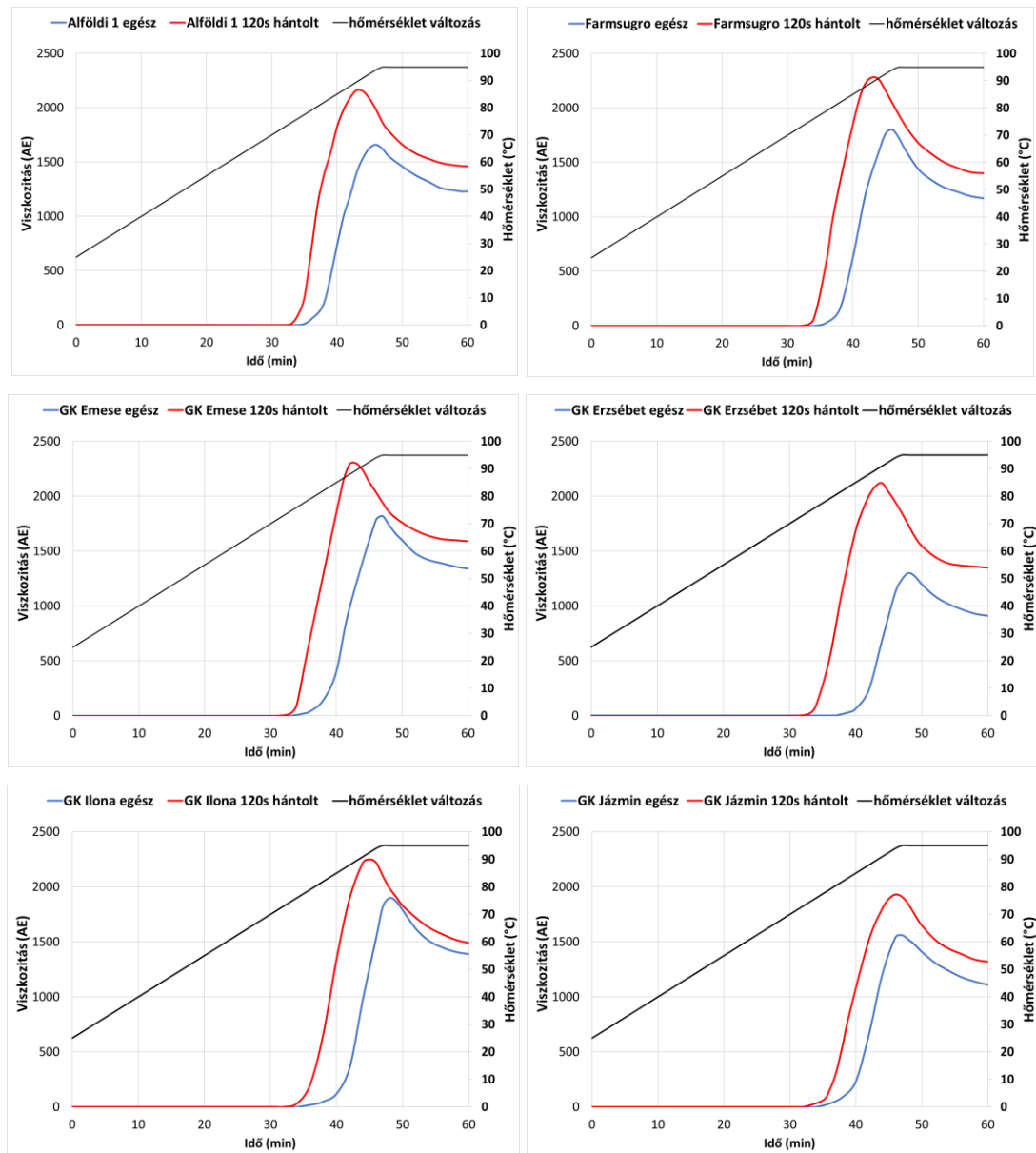
A cirok szemtermés keményítője 23-28%-ban tartalmaz amilózt és 72-77%-ban amilopektint (Siklósiné, 1997).

Az amilóz adatokból két tényezős variancia analízist végeztem statistica programmal (18. ábra). A párhuzamos vizsgálatok mérési eredményei között jelentős szórást tapasztaltam, ami a módszer pontatlanságából ered. Ezzel együtt a 18. ábrán látható, hogy a Farmsugro 180 és a GK Jázmin fajták amilóz aránya kiemelkedik a többi közül, az egész és hántolt minták esetén egyaránt. A hántolt mintáknál 3 fajta esetén (Alföldi 1, Farmsugro 180 és GK Jázmin) látszik csökkenés az amilóz arányban, de nem szignifikáns mértékű.



18. ábra Egész és 120s ideig hántolt cirokminták amilóz arányának variancia analízise

Az amilográfos gélesedési vizsgálat görbéi a 19. ábrán láthatók. Jól megfigyelhető, hogy a hántolt minták gélesedése alacsonyabb hőmérsékleten kezdődik és a maximális viszkozitáshoz tartozó hőmérséklet is alacsonyabb, mint az egész szemeknél.

