



Szent István Egyetem

**Bio alakor sör előállítása és egészségvédő
komponenseinek vizsgálata**

Fogarasi Attila Levente

Budapest

2018.

A doktori iskola

- Megnevezése:** Élelmiszertudományi Doktori Iskola
- Tudományága:** Élelmiszertudományok
- Vezetője:** **Dr. Vatai Gyula** egyetemi tanár
Szent István Egyetem,
Élelmiszertudományi Kar,
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék
- Témavezető:** **Hegyesné Dr. Vecseri Beáta**
egyetemi docens
Szent István Egyetem,
Élelmiszertudományi Kar,
Sör- és Szeszipari Tanszék

A doktori iskola- és a témavezető jóváhagyó aláírása:

A jelölt a Szent István Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, azért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1	Bevezetés.....	7
2	Irodalmi áttekintés.....	9
2.1	A biogazdálkodás alapelvei.....	9
2.2	Egészségügyi körkép.....	9
2.2.1	A sör egészségre gyakorolt hatása.....	10
2.3	Nemzetgazdasági elemzés - A sörfogyasztás alakulása Magyarországon.....	13
2.4	Egészségvédő hatású komponensek.....	14
2.4.1	Szabadgyökök és antioxidánsok.....	14
2.4.2	A legelterjedtebben alkalmazott antioxidáns kapacitást mérő módszerek elvei, előnyei és hátrányai.....	16
2.4.3	Az antioxidáns mérések eredményét nagymértékben befolyásoló tényezők.....	21
2.4.4	Ásványi anyagok.....	23
2.4.5	Vitaminok.....	24
2.5	A sörgyártás alap- és pótanyagai, mint az egészségvédő komponensek forrásai.....	25
2.5.1	A sörfőző víz.....	25
2.5.2	A sörárpa (<i>Hordeum vulgare</i>).....	26
2.5.3	Az alakor (<i>Triticum monococcum</i> L.) rendszertani besorolása, felépítése és jellemzése.....	26
2.5.4	Az alakor (<i>Triticum monococcum</i> L.) és a közönséges búza (<i>Triticum aestivum</i>) fizikai és kémiai tulajdonságainak összehasonlítása.....	28
2.5.5	A komló.....	29
2.5.5.1	A komló, mint antioxidáns forrás.....	31
2.6	A malátázás és a sörkészítés technológiája és a technológia hatása az egészségvédő hatású komponensek alakulására.....	33
2.6.1	A malátázás technológiája.....	33
2.6.1.1	A búzamaláta sajátosságai.....	36
2.6.1.2	A maláta, mint ásványi anyag forrás.....	37
2.6.1.3	A maláta, mint antioxidáns forrás.....	37
2.6.1.4	Fenolos anyagok a malátában.....	39
2.6.1.5	A maláta, mint vitamin forrás.....	39
2.6.2	A sörkészítés technológiája.....	40
2.6.2.1	A sörgyártási technológia hatása a sör ásványi anyag tartalomra.....	42
2.6.2.2	Antioxidánsok a sörgyártás folyamán.....	43

2.6.2.3	A fermentáció hatása a gabonafélék antioxidáns tartalmára.....	44
2.6.2.4	A sörkészítés hatása a vitamin tartalomra.....	48
3	Célkitűzések	49
4	Anyagok és módszerek.....	50
4.1	Anyagok.....	50
4.1.1	Gabonák és maláták.....	50
4.1.2	Enzimek.....	51
4.1.3	Élesztő	51
4.1.4	Felhasznált vegyszerek, reagensek.....	52
4.1.5	A vizsgálatokhoz használt kereskedelmi sörminták.....	52
4.2	Berendezések	53
4.2.1	Mikromalátázó berendezés.....	53
4.2.2	Félüzemi kísérleti sörfőzde.....	54
4.2.3	Laboratóriumi cefréző	54
4.3	Módszerek.....	54
4.3.1	Alakor búza vizsgálata.....	55
4.3.2	Laboratóriumi sörlé előállítás.....	57
4.3.3	Félüzemi sör előállítás	57
4.3.4	Analitikai módszerek.....	57
4.3.4.1	Antioxidáns kivonatolási módszer.....	58
4.3.4.2	Antioxidáns kapacitás és összpolicfenol-tartalom meghatározás.....	59
4.3.4.3	Ásványi anyag tartalom meghatározása ICP-AES technika alkalmazásával ...	60
4.3.4.4	Víz- és zsírolható vitaminok meghatározása HPLC módszerrel UV-PDA detektor segítségével.....	61
4.4	Statisztikai elemzések	62
4.4.1	Statisztikai felületeoptimalizálás válaszfelület módszer (Response Surface Methodology, RSM) segítségével felállított malátázási optimalizációs modellek	63
5	Eredmények.....	64
5.1	Az alakor, mint lehetséges söripari alapanyag feltérképezése. Malátakészítés optimalizálása.....	64
5.1.1	Az alakor minősítése	64
5.1.2	Az alakor malátázási eljárásának kidolgozása.....	68
5.1.2.1	A malátázás optimalizálása.....	68
5.1.3	Különböző növényi anyagok antioxidáns tartalma	75

5.2 Sörlé és sör előállítása malátázott és malátázatlan alakorból	79
5.2.1 Laboratóriumi cefrézési kísérletek	79
5.2.2 Sörfőzés félüzemi körülmények között	81
5.2.2.1 Az antioxidáns kapacitás változásának nyomon követése a sörfőzés során	82
5.3 Potenciális egészségvédő hatású komponensek vizsgálata.....	85
5.3.1 Antioxidáns tartalom különböző sörökben.....	85
5.3.2 Ásványi anyag tartalom	87
5.3.3 Vitamin tartalom különböző sörökben	90
6 Új tudományos eredmények	93
7 Összefoglalás	96
8 Summary.....	101
Irodalomjegyzék	105
Mellékletek	113
M1. Az alakor malátázási paramétereinek optimalizálása statisztikai módszerrel; grafikai és algebrai értelmezése (a szöveges magyarázat az 5.1.2-es fejezetben található)	113
Köszönetnyilvánítás	130

FONTOSABB RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

1,1-difenil-2-pikrilhidrazil	DPPH
1,1-difenil-2-pikrilhidrazil	DPPH
2,2'-azo-bis(2-amidinopropán)-dihidroklorid	AAPH
2,2'-azinodi-(3-etilbenzotiazolin)-6-szulfoninsav	ABTS
2,2'-azobis-2-amidinopropán	ABAP
2,4,6-Tripyridyl-s-Triazine	TPTZ
6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilkromán-2-karboxil sav	Trolox
Csírázási energia meghatározására szolgáló módszer	BRF
European Brewing Convention	EBC
Ferric Reducing Ability of Plasma	FRAP
Inductively coupled plasma	ICP
Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission	MEBAK
Oxygen Radical Absorbance Capacity	ORAC
Principle Component Analysis – Főkomponens analízis	PCA
Szabad α -amino-nitrogén	SZAN
Total Polyphenol Content	TPC
Total Reactive Antioxidant Potential	TRAP
Trolox Equivalent – Trolox Ekvivalens	TE
Trolox Equivalent Antioxidant Capacity	TEAC

1 BEVEZETÉS

A sör az emberiség egyik legrégebbi itala. Népszerűségét leginkább annak köszönheti, hogy tiszta, egészséges, értékes komponenseket tartalmaz, és rengeteg fajtája létezik. A tisztaságot a természetes összetevők garantálják, mint a komló, a maláta, az élesztő és a víz.

Mértékletes fogyasztás mellett a sör egészséges ital, vitaminokban és ásványi anyagokban gazdag. A sörben főként B-vitaminok találhatóak, mint a B2 vitamin (riboflavin), a nikotinsavamid, a B6-vitamin, a pantoténsav, a folsav és a B12 vitamin. Ásványi anyag tartalmánál fogva a sör fogyasztása hozzájárul a szervezet ásványi anyag pótlásához. A vitaminok mellett a sör jelentős mennyiségű antioxidánst is tartalmaz. Ide sorolhatók a fenolsavak, a melanoidinek, a xantohumol, a humulonok és lupulonok, a ferulasav, az egyes maláta és élesztő eredetű vitaminok, valamint a komló bioaktív polifenoljai.

Érdekes tényként mondható, hogy 1 liter sör kevesebb szénhidrátot és kalóriát tartalmaz, mint ugyanekkora mennyiségű almalé. Mindemellett nem adnak hozzá tartósítószereket, a benne levő szerves- és szervesetlen savak miatt közepes savtartalmú élelmiszernek mondható. Általában az alkohol-víz aránya fiziológiailag előnyös arányban van jelen.

A mai modern világban, amikor egyre több mesterséges anyagot használunk fel életünk minden területén – így az élelmiszeriparban is – előtérbe kerültek az ökológiai gazdálkodásból származó bioélelmiszerek, melyek vegyszermentesek és elősegítik egészségünk megőrzését. A fogyasztók elvárják ezektől a termékektől, hogy magasabb tápértékkel rendelkezzenek, vagy egyszerűen csak biztonságosabbak, a fogyasztókra nézve kevésbé veszélyesek legyenek. A bio és az ún. „low input” (alacsony ráfordítású, de jobb minőséget képviselő élelmiszerek) termékek előállítása mind az élelmiszerminőség és –biztonság, mind az emberek és állatok egészsége szempontjából alapvetően fontos. Ismereteinknek köszönhetően a már korábban használt termények döntő szerepet töltenek be a „funkcionális bioélelmiszerek” előállításában. A legfontosabb élelmiszerek, mint például a gabonák tápanyagtartalma lényegében a metabolikus összetételüktől függ. Azonban amíg a hozamot és az ellenálló képességet sokan tanulmányozták már, addig a minőségi jellemzőket alig vizsgálták. Az utóbbi tíz évben egyre több figyelmet szentelnek a fitonutrienseknek, melyeknek szignifikáns szerepük van az öregedéssel járó és krónikus megbetegedések kivédésében. Az élelmiszerekben jelen lévő nagyszámú antioxidáns közül mind a víz-, mind a lipidoldékony anyagok játszanak fontos szerepet a betegségek megelőzésében. Az antioxidánsok egészségre gyakorolt hatása kiegészül azzal a pozitív

tulajdonságukkal, hogy fenntartják az élelmiszerek frissességét és eltarthatóságát, így természetes alternatívaként szolgálnak a szintetikus antioxidánsokkal szemben a bioélelmiszeripar számára.

A „modern Biosör” gyártása 1978-ra tehető, amikor is Hans Müller a Pinkus Müller (2017) sörgyár tulajdonosok és sörfőző mesterek meglegelve az egyre silányabb minőségű malátát, organikus természetéből származó sörárpából készült malátából kezdtek el sört készíteni. Az eredmény annyira sikeres lett, hogy a biosörök gyártása rohamosan világszerte elterjedt.

A mai ismereteinket tekintve a búza, mint alapvető élelmiszer, az ember számára nem csak energia- és szénhidrátforrás, hanem hasznos antioxidáns forrás is lehet. Habár a közönséges búza karotinoid és tokol tartalma alacsony, ezek azonban a tönke búzában és alakorban bőségesen megtalálhatóak. Ezek a búzafajták kitűnő forrásai más egyéb funkcionális összetevőknek is, mint pl. a mikro- és makroelemeknek, a nem keményítő típusú poliszacharidoknak, valamint hasznosak a mindennapi bio termesztési gyakorlatban is, hiszen kevésbé termőképes talajban és kevesebb csapadékmennyiség mellett is magasabb hozammal rendelkeznek.

A fenti gondolatok keltették fel az érdeklődésemet az alakor, a söripari technológia és az egészségvédő hatás egyidejű kombinációjának vizsgálata iránt. Doktori disszertációmban egy Magyarországon egyedülálló termékfejlesztési munkához kapcsolódva térképeztem fel a söripar számára ismeretlen alapanyagot, az alakort. Meghatároztam annak potenciális egészségvédő komponenseit, kifejlesztettem a malátakészítés technológiáját, szem előtt tartva a termék söripari alkalmasságát és az egészségvédő komponenseinek mennyiségét. A sörfőzési eljárás kidolgozása során, nyomon követtem az egyes műveleteknél bekövetkező antioxidáns kapacitás változását, végül javaslatot tettem a legjobb eredményt mutató technológiai eljárásra.

2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A biogazdálkodás alapelvei

Magyarországon előszeretettel alkalmazott a „bio” megjelölés, a jogszabályok azonban az „ökológiai” szó használatát írják elő, így a továbbiakban a két kifejezés egymás szinonimájaként fog szerepelni. Más országokban ugyanilyen szinonima szavakként alkalmazzák sok egyéb mellett pl. az eko és eco szavakat is az „organic” kifejezésen túl (Roszík, 2013).

A biotermelés során tartózkodni kell a szintetikus trágyák és növényvédő szerek használatától, inkább a természet folyamatait kell hagyni érvényesülni a termés hozam megóvása és az ellenálló képesség javítása céljából. Fontos, hogy a gazdálkodás illeszkedjen a környezeti adottságokhoz, óvja a talajt és a természet biológiai sokszínűségét. Előtérbe kell helyezni a természetes egyensúlyt, takarékoskodni kell az erőforrásokkal, törekedni kell a megújuló erőforrások használatára. Nem használható az élelmiszerek, termékek, termények, takarmányok és vetőmagvak kezelésére, sem más célokra az ionizáló sugárzás egyik formája sem.

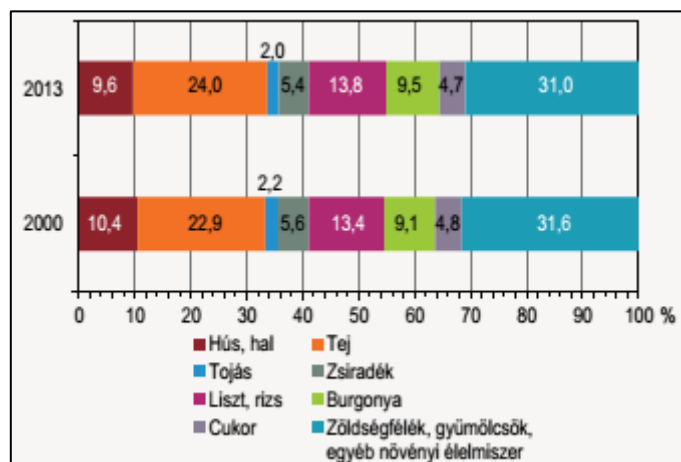
A biogazdálkodás során tilos a géntechnikailag módosított szervezetek és ezek származékjainak használata, ez alól kivételt csak az állatgyógyászati készítmények képeznek. A géntechnikailag módosított szervezetekkel (továbbiakban GMO = genetically modified organism) előállított termékeknel az alkalmazott utolsó élő szervezet és a teljes készítmény GMO mentességét kell vizsgálni (Roszík, 2013).

Az ökológiai gazdálkodásra, valamint az ökológiai élelmiszertermelésre szigorú Európai Unió (továbbiakban EU) és magyar jogszabályok vonatkoznak, amelyek az általánosakon túlmutató követelményeket fogalmazzák meg. Mivel kutatásom témáján túl mutat az ökológiai gazdálkodás tanulmányozása, ezért ezt a továbbiakban nem részletezem.

2.2 Egészségügyi körkép

Hazánkban évek óta növekszik azoknak a betegeknek a száma, akik korunk rohamosan terjedő, nem fertőző betegségeiben szenvednek, mint a II-s típusú diabetes, a magas vérnyomás szövődményeiként kialakuló agyi és érrendszeri betegségek, a daganatos megbetegedések, a csontritkulás, stb. Ennek eredménye, hogy a halálozás, valamint a megbetegedések alapján Magyarország az elsők között áll az EU tagállamok között. Mindezek kialakulásában szerepet játszik a helytelen életmód, a túlzott só- és kalóriabevitel, a környezetszennyezés, a mozgás hiánya, a stressz (szociális, munkahelyi stb.). A stressz levezetése gyakran a káros dohányzást, az

alkoholfogyasztást, de sokszor a mértéktelen evést és az édességfogyasztást jelenti. Az adatok kedvezőtlen alakulásához hozzá tartozik az is, hogy a különböző szűrővizsgálatok látogatottsága nem megfelelő, az egészségügyi ellátás minősége a törekvések ellenére erősen kifogásolható, a lakosság a megelőzésre még nem igazán fektet kellő hangsúlyt (EUROSTAT, 2012).