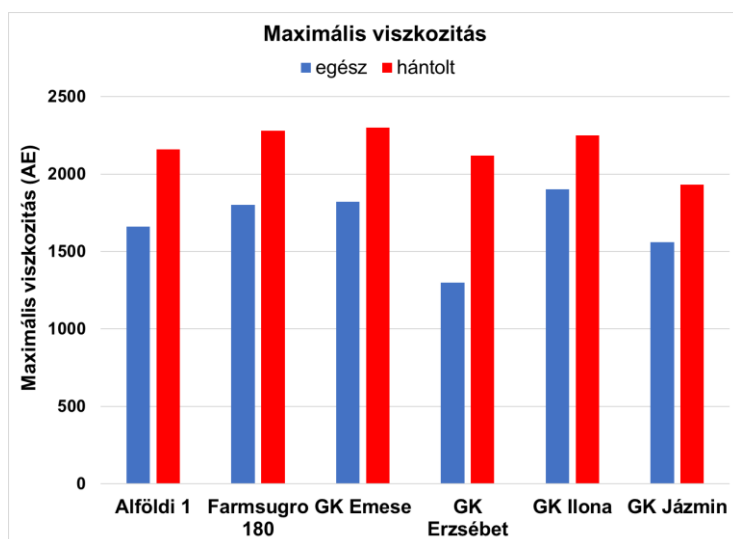


19. ábra Cirokminták amilográfus görbéi

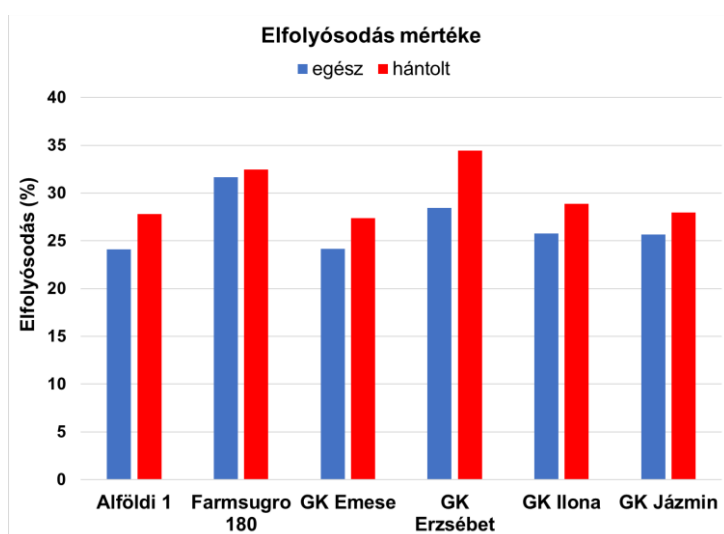
A fajták közti viszkozitás különbségeket a 20. ábra szemlélteti. Legkisebb viszkozitás értéket a GK Erzsébet fajta mutatott, ami viszont nem magyarázható sem az amilóz aránnyal, sem a keményítőtartalommal. A jelenség valószínűleg egyéb jellemzőkkel lehet összefüggésben, befolyásolhatja akár a keményítő zselatinálódását gátló anyagok jelenléte (pl. amiláz enzim). A gátló anyagok mennyisége valószínűleg a héj eltávolításával csökken. Ezzel magyarázható az is, hogy a hántolt minták nagyobb viszkozitást mutattak.

Fontos információt nyújt az amilogramokról leolvasható ún. elfolyósodás mértéke. Ez a maximális viszkozitás elérését követő 10. perc elteltével tapasztalt viszkozitás visszaesésének

százalékos mértéke (21. ábra). Legnagyobb mértékű viszkozitás csökkenést, azaz elfolyósodást az egész szemű mintáknál a Farmsugro 180, a hántolt mintáknál a GK Erzsébet esetén mértem.



20. ábra Egész és hántolt cirokminták amilográfos vizsgálatának maximális viszkozitás értékei



21. ábra Elfolyósodás mértéke az amilográfos vizsgálatnál

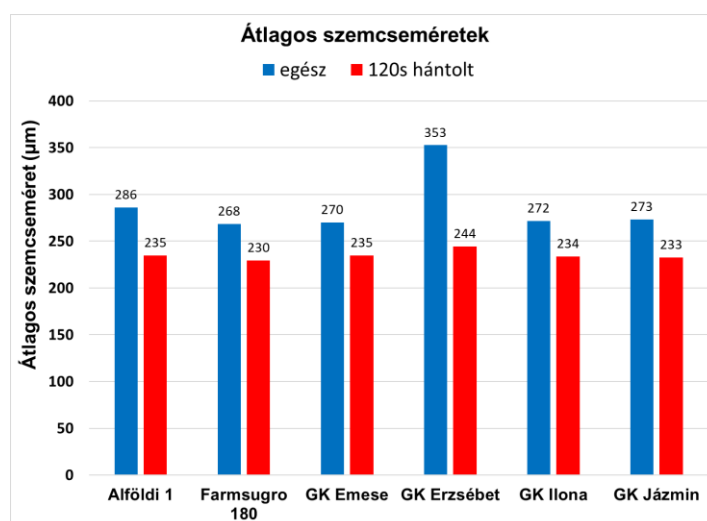
3.5 Szitaanalízis

A hántolatlan és különböző mértékben hántolt cirokminták hengerpáros aprítása során kapott őrlményekből szita analízist végeztünk. A szemcseméret frakciók mennyiségi arányából számított átlagos szemcseméreteket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat Hengerpáros aprítással kapott cirok őrlemények átlagos szemcsemérete