1. ábra Az élelmiszer-fogyasztás megoszlása. KSH Statisztikai tükör 2015/41 (KSH, 2015)

Európában is ezek a nem fertőző, rohamosan terjedő betegségek az elsődleges halálokok, melyek a jövőre nézve növekvő tendenciát mutatnak a WHO elemzése szerint. Az ilyen betegségek megelőzéséért mi magunk is tehetünk valamit, hiszen kialakulási kockázatukat kiegyensúlyozott étrenddel, antioxidánsokban és vitaminokban gazdag zöldség és gyümölcs fogyasztással, valamint megfelelő testmozgással csökkenteni tudjuk (Block et al., 1992; Gueritat et al., 2014; Liu et al., 2000). Tudományos vizsgálatok sorozata igazolta, hogy a fent említett betegségek és egyéb megbetegedések (Alzheimer és Parkinson kór) háttérében is bizonyítottan szabadgyökös reakciók húzódnak meg (García-Lafuente et al., 2009; Rajendran et al., 2014).

2.2.1 A sör egészségre gyakorolt hatása

A sör beltartalmi komponensei közül a legnagyobb hatással az emberi szervezetre az etanol van. Az erjedés során a széndioxid mellett etil-alkohol is keletkezik a sörökben, melynek mértéke általában 3-8% (V/V) között változik, de ennél magasabb alkohol tartalmú sörök is léteznek. Az alkohol a szervezetbe kerülve több lépésen keresztül acetaldehiddé oxidálódik majd acetáttá alakul. Az acetaldehiddé való alakulás a sejteken belül végbemehet az alkohol dehidrogenáz (ADH) segítségével a citoszólban vagy a mikroszomális etanol oxidáló rendszer (MEOR) segítségével az endoplazmatikus retikulumban vagy pedig a katalázok segítségével a peroxiszómákban. Magasabb vér etanol koncentráció esetén a MEOR fontosabb szerepet játszik az ADH enzimmél. Az alkohol vérben való felszívódását több tényező is befolyásolja: a fogyasztó

neme, a fogyasztott ital alkoholtartalma, a fogyasztás időtartama és az alkohol mellett fogyasztott élelmiszer. A keletkezett acetát acetyl-CoA-vá metabolizálódik, mely a továbbiakban a Krebs cikluson keresztül többek között lipiddé alakul. Az acetát könnyen az agyba jutva kis mennyiségben neurotranszmitter acetyl-kolin névé alakul az acetyl-CoA-n keresztül, melynek agyműködést serkentő hatása van. A nagyobb mennyiségben metabolizáló acetát a folyamat során később neurotranszmitter blokkoló hatást fejt ki.

A sör egészségre gyakorolt hatását már az egyiptomiak is ismerték. Kezdetben szájvíznek, beöntések, hüvelyöblítésre és sebek kezelésére használták. Napjainkban a sör használata sokkal szűkebb felhasználási területek közé szorítkozik. A sört szomjoltáson kívül samponok kiegészítőjeként, vagy főzéshez használják (Bamforth, 2002). Ma már a társadalom által teljes mértékben elfogadott az a szemlélet, hogy a sörfogyasztás (bármilyen alkoholos ital) hosszú távú túlzott mennyiségű fogyasztása veszélyes és az egészségre káros hatású (1. táblázat) (Preedy, 2011).

1. táblázat Az alkohol káros hatása

- *Balesetek okozója, fulladás előidézője*
- *Idegrendszeri megbetegedések: agyi, kisagyi, idegsejteket károsító, látás károsítás*
- *Emésztési rendszer: hepatitis, májzsírosodás, májcirrózis, hasnyálmirigy-gyulladás*
- *Rák: szájüreg, torok, máj, mell*
- *Vérkeringési zavarok, magas vérnyomás*

A sör fogyasztásával hozzájárulhatunk a napi tápanyag szükségletünk kiegészítéséhez, pótolni tudunk számos fontos ásványi anyagot és vitamint is. Bamforth (2002) összefoglaló cikkében szemléletesen mutatja be a sörből származó tápanyagok hányadát (2. táblázat).

2. táblázat A sör tápanyag összetétele viszonyításként a napi szükséglethez

Paraméter	25-50 év közötti felnőtt napi szükséglete		Literenkénti mennyisége a sörben
	Férfi	Nő	
Energia (Kcal)	2000	2000	150-1100
Fehérje (g)	63	50	3-5
Szénhidrát (g)			0-61
Zsír (g)			Elenyésző
A vitamin (µg)	1000	800	Elenyésző
D vitamin (µg)	5	5	Elenyésző
E vitamin (mg)	10	8	Elenyésző

Paraméter	25-50 év közötti felnőtt napi szükséglete		Literenkénti mennyisége a sörben
	Férfi	Nő	
K vitamin (µg)	80	65	Elenyésző
C vitamin (mg)	80	80	akár 30
Tiamin (mg)	1,5	1,1	0,003-0,08
Riboflavin (mg)	1,7	1,3	0,02-0,8
Niacin (mg)	19	15	3-8
B6 vitamin (mg)	2,0	1,6	0,07-1,7
Folsav (µg)	200	180	40-600
B12 vitamin (µg)	2,5	2,5	3-30
Biotin (µg)	30-100	20-100	2-15
Kalcium (mg)	800	800	40-140
Foszfor (mg)	800	800	90-400
Magnézium (mg)	350	280	60-200
Kálium (mg)	2000	2000	330-1100
Nátrium (mg)			40-230
Vas (mg)	10	15	0,1-0,5
Cink (mg)	15	12	0,01-1,48
Szelén (µg)	70	55	<0,4-7,2

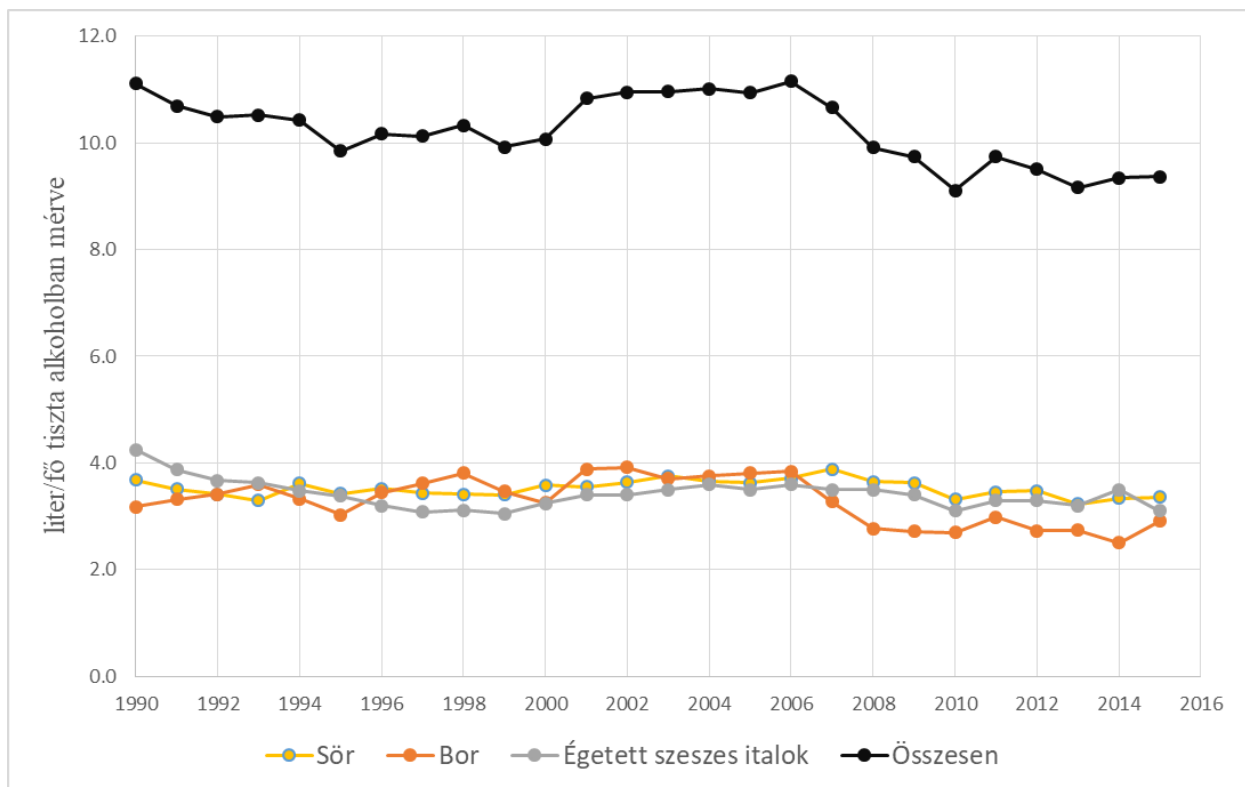
A fenti táblázatból jól kivehető, hogy a sör mértékletes fogyasztása mellett szignifikáns mennyiségű B vitamint vihetünk a szervezetünkbe. A magas kálium:nátrium aránynak (általában 4:1) köszönhetően a sör tökéletesen eleget tesz a nátrium szegény diétának. Ennek köszönhetően a sörnek nagyobb a vízhajtó hatása, mint a víznek. A mérsékelt alkoholfogyasztás bizonyítottan csökkenti a szív- és érrendszeri panaszokat (Preedy, 2011).