Fajta	Egész	10s hántolt	20s hántolt	30s hántolt	40s hántolt	60s hántolt	90s hántolt	120s hántolt
	hengeres apr. őrlemény átlagos szemcsemérete (μm)							
Alföldi 1	286	268	260	254	252	243	238	235
Farmsugro 180	268	257	254	248	248	231	232	230
GK Emese	270	266	254	254	255	244	240	235
GK Erzsébet	353	270	262	258	258	246	246	244
GK Ilona	272	265	257	249	247	244	237	234
GK Jázmin	273	262	254	250	249	249	240	233

A hántolatlan, egész szemek őrleményei közül a legnagyobb szemkeménységű GK Erzsébet rendelkezik a legnagyobb átlag-szemcsemérettel, legkisebb szemcsézetű pedig a Farmsugro 180. A 120s-os hántolás hatására a szemcseméretek minden fajtánál nagyjából azonos értékűre csökkentek (lásd 22. ábra). Egyedül a GK Erzsébet hántolt mintájának őrleménye lett egy kicsit nagyobb szemcseméretű a többihez képest.



22. ábra Hengerpáros aprítás során kapott őrlemények átlagos szemcseméretei

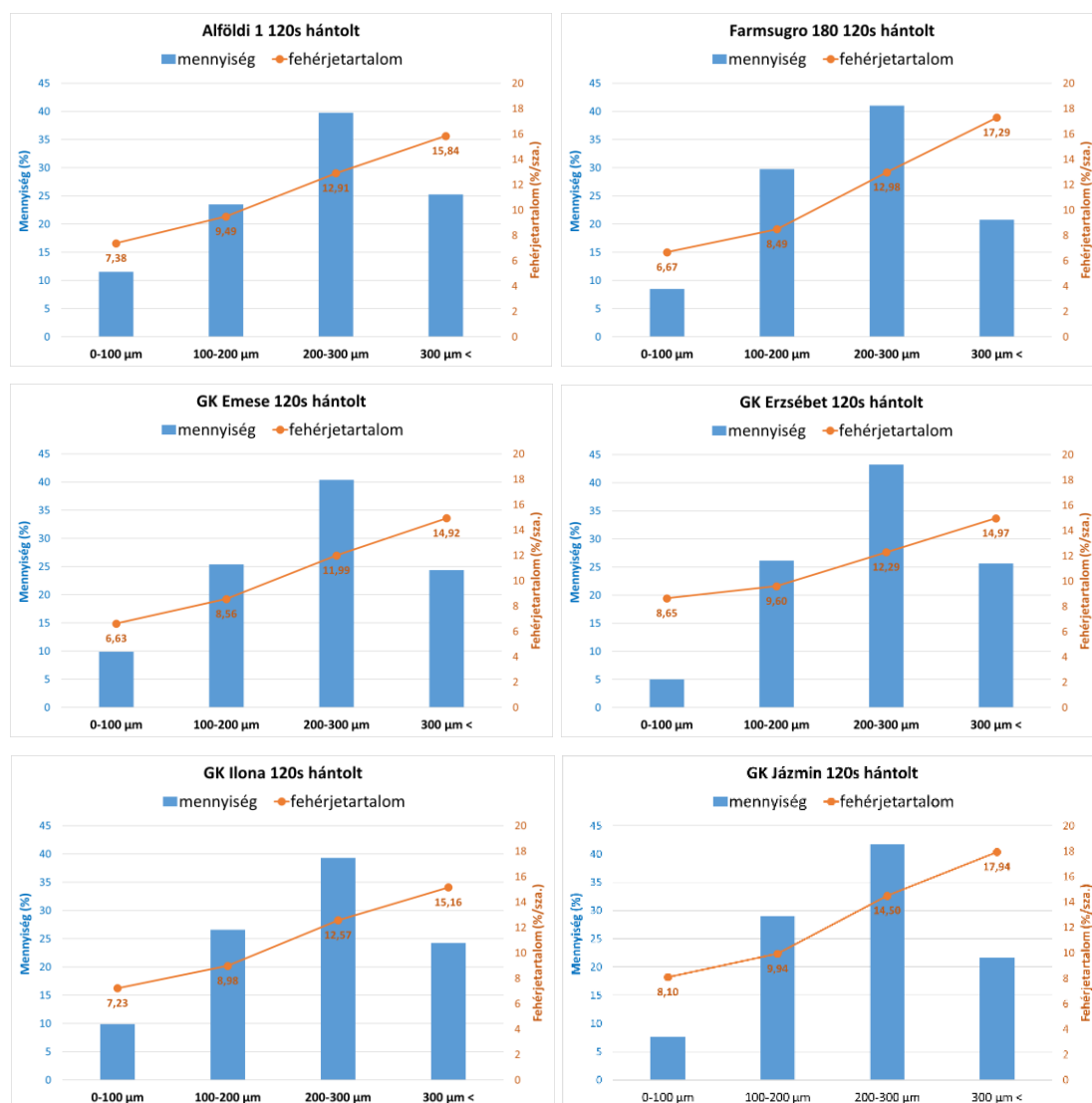
3.6 A különböző szemcseméretű frakciók fehérjetartalma

Megvizsgáltam a 120s ideig hántolt cirokmintákból hengerpáros aprítással kapott őrlemények különböző szemcseméretű frakcióinak fehérjetartalmát. A frakciók mennyiségét és fehérjetartalmát a 23. ábrán látható diagramok szemléltetik. A fehérje megoszlását az egyes frakciókban a 24. ábra diagramjai mutatják. Ez utóbbi ábrán a vörös és fehér cirokfajtákat sötétebb és világosabb színárnyalatokkal tettem szemléletesebbé.