Alkoholos italok mérsékelt fogyasztása során kimutatták, hogy a vér antioxidáns aktivitása nőtt, ami egy lehetséges védőmechanizmusra utal. A sörben az alkohol mellett számos antioxidáns hatású komponens is található, mint a vitaminok, ásványi anyagok, szerves- és szervetlen sók és fenolos vegyületek. Kijelenthető, hogy ezek a vegyületek a sör mértékletes fogyasztása mellett egészségvédő hatással bírnak (Preedy, 2011).

A sört, mivel gabonából állítják elő, ochratoxinnal szennyeződhet, mely karcinogén hatással bír az emberi szervezetre. Mindazáltal, az egyre szigorúbb élelmiszer szabályozásoknak köszönhetően, ez a veszély számottevően csökken. Karcinogén hatású vegyületek a sörben a nitrózamin vegyületekből származhatnak, de ezek mértéke a malátagyarak és sörgyarak közös erőfeszítéseinek köszönhetően manapság már a húsz évvel ezelőtti értékek egy huszadára csökkent (Bamforth, 2002).

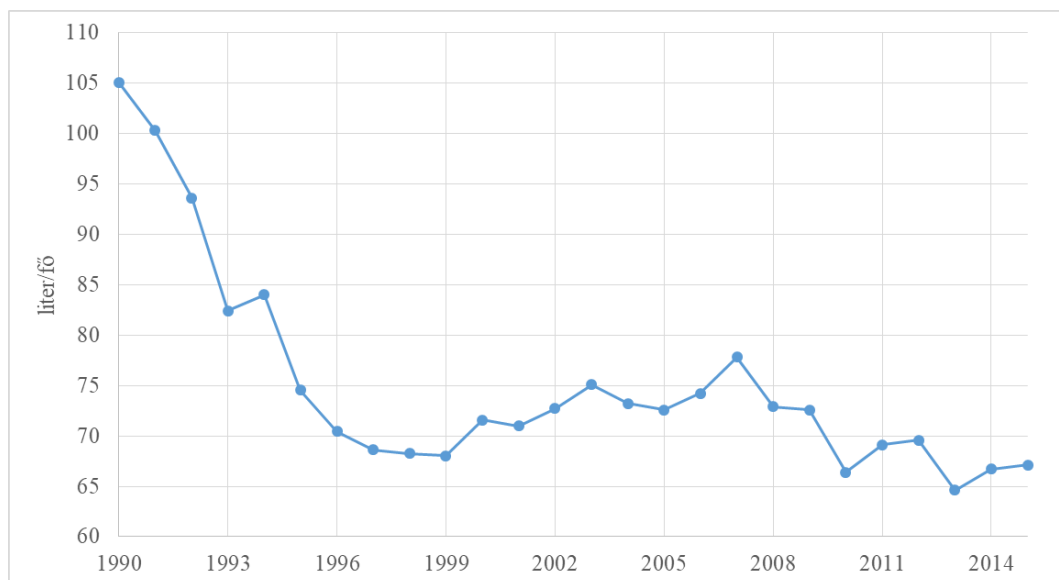
2.3 Nemzetgazdasági elemzés - A sörfogyasztás alakulása Magyarországon

Magyarországon az abszolút literben¹ mért összes alkoholfogyasztás az 1990-es évek után enyhe csökkenést mutat, értéke 9,1 és 11,2 között változott. A sörfogyasztás 2007 után felülmúlta a bor és az égetett szeszes italok mennyiségét (2. ábra), de még mindig elmarad az 1990-ben tapasztalt 100 liter/fő mennyiségtől. 2015-ben Magyarország a 67,1 liter/fő (3. ábra) mennyiséggel világviszonylatban a 20. helyen állt.



2. ábra Egy főre eső alkohol fogyasztás alakulása tiszta alkoholban mérve 1990-2015 (KSH, 2017)

¹ Abszolút literre történő átszámításnál a sör esetében 1991-ig 3,5%, 1992-ben 3,65%, 1993-ban 4,0%, 1994-ben 4,3%, 1995-ben 4,6%, 1996-tól 5,0%-os átlagos szesztartalommal számolva (a KSH metodológiáját követve). Az abszolút literre történő átszámításkor a bor esetében 11,5%-os átlagos szesztartalommal számoltam.



3. ábra A sörfogyasztás alakulása Magyarországon 1990-től (KSH, 2017)

2.4 Egészségvédő hatású komponensek

2.4.1 Szabadgyökök és antioxidánsok

A sejtekben természetes körülmények között lejátszódó biokémiai folyamatok, jellemzően az oxidációs folyamatok során keletkeznek szabadgyökök, amelyek egy bizonyos részének fontos szerepe van a szervezet normális működésének fenntartásában, többek között a sejtciklus szabályozásában, a sejt metabolikus folyamataiban, illetve a szervezet védekező mechanizmusában (Brandolini et al., 2011; Davies, 2000; Erba et al., 2011). A szabadgyökök olyan reaktív oxigén-, nitrogén-, kén- vagy szénközpontú molekulák, illetve molekularészletek, amelyek párosítatlan elektronnal rendelkeznek, ezért rendkívül agresszívak és rövid életidejűek, hiszen nagyon gyorsan kémiai reakcióba lépnek más vegyületekkel elektronszerzés céljából (Cadenas, 1989). A legfontosabb szabadgyökök, illetve reaktív formák a következő táblázatban kerülnek bemutatásra (3. táblázat).