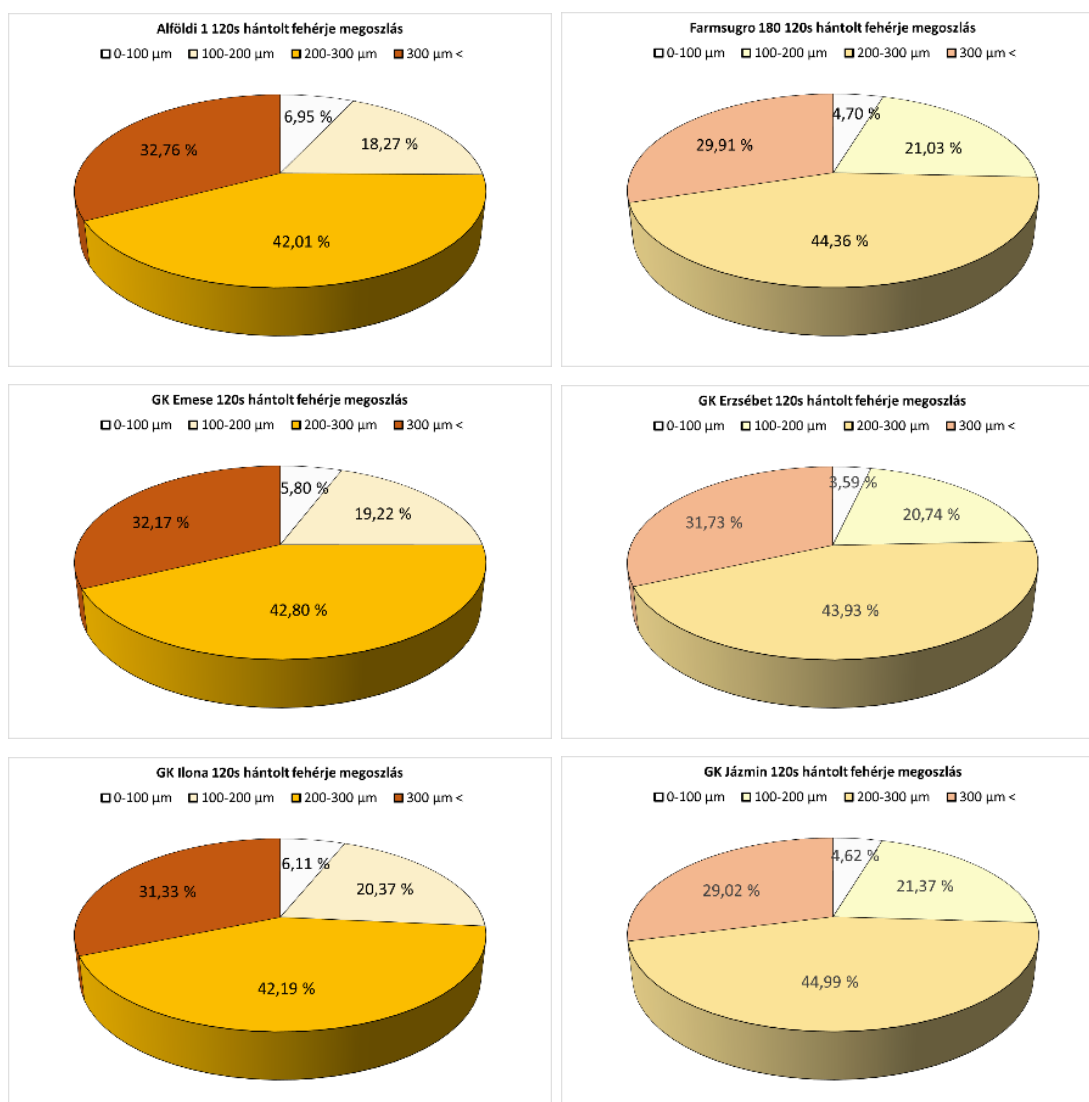
A cirokminták különböző szemcseméretű frakcióinak fehérjetartalmának vizsgálata alapján megállapítható, hogy a szemcseméret növekedésével a fehérjetartalom is egyértelműen növekszik. A 200 μm -nél nagyobb szemcseméretű frakciók (200–300 μm és 300 μm felett) a

legmagasabb fehérjetartalommal rendelkeznek, míg a kisebb szemcseméretek (0–100 μ m, 100–200 μ m) esetében ez az érték alacsonyabb. Ezen túlmenően a hántolt szemekben található fehérje körülbelül 75%-a a 200 μ m-nél nagyobb szemcseméretű frakciókba koncentrálódik.

A GK Erzsébet fajta eredményei ugyanakkor kisebb eltéréseket mutatnak a többi cirokfajtához képest. Az 0–100 μ m közötti legkisebb szemcseméretű frakció viszonylag magas fehérjetartalommal bír (8,65%), azonban a fehérje teljes hányadában való részesedése alacsony (3,59%). Ezzel szemben a 200–300 μ m-es frakcióban a fehérje hányada kiemelkedően magas (43,93%), ami tovább erősíti a nagyobb szemcseméretű frakciók dominanciáját ebben a mintában.