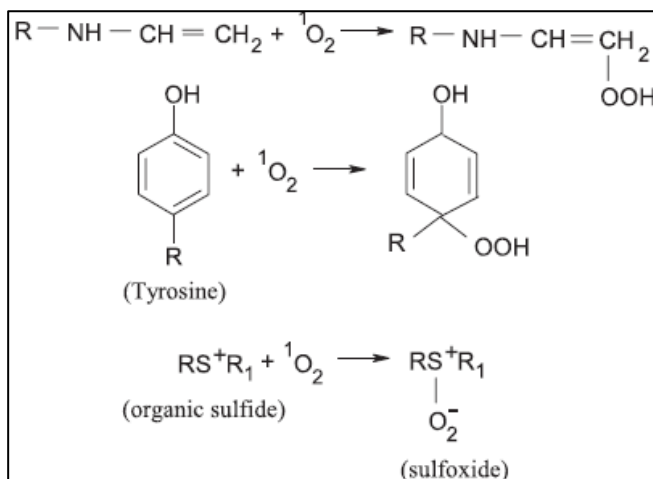
3. táblázat. A legjelentősebb szabadgyökök (Cornelli, 2009)

Oxigén O_2	Klór Cl_2
Szinglet oxigén $O\cdot$	Atomos klór $Cl\cdot$
Ózon O_3	Hipoklórossav $HOCl$
Szuperoxid gyök $O_2^{\cdot-}$	Szerves peroxidok $ROOH$
Hidrogénperoxid H_2O_2	Nitrogénmonoxid $NO\cdot$
Hidroxil gyök $OH\cdot$	Salétromossav HNO_2
Peroxil gyök $RO_2\cdot$	Peroxinitrit $ONOO\cdot$
Alkoxil gyök $RO\cdot$	Peroxinitrites sav $ONOOH$

A szabadgyökös reakciók közönséges reakciók, melyek megmagyarázhatják a szervezet legfontosabb szabadgyökös támadásait, melyek fiziológiailag fontos összetevőket, mint a DNS-t, fehérjéket és membrán lipideket támadnak, ugyanakkor a biológiai rendszerek oxidatív bomlását okozhatják. A gyökfogók reakcióba lépnek a szabadgyökökkel és semlegesítik a rendszerre káros hatásukat. Másfelől a kelát képző ágensek csökkentik a tranzit fémek mennyiségét. Ez a redukció megfékezi a szabadgyökök képződését és meggátolja a szabadgyökképző láncreakciót. Következésképpen a szabadgyök megkötő reakció és a kelátképzést gátló reakciók antioxidáns hatással bírnak a gyökképzős egészségi problémákkal szemben, mint a rák vagy a szívkoszorúér-betegségekkel szemben. Ezek szerint az antioxidánsok olyan molekulák, melyek más molekulák oxidálását akadályozzák meg. Az antioxidáns aktivitás az az összes antioxidáns kapacitás, mely képes megkötni a szervezetben és az élelmiszerben található szabadgyököket (Hur et al., 2014).

A szabadgyökök megjelenése előidézi az oxidatív stresszt. Oxidatív stressznek nevezzük az olyan állapotot, amikor a prooxidánsok és az antioxidánsok egyensúlya eltolódik az előzőek javára. Az antioxidáns - prooxidáns egyensúly fenntartása az egészség megőrzésének fontos eszköze. Az oxidatív stressz a reaktív oxigén vagy nitrogén eredetű szabadgyökök keletkezése és az antioxidáns védő rendszerek közötti egyensúly megbomlása, a sejtek oxido-redukciós állapotának megváltozása során lép fel. Az oxidatív stressz normál körülmények között egy ideiglenes állapot, állandósulása esetén károsodást, és ebből kifolyólag betegséget okoz. Az oxidatív stressz megjelenését a szabadgyökök számának megnövekedése vagy az antioxidáns védelmi rendszer hiányossága okozhatja (Hur et al., 2014).

A szabadgyökök külső és belső tényezők, biotikus és abiotikus stressz hatások következményeként is indukálódhatnak (Benzie, 2000). Belső tényezők lehetnek a biokémiai folyamatokból származó szabadgyökök képzése. Külső tényezők közé sorolhatók mind olyan tényezők, melyek a globalizált világ mindennapjaival járhatnak, mint a dohányfüst, szmog, a túlzott alkoholfogyasztás, a stressz (munkahelyi, szociális, stb.), a vegyi anyagok, környezetszennyezés, toxinok és a természeti/mesterséges sugárzások is (ultraibolya vagy radioaktív). Ugyanakkor a mikrohullámú sütő alkalmazása is szabadgyökök képződését eredményezheti (Getoff, 2007). A mikrohullámú hőkezelés során szinglet oxigén keletkezhet ($^1\text{O}_2$), mely úgy a gáz fázissal, mint a folyékonyal is reakcióképes. Az így keletkezett oxigén molekula a kettős kötésű szerves összetevőket támadja instabil peroxidokat képezve. Ugyanakkor szerves szulfidokkal is reakcióba lép, melynek során oxidáló hatású szulfoxidok keletkezhetnek (Pokorny et al., 2001).



4. ábra. Szulfoxidok keletkezése szabadgyökös reakció által (Getoff, 2007)

Szabadgyökös reakciók felelősek számos élelmiszer romlásáért is. Ezek közül a legismertebb a zsírok avasodása, amely kellemetlen íz-, szín- és szagváltozással jár (Balogh, 2010). Az antioxidánsok kétféleképpen gátolhatják vagy késleltethetik az oxidációt: a szabadgyökök megkötése által, mely esetben az összetevőt elsődleges antioxidánsként ismerünk, vagy egy olyan mechanizmus által, mely nem direkt módon köti meg a szabadgyököket. Utóbbi esetben ezeket másodlagos antioxidánsoknak nevezzük (Cornelli, 2009).

2.4.2 A legelterjedtebben alkalmazott antioxidáns kapacitást mérő módszerek elvei, előnyei és hátrányai

Az elmúlt években megnőtt azon kutatások száma, amelyek a különböző élelmiszerek, biológiai rendszerek természetes antioxidánsaival és mérésükkel kapcsolatosak. Az antioxidáns kapacitás az adott rendszerre vonatkozó összes antioxidáns vegyület együttes hatását jelenti. Ennek pontos, számszerű meghatározására egyre nagyobb igény jelentkezik, így számos analitikai módszert, mérőrendszert fejlesztettek ki. Mégis a legtöbb irodalom nemcsak egy, hanem többféle módszert használ az antioxidáns kapacitás meghatározására. Minden metodika specifikus bizonyos antioxidánsokra, illetve reakció(k)ra, de egyik sem képes az összes antioxidáns valódi antioxidáns erejét mérni (Frankel et al., 2000).

Ha a minta komplexebb, tehát valódi mintáról van szó és nem egy standard oldatról, akkor az összefüggések keresése még több nehézségbe ütközik. Ilyen esetben zavaró lehet a lezajló reakciókra nézve például a minta cukor-, ásványi elem-, sav-, fehérjetartalma, stb. (Ou et al., 2002).

Ugyanazon komponens más rendszerben máshogy fog viselkedni. Többféle mérési módszert alkalmazva vonhatunk le csak következtetést, arra vonatkozólag, hogy egy minta mennyire 'jó' antioxidáns, a mi általunk felállított mesterséges körülmények között. Az emberi

szervezetben való viselkedésük és pontos hatásmechanizmusuk a különböző komponensek egymással való kölcsönhatásától és a felszívódásától is nagymértékben függ, ami még jobban megnehezíti a kutató feladatát annak megítélésében, hogy melyik módszerrel mért adatok jellemezhetik legjobban a szervezetben kifejtett hatásukat (Balogh, 2010).

Az eddig kifejlesztett mérési módszereket a következő képpen csoportosíthatók (Frankel et al., 2000):

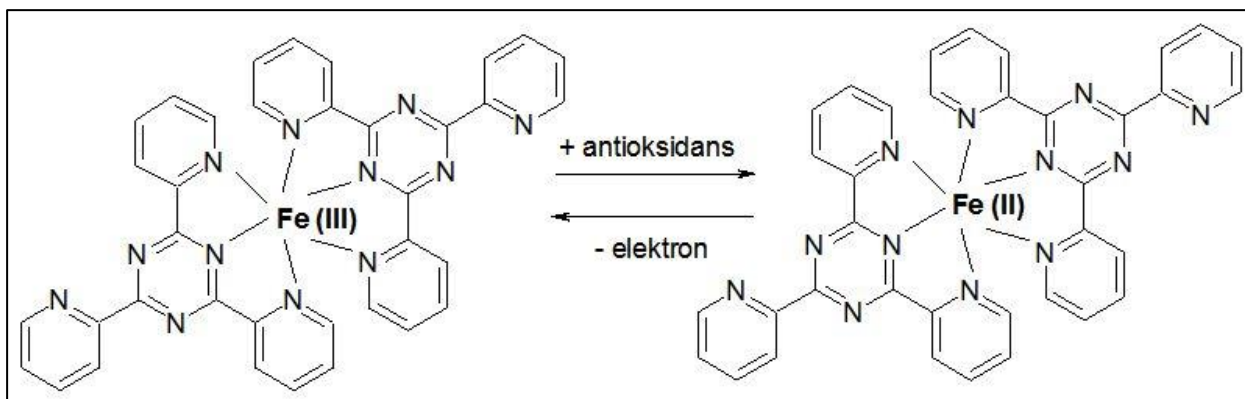
A. Hidrogénatom átmenettel ([HAT] hidrogen atom transfer) kapcsolatos módszerek

- 1) Oxigéngyök Abszorpciós Kapacitás-ORAC-Oxygen Radical Absorbance Capacity (Cao et al., 1993):
 - A próba molekula (fehérje) a peroxil gyökökkel (ROO.) reagálva oxidatív sérülést szenved, ezért az általa kibocsátott fluoreszcens jel intenzitása csökkeni fog. Antioxidánsok jelenlétében ez a reakció gátolódik.
 - Reakció körülmények: pH=7,4; 37 °C
 - Zsír- és vízoldható antioxidánsok vizsgálatára egyaránt alkalmas (Huang et al., 2005)
 - A fehérje-, az etanol- valamint az aminosav tartalom zavarhatja a mérést, mert hamis pozitív eredményt okoz (Frankel et al., 2000; Pérez-Jiménez et al., 2008)
- 2) Összes peroxilgyök befogására vonatkozó paraméter-TRAP-Total peroxil Radical Trapping Parameter (Wayner et al., 1985):
 - A szabadgyökök oxidáló hatását az antioxidánsok késleltetni tudják
 - Az ABAP (2,2'-azobis-2-amidinopropán) gyökgenerálót később lecserélték AAPH-ra (2,2'-azo-bis(2-amidinopropán)-dihidroklorid) (Prior et al., 1999)
 - A módszer időigényes (2 óra/minta), így naponta kevés minta megmérésére van lehetőség (Wu et al., 2004)
 - A méréseknél a fehérjék jelenléte is interferenciát okozhat (DeLange et al., 1989; Ghiselli et al., 2000)
- 3) Kemilumineszcencián alapuló módszerek- CL-Chemiluminescence (Alho et al., 1999):
 - A módszer alapja a szabadgyökök generálása
 - A luminol (próba) szabadgyökökkel reakcióba lépve luminolgyökké alakul és fényt bocsát ki, az antioxidáns hatására a fénykibocsátás gátlódik, a fény intenzitása csökken (Navas Díaz et al., 1998)
 - A módszer hátránya, hogy luminométert igényel, ami nem tartozik laboratóriumi alapfelszereléshez, valamint a mérések nagyon időigényesek (Said et al., 2003)
- 4) Krocín elszíntelenedésén alapuló módszer (Bors et al., 1984)

- A krocin egy természetes karotinoid mély narancssárga színnel, így a látható fénytartományban intenzív abszorbanciája van
 - Ha a krocin peroxilgyökökkel reagál, akkor elszíntelenedik, de antioxidánsok jelenlétében ez a reakció gátolódik
 - A módszer olcsó, gyors, nem igényel drága műszert (Prior et al., 1999)
 - Az élelmiszer-mátrix túl komplex ehhez a méréshez, így nagyon nehéz az összehasonlítás (HUANG et al., 2005)
- 5) Béta-karotin elszíntelenedésén alapuló módszer (von Gadow et al., 1997)
- A linolén sav autooxidációja következtében keletkeznek a gyökök.
 - Béta-karotint használnak a mély +antioxidáns
- 6) Fotokemilumineszcencián alapuló antioxidáns kapacitás mérés- PCL – Photochemiluminescence (Popov et al., 1994, 1996)
- A mérés elve: a fényérzékeny komponensből UV fény hatására szuperoxid anionok válnak szabaddá.
 - Egyik részük reagálni fog egy „detektor” vegyülettel, amely hatására fotonok emittálódnak. A készülék ezt a fotokemilumineszcenciát méri, így az antioxidáns kapacitást közvetetten kapjuk meg

B. Elektronátmenettel ([ET] electron transfer) kapcsolatos módszerek

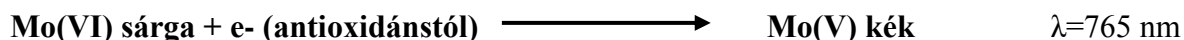
- 1) Vasredukálóképességen alapuló módszer -FRAP-Ferric Reducing Ability of Plasma (Benzie et al., 1996)
- A mérési elv értelmében a vas-2,4,6-tripiridil-S-triazin (TPTZ) komplexet az antioxidánsok redukálják (5. ábra), mely reakció színváltozással jár. A reakcióidő 5 perc, amely a lejátszódó kinetikára jellemzően lett meghatározva.



5. ábra A FRAP módszer mérési elve (INTERCHOPEN, 2017)

- A keletkező kék szín spektrofotometriásan nyomon követhető 593 nm-en.

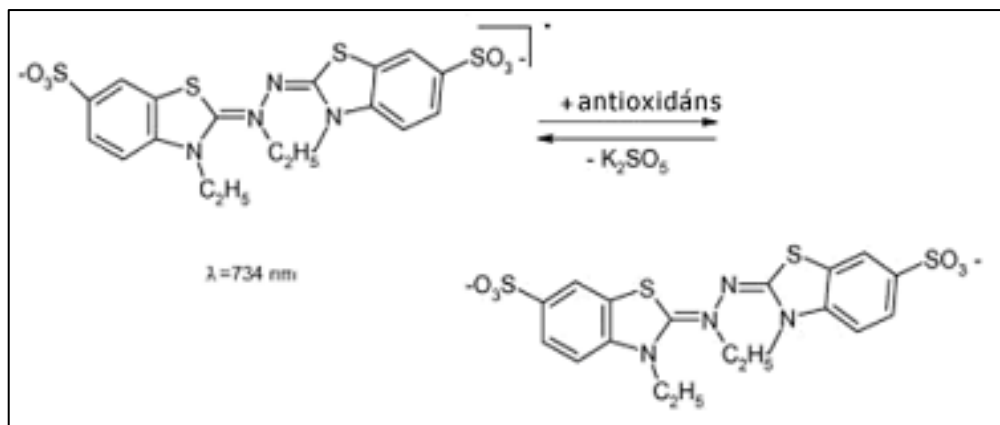
- A karotinoidoknak nincs vasredukáló képességük (Apak et al., 2007).
 - A legelterjedtebb és a legtöbb laboratóriumban használatos mérési módszerek közé tartozik (Apak et al., 2007; Pérez-Jiménez et al., 2008).
- 3) Összes polifenol-tartalom meghatározása Folin-Ciocalteu reagenssel TPC - Total Polyphenol Content (Singleton et al., 1965)
- A módszer nevével ellentétben redukálóképességen alapuló antioxidáns kapacitás meghatározás. A keletkező kék szín spektrometriásan nyomon követhető 765 nm-en.



- Olcsó, egyszerű, reprodukálható, nem igényel drága laboratóriumi felszerelést, rutinszerű mérésekre alkalmas (HUANG et al., 2005).
 - Nem szelektív a polifenolos komponensekre, független a szerkezetüktől (Frankel et al., 2000).
 - Az aszkorbinsav, a Cu (I) is hozzájárul a kapott értékekhez (APAK et al., 2007).
- 4) Rézion redukálóképességen alapuló antioxidáns kapacitás mérés –CUPRAC – Cu Pric ion Reducing Antioxidant Capacity (Apak et al., 2007)
- Redukálóképességet határoz meg ez a metodika is, 7-es pH-n 450 nm-en. A reakcióidő 30 perc. Olcsó, egyszerű, nem igényel drága felszerelést.
 - Víz-, és zsíroldható antioxidánsokat is képes mérni. A tiol típusú antioxidánsokat is érzékeli.
 - Ezen a hullámhosszon interferenciát okozhatnak egyéb komponensek. Lassú, egyes komponensek, mint a naringin, vagy a naringenin több időt igényelnek- ezért 20 perces 50°C-on történő inkubálás előzi meg a mérést (Balogh, 2010).
- 5) Troloxra vonatkoztatott Antioxidáns Kapacitás -TEAC –Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (Miller et al., 1993)
- A reakció az ABTS (2,2'-azinodi-(3-etilbenzotiazolin)-6-szulfoninsav) oxidációján alapszik.