23. ábra 120s ideig hántolt, hengerpárral aprított cirokminták különböző szemcseméretű frakcióinak mennyisége és fehérjetartalma



**24. ábra A fehérjetartalom megoszlása a különböző szemcseméretű
őrleményfrakciókban**

4 ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban a hántolás műveletének hatásait vizsgáltam a cirok szemtermés külső és belső paramétereinek változásaira a cirok élelmiszeripari felhasználásban meghatározó lehetőségek kutatása céljából.

Kutatásom alatt hat különböző szemescirok fajtával dolgoztam, közülük három vörös színű (Alföldi 1, GK Emese, GK Ilona), illetve 3 fehér színű hibrid (Farmsugro 180, GK Erzsébet, GK Jázmin), amelyek a Gabonakutató Nonprofit Kft. portfóliójából származnak.

A hántolás növekvő idejű fokozatainál a cirok magminták színváltozásai jól megfigyelhetők voltak, a színárnyalatok a különböző héjrétegek pigment-tartalmától függően változtak. A 120s-os koptatás minden minta esetében a maghéj teljes eltávolítását eredményezte. A művelet a GK Erzsébetnél járt a legkisebb, 23%-os tömegveszteséggel, tehát ez a fajta alkalmas lehet hántolásra, míg a többi fajta körülbelül 30%-os tömegveszteséggel zárta a kísérletet. A hántolás szemtörésre gyakorolt hatását vizsgálva megállapítottam, hogy a szemtörés mértéke a hántolási idő növelésével nőtt, ezen belül a legkisebb mértékű szemtörés a GK Erzsébetnél tapasztalható.

A cirokfajták fizikai paramétereinek vizsgálata során a hántolt minták ezerszemtömeg csökkenése a GK Erzsébet esetében volt a legkisebb. A szemkeménységi indexek nem mutattak jelentős változást a hántolás hatására, mindazonáltal a GK Erzsébet bizonyult a legkeményebb szemű fajtának. Ezen tulajdonságok is alátámasztják, hogy a GK Erzsébet hántolásra alkalmas cirokfajta. Megfigyeltem, hogy a maghéj fokozatos eltávolításával a mag színe egyre világosabbá vált, az L^* érték fokozatosan növekedett. A fajták közül a GK Erzsébet emelkedett ki a mag világos színét jelölő legnagyobb L^* értékével. A színek piros árnyalatát jelző a^* értékek a hántolás során csökkentek.

A minőségi mutatók közül a hamutartalom a hántolás hatására csökkent, a kezdeti 1,2-1,4%-os értékről 0,8-0,9%-ra. A szárazanyagra vonatkoztatott fehérjetartalom átlagosan 11,2-13,7 % között mozgott. A GK Jázmin a legmagasabb, míg a GK Emese a legalacsonyabb fehérjeértékkel rendelkezik, de jelentős különbségeket találtam az egyes fajták fehérjetartalmában. A maximális fehérjetartalomhoz tartozó hántolási idő és tömegveszteség fajtaspecifikus. A GK Jázmin érte el a csúcspontot a legkésőbb (20s hántolás, ~11% tömegveszteség), míg az Alföldi 1 és Farmsugro 180 hasonlóan viselkedett. A fehérjetartalom csökkenése a csúcspont után a GK Ilonánál volt a legmeredekebb, míg a Farmsugro 180 mutatta a legstabilabb értékeket. A hántolás végén a fehérjeveszteség jelentősen megnőtt a GK Jázmin, GK Erzsébet és GK Emese esetében, így a 120s-os hántolás ezeknél túlzásnak bizonyult. A

hántolás következtében a zsírtartalom kevésbé, míg a nyersrost tartalom jelentősen lecsökkent, és ez utóbbi a GK Erzsébet esetében volt a legalacsonyabb. A nyersrost tartalom csökkenésének magyarázata, hogy azt főként az eltávolított maghéj tartalmazza. A cirokfajtáknál mért keményítőtartalom az irodalmi adatok szerint alakult (70,5-74%). Fordított összefüggés figyelhető meg a keményítőtartalom és a fehérjetartalom között. A szemtermés keményítőtartalma a hántolás során nőtt, mivel az endospermiumban található a keményítő nagy része.

A cirok szemtermés keményítőjének amilóz-amilopektin aránya az irodalmi adatoknak megfelelő volt a vizsgált fajtáknál. A Farmsugro 180 (32%-os) és a GK Jázmin (28%-os) amilóz értékei emelkedtek ki. A hántolt mintákban három fajtánál (Alföldi 1, Farmsugro 180, GK Jázmin) csökkenést figyeltem meg, de nem szignifikáns mértékben. Az amilográfos vizsgálat alapján a hántolást követően a minták gélesedése alacsonyabb hőmérsékleten kezdődött és a maximális viszkozitásuk is alacsonyabb volt az egész szemekhez viszonyítva. A GK Erzsébet fajta mutatta a legkisebb viszkozitást, amely valószínűleg a keményítő zselatinálódását gátló anyagok jelenlétével magyarázható. Az elfolyósodás mértékében szintén a GK Erzsébet tűnt ki a legnagyobb értékkel a hántolt minták esetében.

A különböző szemcseméretű frakciók fehérjetartalmának vizsgálati eredményei alapján a cirokörlemények fehérjetartalma a szemcseméret növekedésével arányosan nő. A hántolt szemek fehérjéjének körülbelül 75%-a a 200 μ m-nél nagyobb szemcseméretű frakciókban koncentrálódik. A GK Erzsébet fajta kiemelkedik a többi minta közül: a legkisebb szemcseméretű frakciójának viszonylag magas a fehérjetartalma, miközben a 200–300 μ m-es frakcióban kiemelkedően magas fehérjehányadot mutat.

A szemescirok szemtermésének fizikai és kémiai összetétele a fajták genotípusától függően különböző. A beltartalmi mutatók elemzése során látható, hogy összességében hasonló paraméterekkel jellemezhetők az egyes fajták, azonban közöttük kisebb eltérések tapasztalhatók. Különösen figyelemre méltó a GK Erzsébet, amelynek egyedi tulajdonságai a kutatásom fő eredményét képezik. E fajta különböző aspektusainak mélyebb megértése érdekében további vizsgálatok indokoltak. Nem találtam olyan jellegzetességet a vizsgált paraméterekben és azok változásaiban, amelyek kimondottan csak a fehér, vagy csak a vörös szemű fajtákra lenne jellemző. Kutatási eredményeim hozzájárulnak a hántolás cirokmagra gyakorolt hatásainak alaposabb feltárásához, amelyek kulcsfontosságú információval szolgálhatnak a cirok malmi feldolgozási technológiájával és felhasználási lehetőségeivel kapcsolatban.

IRODALOMJEGYZÉK

- Anglani C. (1998): Sorghum for human food—a review, *Plant Foods for Human Nutrition*, 52, 85-95.
- Arshad H., Ali T. M., Hasnain A. (2020): Comparative study on efficiency of nutmeg microencapsulation (freeze-drying method) using native and OSA sorghum starch as wall materials in combination with gum arabic, *Cereal Chemistry*, 97(3), 589-600.
- Atteh J. O. (2002): Principles and practice of livestock feed manufacturing. Adlek Printers, Ilorin, Nigeria, 10-30.
- Axtell J. D., Kirleis A. W., Hassen M. M., D'Croz Mason N. A., Mertz E. T., Munck L. (1981): Digestibility of sorghum proteins, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 78(3), 1333-1335.
- Berényi B., Szabó L. (2001): Növénytermesztés trópusokon-szubtrópusokon, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest 38-44.
- Barros F., Awika J. M., Rooney L. W. (2012): Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility, *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(46), 11609-11617.
- Batog J., Frankowski J., Wawro A., Łacka A. (2020): Bioethanol production from biomass of selected sorghum varieties cultivated as main and second crop, *Energies*, 13(23), 6291.
- Chávez D., Ascheri J., Martins A., Carvalho C., Bernardo C., Teles A. (2018): Sorgo, un cereal alternativo para productos sin gluten, *Revista chilena de nutrición*, 45(2), 169-177.
- Dadnia M. R., Mojaddam M., Ayaran A. (2018): Role of copper on physiological parameters and salt tolerance in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Cultivars, *Journal of Crop Nutrition Science*, 4(1), 47-59.
- Delcour J., Hoseney R. C. (2010): Principles of Cereal Science and Technology, 3rd ed.
- Desikachar H. S. R. (1981): Pearling and milling studies on sorghum, In *Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Auality*, ICRISAT, Patancheru, India 194-199.
- Doggett H. (1965): The development of the cultivated sorghums, *Essays on crop plant evolution*, 50-69.
- Duodu K. G., Taylor J. R. N., Belton P. S., Hamaker B. R. (2003): Factors affecting sorghum protein digestibility, *Journal of cereal science*, 38(2), 117-131.
- Dykes L., Rooney L. W. (2006): Sorghum and millet phenols and antioxidants, *Journal of cereal science*, 44(3), 236-251.
- Englyst H., Wiggins H. S., Cummings J. H. (1982): Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates, *Analyst*, 107(1272), 307-318.
- Etuk E. B., Ifeduba A. V., Okata U. E., Chiaka I., Okoli I. C., Okeudo N. J., Esonu B. O., Udedibie A. B. I., Moreki J. C. (2012): Nutrient composition and feeding value of sorghum for livestock and poultry: a review. *J. Anim. Sci. Adv*, 2(6), 510-524.
- Frankowski J., Wawro A., Batog J., Szambelan K., Łacka A. (2022): Bioethanol production efficiency from sorghum waste biomass, *Energies*, 15(9), 3132.
- Gashe B. A. (1985): Involvement of lactic acid bacteria in the fermentation of TEF (*Eragrostis tef*), an Ethiopian Fermented Food, *Journal of food science*, 50(3), 800-801.
- Gómez-Martínez R., Culham A. (2000): Phylogeny of the subfamily Panicoideae with emphasis on the tribe Paniceae: evidence from the trnL-F cpDNA region. *Grasses: systematics and evolution*, 136-140.