- Hidrogén-peroxid és metmioglobinn jelenlétében sötétzöld színű ABTS.+ -kation gyök keletkezik. Ha a mintában antioxidánsok vannak jelen, akkor a szabadgyökökkel reagálva a színintenzitás csökkeni fog, a minta elszíntelenedik. A reakció spektrofotometriásan nyomon követhető 734 nm-en (6. ábra).

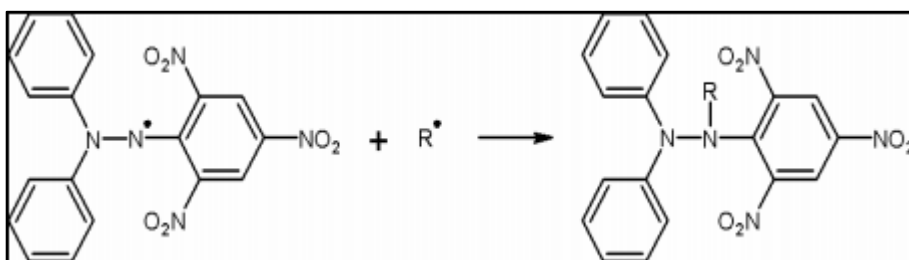


6. ábra Antioxidáns és az ABTS gyök reakciója (Miller et al., 1993)

- Az alkalmazott 734 nm-en a természetes növényi pigmentek kicsi interferenciát okoznak.
- A mérést 12-16 óra időtartamú inkubálás előzi meg, így a minta-előkészítés hosszúnak mondható (Zulueta et al., 2009).
- A szerkezeti különbségek illetve hasonlóságok, például a leadható elektronok száma és a kapott eredmények között nincs összefüggés (Huang et al., 2005).

6) DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) gyök megkötésén alapuló antioxidáns kapacitás mérés (Blois, 1958)

- A reakció (7. ábra) a következőképpen zajlik (Frankel et al., 2000): a sötétlila színű gyök antioxidánsokkal reagálva elveszti a színét.
- bomlás, érzékenység nem jelent problémát, mint egyéb módszereknél, a mérés egyszerű (Prior et al., 1999)



7. ábra A DPPH gyök megkötésén alapuló módszer elvi alapja

- Hátránya, hogy nem a sejten normál anyagcsere során keletkező gyököt használ, hanem egy stabil, az élő szervezetben nem fellelhető gyököt (Frankel et al., 2000).
- Fény-, oxigén-, pH- és oldószerfüggő (Prior et al., 1999).
- A karotinoidok interferálnak a mérési hullámhosszon 517 nm-en.

A HAT módszerek szabadgyökökre vonatkoznak és elsősorban *reakció kinetikán* alapszanak. A tesztek azt mérik, hogy egy adott szabadgyökkel szemben a minta mennyire hatásos, milyen a szabadgyökbefogó képessége. Az ET reakciók általában *színváltozással* járnak, ennek mértékéből lehet az antioxidáns kapacitásra következtetni (Apak et al., 2007).

Mindkét méréstípus antioxidáns kapacitást határoz meg, viszont a kapott eredményeknek nem kell szükségszerűen egymással korrelálni, hiszen egy minta redukáló képessége nem feltétlen függ össze a gyökbefogó képességével.

További ismert módszerek:

- a szuperoxid anion megkötésével (Ewing et al., 1995)
- a hidrogén-peroxiddal (Martínez-Tomé et al., 2001)
- a hidroxilgyökkel (Ou et al., 2002)
- a szinglet oxigénnel (Wilkinson et al., 1995)
- a peroxi-nitrittel (Pryor et al., 1995)
- voltametriával (Chevion et al., 2000) kapcsolatosak.

Az előzőekben bemutatott néhány mérési módszerből is egyértelműen kitűnik a téma összetettsége, valamint a kapott eredmények sokféleségének az oka. A következőkben azok a befolyásoló tényezők kerülnek felsorolásra, amelyek az antioxidáns kapacitás eredményeket a leginkább befolyásolják (Balogh, 2010).

2.4.3 Az antioxidáns mérések eredményét nagymértékben befolyásoló tényezők

1. Minta előkészítés.
2. Extrakció (hatásfok, hőmérséklet stb.).
3. Alkalmazott oldószer (metanol, etanol, víz, aceton, kloroform), hiszen nincs olyan oldószer, amely alkalmas lenne egy élelmiszeripari mintában található összes antioxidáns kivonására (Becker et al., 2004; Frankel et al., 2000; Pérez-Jiménez et al., 2006); illetve nehezíti a helyzetet a fehérjékkel, szénhidrátokkal kialakult komplexek kérdése is.

Mindez azt jelenti, hogy a mintában mindig lesznek ki nem oldott, vagy nem hozzáférhető komponensek, amelyeknek szintén fontos szerepe lehet az emberi szervezetben, ahol a különböző enzimek, mikrobiális tevékenységek hatására már hozzáférhetőek lesznek. A kémiai hidrolízissel az a probléma, hogy a minta eredeti szerkezete megváltozik, és így már nem az eredeti formában lehetne a komponenseket kinyerni, ezzel nem lesz reprezentatív a kapott érték az eredeti mintára.

4. Választott módszer (elektronátmenettel, hidrogénatom-átadással jár).
5. Méréshez használt szabadgyök (peroxilgyök, DPPH gyök, hidroxilgyök stb.). Az egyes antioxidánsok másként reagálnak a különböző szabadgyökökre (Pérez-Jiménez et al., 2008). Például a peroxilgyök az emberi szervezetet tekintve a leggyakoribb. De a hidroxilgyök, a szinglet oxigén, a szuperoxid gyök és az egyéb nitrogéntartalmú gyökök is mind jelen vannak a biológiai rendszerekben. Ennek ellenére vannak olyan elterjedten alkalmazott módszerek is, amelyek nem ezeket a gyököket használják fel az antioxidáns kapacitás meghatározására, hanem például a DPPH illetve az ABTS gyököket. Ezek stabilak, kevésbé reakcióképesek és agresszívak, jobban kezelhetőek, könnyebben kézben tarthatóak a reakciók során a fent említett gyökökhöz képest (Cao et al., 1993; Halliwell et al., 1995). A gyökök befogása függ a közegtől is, hiszen például a C-vitamin hatásos hidrofíl gyökök ellen, de nem a lipofilekkel szemben (Wu et al., 2004).
6. Mintamátrix – sav, cukor, fehérje, aminosav stb. tartalom, egyéb interferenciát okozó komponensek, amelyeknek az alkalmazott hullámhosszon van elnyelése.
7. Fényérzékenység.
8. Hőmérséklet érzékenység.
9. pH.
10. Idő, hiszen egyes komponenseknek nagyobb lehet az időigénye, akár több óra is.
11. Reakciósebesség, reakció kinetika.
12. Méretből, illetve szerkezetből adódó különbség, például a kisebb antioxidánsok hozzáférése a nagyobb szabadgyökhöz.
13. Additív, szinergens hatások, stb.

Több kutatási munka is kimutatta, hogy a gyümölcs vagy zöldség fajok, valamint az azonos fajon belüli fajták között többszörös antioxidáns kapacitásbeli különbséget lehet kimutatni. Ezek egy része a genetikai háttérnek tulajdonítható, de ugyanakkor az eredmények kialakításában fontos szerepet játszanak a különböző környezeti tényezők, éghajlat, csapadék mennyisége, napsütéses órák száma, fényviszonyok, származási hely, talaj tápanyag-ellátottsága, betegségek, növényi kártevők jelenléte stb. is (Balogh, 2010).