- Goyal M., Sohu R. S., Bhardwaj R., Gill B. S., Goyal M. (2020): Genetic variance and predicted response for three types of recurrent selection procedures in forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], *Range Management and Agroforestry*, 41(1), 43-51.
- Guindo D., Davrieux F., Teme N., Vaksman M., Doumbia M., Flidel G., Bastianelli D., Verdel J.L., Mestres C., Kouressy M., Courtois B. (2016): Pericarp thickness of sorghum whole grain is accurately predicted by NIRS and can affect the prediction of other grain quality parameters, *Journal of Cereal Science*, 218-27.
- Hamaker B. R., Mohamed A. A., Habben J. E., Huang C. P., Larkins B. A. (1995): Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method, *Cereal chemistry*, 72.
- Hancock J. D. (2000): *Forages and fodder. Sorghum-origin, history, technology and production*, Wiley, New York, 731-749.
- Hassan I. A., El Tinay A. H. (1995): Effect of fermentation on tannin content and in-vitro protein and starch digestibilities of two sorghum cultivars, *Food chemistry*, 53(2), 149-151.
- Ibyatov R., Dmitriev A., Ziganshin B., Khaliullin D., Zinnatullina A. (2020): Mathematical modeling of the grain trajectory in the workspace of the sheller with rotating decks, *BIO Web of Conferences*, Vol. 17, 93.
- IFPRI (1983): *Research perspective: Demand consideration ratio for policies affecting traditional food grain production in semi-arid West Africa*, IFPRI Report 5 (1) and 4. International Food Policy Research Institute, Washington DC
- Izquierdo L., Godwin I. D. (2005): Molecular characterization of a novel methionine-rich δ -kafirin seed storage protein gene in sorghum (*Sorghum bicolor* L.), *Cereal Chemistry*, 82(6), 706-710.
- Jordan K. E., Goodband R. D., Woodworth J. C., Tokach M. D., Dritz S. S., DeRouchey J. M. (2015): Effects of Increasing Crystalline Amino Acids in Sorghum-or Corn-based Diets on Finishing Pig Growth Performance and Carcass Composition, *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 1(7), 12.
- Kandrokov R. H., Ryndin A. A., Kusova I. U., Khmeleva E. V. (2022): The Effect of Abrasive Peeling of Wheat-Triticale Grinding Grain Mixture 46nt he Yield of Intermediate Grinding Products and Flour, *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 41(3), 32717-32721.
- Kazanas N., Fields M. L. (1981): Nutritional improvement of sorghum by fermentation, *Journal of Food Science*, 46(3), 819-821.
- Khan I., Yousif A., Johnson S. K., Gamlath S. (2013): Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta, *Food Research International*, 54(1), 578-586.
- Khoddami A., Messina V., Vadabali V. K., Farahnaky A., Blanchard C. L., Roberts T. H. (2021): Sorghum in foods: Functionality and potential in innovative products, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(9), 1170–1186.
- Koháry E. (szerk.) (2003): *Eleven örökség Kenyér- és Kásanövények a Kárpátmedencében*, AGROINFORM Kiadó és Nyomda Kft., Budapest 59.
- Kolozsvári I., Kun Á., Jancsó M., Palágyi A., Bozán C., Gyuricza C. (2022): Agronomic performance of grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivars under intensive fish farm effluent irrigation, *Agronomy*, 12(5), 1185.
- Latković D., Marinković B., Crnobarac J., Jaćimović G., Berenji J., Sikora V. (2015): Gajenje alternativnih njivskih biljaka, *Univerzitet u Novom Sadu*, Novi Sad 97-113.
- Léder F., Monda S. (1987): A köles és a cirok élelmi célú felhasználási lehetősége, *Élelmészeti Ipar*, XLI. Évf., 3. szám

- Lemlioglu-Austin D., Turner N. D., McDonough C. M., Rooney L. W. (2012): Effects of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] crude extracts on starch digestibility, estimated glycemic index (EGI), and resistant starch (RS) contents of porridges. *Molecules*, 17(9), 11124-11138.
- Lim T. K. (2012): *Edible medicinal and non-medicinal plants* Dordrecht, The Netherlands: Springer, 285-292.
- Liu R., Xu G. (2008): Effects of resistant starch on colonic preneoplastic aberrant crypt foci in rats, *Food and chemical toxicology*, 46(8), 2672-2679.
- Liu S. Y., Fox G., Khoddami A., Neilson K. A., Truong H. H., Moss A. F., Selle, P. H. (2015): Grain sorghum: a conundrum for chicken-meat production, *Agriculture*, 5(4), 1224-1251.
- Lubadde G., Ebiyau J., Aru J. C., Andiku C., Wandulu J. A., Ugen M. A. (2019): *Sorghum production handbook for Uganda*
- Mace E. S., Cruickshank A. W., Tao Y., Hunt C. H., Jordan D. R. (2021): A global resource for exploring and exploiting genetic variation in sorghum crop wild relatives, *Crop Science*, 61(1), 150-162.
- MacLean W. C., de Romaña G. L., Gastañaduy A., Graham G. G. (1983): The effect of decortication and extrusion on the digestibility of sorghum by preschool children, *The Journal of nutrition*, 113(10), 2071-2077.
- Marfo E. K., Simpson B. K., Idowu J. S., Oke O. L. (1990): Effect of local food processing on phytate levels in cassava, cocoyam, yam, maize, sorghum, rice, cowpea, and soybean, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(7), 1580-1585.
- Maunder B. (2002): *Sorghum-The global grain of the future*, Retrieved November, 30, 2004.
- Mehboob S., Ali T. M., Sheikh M., Hasnain A. (2020): Effects of cross linking and/or acetylation on sorghum starch and film characteristics, *International journal of biological macromolecules*, 155, 786-794.
- Muriu J. I., Njoka-Njiru E. N., Tuitoek J. K., Nanua J. N. (2002): Evaluation of sorghum (*Sorghum bicolor*) as replacent for maize in the diet of growing rabbits (*Oryctolagus cuniculus*), *Asian-australasian journal of animal sciences*, 15(4), 565-569.
- Nawar I. A., Clark H. E., Pickett R. C., Hegsted D. M. (1970): Protein quality of selected lines of *Sorghum Vulgare* for the growing rat, 75-81.
- Palágyi A. (2022): *Círokfélék*. In: Izsáki Zoltán – Kruppa József (szerk.): *Szántóföldi növények vetőmagtermesztése 2.*, MATE, 181-203.
- Purseglove, J. W. (1972): *Tropical crops – Monocotyledons*, Longman Group Ltd., UK, 261-286.
- Price M. L., Butler L. G. (1977): Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum grain, *Journal of Agricultural and food chemistry*, 25(6), 1268-1273.
- Proietti I., Frazzoli C., Mantovani A. (2015): Exploiting nutritional value of staple foods in the world's semi-arid areas: Risks, benefits, challenges and opportunities of sorghum, In *Healthcare*, Vol. 3, No. 2, 172-193.
- Rajki E. S., Radics L. (2001): *Alternatív növények termesztése I.*
- Ratnavathi C. V., Patil J. V. (2014): Sorghum utilization as food, *Journal of Nutrition & Food Sciences* 4 (1):1–8.
- Reichert R. D., Oomah B. D., Youngs, C. G. (1985): Measurement of grain hardness and dehulling quality with a multisample, tangential abrasive dehulling device (TADD)
- Ronda V., Aruna C., Visarada K. B. R. S., Bhat B. V. (2019): Sorghum for animal feed. In *Breeding Sorghum for diverse end uses*, Woodhead Publishing, 229-238.
- Rooney L. W. (2003): Demand-driven sorghum and millet utilization: Failures, successes and lessons learned, *Alternative Uses of Sorghum and Pearl Millet in Asia*, 113-127.

- Rooney L. W., Miller F. R., Mertin J. V. (1981): Variation in the structure and kernel characteristics of sorghum, In Proceedings of the international symposium on sorghum grain quality 143-162.
- Rooney L. W., Rooney W. L., Serna Saldivar S. O. (2016): Sorghum, Reference Module in Food Science, doi:10.1016/b978-0-08-100596-5.02986-3
- Sang Y., Bean S., Seib P. A., Pedersen J., Shi Y. C. (2008): Structure and functional properties of sorghum starches differing in amylose content, Journal of agricultural and food chemistry, 56(15), 6680-6685.
- Sedghi M., Golian A., Soleimani-Roodi P., Ahmadi A., Aami-Azghadi M. (2012): Relationship between color and tannin content in sorghum grain: application of image analysis and artificial neural network, Brazilian Journal of Poultry Science, 14, 57-62.
- Shen R. L., Zhang W. L., Dong J. L., Ren G. X., Chen M. (2015): Sorghum resistant starch reduces adiposity in high-fat diet-induced overweight and obese rats via mechanisms involving adipokines and intestinal flora, Food and Agricultural Immunology, 26(1), 120-130.
- Shoup F. K., Deyoe C. W., Farrell E. P., Hammond D. L., Miller G. D. (1970): Sorghum grain dry milling, Food technology
- Shull J. M., Watterson J. J., Kirleis A. W. (1992): Purification and immunocytochemical localization of kafirins in Sorghum bicolor (L. Moench) endosperm, Protoplasma, 171, 64-74.
- Siklósiné R. E., Chrappán Gy., Fazekas, M., Lazányi, J. (1997): Amit a cirok-és madáreleségfélékről tudni kell, Agroinform Kiadó, Budapest, 9-41.
- Soto-Vaca A., Gutierrez A., Losso J. N., Xu Z., Finley J. W. (2012): Evolution of phenolic compounds from color and flavor problems to health benefits, Journal of agricultural and food chemistry, 60(27), 6658-6677.
- Spangler R., Zaitchik B., Russo E., Kellogg E. (1999): Andropogoneae evolution and generic limits in Sorghum (*Poaceae*) using ndhF sequences, Systematic Botany, 267-281.
- Taylor J. R. N. (2003): Overview: Importance of sorghum in Africa. In Afripro: workshop 48nt he proteins of sorghum and millets: enhancing nutritional and functional properties for Africa, Pretoria, 1-21.
- USDA Foreign Agricultural Service. (2021): World agricultural production, doi: 10.32317/2221-1055.201907059.
- Xie X. J., Seib P. A. (2000): Laboratory procedure to wet-mill 100 g of grain sorghum into six fractions. Cereal Chemistry, 77(3), 392-395.
- Wagaw K. (2019): Review on mechanisms of drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) basis and breeding methods, Academic Research Journal of Agricultural Science and Research, 7(2), 87-99.
- Waniska R. D., Rooney L. W. (2000): Structure and chemistry of the sorghum caryopsis, Sorghum: Origin, history, technology, and production, 2, 649-679.
- Weinecke L. A., Montgomery R. R. (1965): Experimental units now suitable for scale-up to mill size production, Amer, Miller, 93(8).
- Willis H. J., Eldridge A. L., Beiseigel J., Thomas W., Slavin J. L. (2009): Greater satiety response with resistant starch and corn bran in human subjects, Nutrition research, 29(2), 100-105.
- Wu Y., Li X., Xiang W., Zhu C., Lin Z., Wu Y., Yu J. (2012): Presence of tannins in sorghum grains is conditioned by different natural alleles of Tannin, Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(26), 10281-10286.
- Yue P., Waring S. (1998): Resistant starch in food applications, Cereal Foods World, 43(9), 690-695.