Ha egy növényi mintát antioxidáns kapacitás szempontjából szeretnénk jellemezni, akkor erre számos lehetőségünk van, amint az az előzőekből kiderült. Fontos azonban azt is hangsúlyozni, hogy egy minta bizonyos komponenseinek a mennyisége is értékes információt nyújthat számos vonatkozásban. Ilyen például a C-, az E vitamin-, a karotin tartalom, az összpolicifenol - illetve az antocianin tartalom, a fenolos savak – egyéb flavonoidok minősége és

mennyisége. Ezen vizsgálatok az előzőeknél kézben tarthatóbbak, hiszen mindig csak egy-egy komponensre, vagy vegyületcsoportra fókuszálnak.

Ezen felül fontos megemlíteni, hogy a vizsgálatok többnyire a táplálékból szerzett antioxidánsok mérésére korlátozódnak, holott az antioxidáns kapacitáshoz a különböző enzimek is nagymértékben hozzájárulnak (Ghiselli et al., 2000). Emellett nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy az antioxidánsoknak az emberi szervezetben való felszívódása, hozzáférhetősége is szerepet játszik valódi hatásosságukban.

A szakirodalom kutatása során nem találtam olyan összefüggő, mélyreható kivonási módszert, mely egységesen, a lehető legtöbb antioxidáns hatású vegyületet tár fel. Ezért némi módosítással adaptáltam Pérez-Jiménez et al. (2008) által leírt kivonatolási módszerét, melyet a későbbiekben, az Anyagok és módszerek fejezetben részletezek.

2.4.4 Ásványi anyagok

A növényi és állati eredetű élelmiszerek elhamvasztása után visszamaradott alkotórészeket ásványi anyagoknak nevezzük. A szervetlen anyagok híg elektrolitok alakjában részt vesznek az élő szervezet elektrokémiai, ozmózis, valamint sav-bázis egyensúlyának fenntartásában, elősegítik a különböző kolloidok állapotváltozását, aktiválják vagy gátolják az enzimek reakciókat, részt vesznek a támasztószövet felépítésében. Ezen tulajdonságuk miatt nélkülözhetetlenek az élővilágban. Az emberi szervezetnek az ásványi anyag-készlete szűk határok között változik. Az emberi szervezet felépítésében részt vevő elemek közül azokat, amelyek a szervezet tömegének 0,005%-nál nagyobb mennyiségben vannak jelen, makroelemeknek, amelyek ennél kisebb arányúak, mikroelemeknek nevezzük (Csapó, 2003).

Az élő szervezet megfelelő működéséhez az ásványi elemek nélkülözhetetlenek. Híg elektrolitként jelentős szerepet töltenek be az ozmózis, elektrokémiai, illetve a sav-bázis egyensúlyok fenntartásában (Na, K, Ca, Mg, stb.). Aktiválják és gátolják a különféle enzimek reakciókat (Zn, Cu, Mn, Mg, stb.), részt vesznek a támasztószövetek felépítésében (Ca, P). Az esszenciális mikroelemek közül különösen fontos a *vas*, a *cink*, a *réz*, a *molibdén*, a *mangán*, illetve a makroelemek közül a *magnézium*, amelyek az enzimek, koenzimek működésében, illetve a biokémiai folyamatok katalizálásában töltenek be létfontosságú feladatot, és így szerepet játszanak a szervezet antioxidáns védelmében is, ugyanis az antioxidáns hálózatban fontos feladatokat játszó enzimes védelmi rendszer tagjainak zavartalan működését biztosítják (Balogh, 2010).

Az ásványi anyagok a sörgyártás során felhasznált alap- és segédanyagokból kerülnek a sörbe. Régebben a technológiai berendezésekből is oldódhattak fémek a sörbe, mára azonban ez a probléma a saválló acél berendezések alkalmazásával gyakorlatilag megszűnt (Montanari et al, 2009).

2.4.5 Vitaminok

A vitaminok olyan változatos kémiai szerkezetű, szerves vegyületek, melyeket az emberi szervezet nem képes elegendő mennyiségben előállítani, de kis mennyiségben nélkülözhetetlenek annak zavartalan működéséhez (Ball, 2005).

Mai ismereteink alapján az emberi szervezet zavartalan működésében 13 vitamin játszik szerepet, melyek oldhatóságuk alapján két csoportra, zsírban, illetve vízben oldódó vitaminokra oszthatók. A zsírban oldódó vitaminok csoportjába soroljuk az A-, D-, E- és K- vitaminokat, illetve a különböző mértékű A-vitamin hatással rendelkező karotinoidokat. A vízben oldódó vitaminok csoportját a C-, illetve a B-vitaminok (B1, B2, B3, B5, B6, B7, B9, B12) alkotják (Ball, 2005).

A vitaminok elnevezésére nincs egységes, nemzetközileg elfogadott eljárás. A vitaminkutatás első szakaszában a latin ABC betűit használták erre a célra (A-, B-, C-vitamin), de ez a rendszer nem egyöntetű, mivel a későbbi kutatások során számos vegyületről bebizonyosodott, hogy azonos egy előbbieken már elnevezett vitaminnal, vagy, hogy mégsem tekinthető vitaminnak. Az utóbbi csoportba tartozó vegyületeket vitaminoidoknak nevezzük (pl.: esszenciális zsírsavak, koenzim-Q) (Csapó, 2003).

A hasonló élettani hatású, de különböző eredetű, illetve eltérő kémiai szerkezetű vitaminokat, az azonos betű mellé tett számindex jelöli (pl.: A1-, A2-, B1-, B2, D2-, D3-vitamin). Ezen kívül egyes vitaminokat biológiai hatásuk vagy kémiai szerkezetük alapján is elneveztek. Így például, amíg az aszkorbinsav elnevezés a C-vitamin skorbutellenes hatását tükrözi, addig a nikotinsav vagy a nikotinamid a B3-vitamin kémiai szerkezetére utal (Csapó, 2003).

Azonban a számindexes betűjelölés sem minden esetben egyértelmű. Ugyanis a vitaminkutatás előrehaladtával fény derült arra, hogy egyes vitaminok esetében nem csak egy, hanem számos, kémiai felépítésükben rokon vegyület rendelkezik különböző mértékben az adott vitaminra jellemző biológiai aktivitással. Például B6-vitaminhatása hat különböző vegyületnek is van. Ezeket az azonos élettani hatású, rokon vegyületeket vitamereknek nevezzük (Ball, 2005). A vitaminok fentiekben említett definíciója alapján a szervezet megfelelő vitaminellátottsága csak külső táplálékforrásból biztosítható. A definíció pontosítása végett szükséges még megemlítenem

az úgynevezett provitaminokat. Ezek olyan biológiai aktivitás nélküli vegyületek, melyeket az emberi szervezet különböző anyagcsere folyamatok során vitaminokká képes átalakítani. Ilyen provitamin például az ergoszterin, melyekből D-vitamin keletkezik (Csapó, 2003).

Bamforth (2002) szerint a láger típusú sörök tiamin tartalma 0,003 – 0,08 $\mu\text{g/ml}$, míg a nikotinamid tartalma 0,07 – 1,7 $\mu\text{g/ml}$.

2.5 A sörgyártás alap- és pótanyagai, mint az egészségvédő komponensek forrásai

Az ásványi anyagok fontos szerepet játszanak a sörkészítés során lejátszódó folyamatokban. Legnagyobb mennyiségben a maláta, a sörfőző víz, a komló és a pótanyagok járulnak hozzá a sör végső ásványi anyag tartalmához. Az élesztő, a gyártási technológia és a tárolóedények csekély mértékben befolyásolják ezt (Preedy, 2011).

2.5.1 A sörfőző víz

Az egy liter sör előállításához szükséges víz mennyisége eléri az 5-6 litert is, de ez főzdnként változik (Kunze et al., 2004). A sörgyártás során tehát igen sok víz kerül felhasználásra, és mivel a sör több, mint 90%-a víz, ezért a sör végső ízére is jelentős hatással van, illetve befolyásolja a cefrézés során lejátszódó biokémiai reakciókat, a komló anyagainak hasznosulását és a fermentáció lefolyását is (Vecseri, 2004). A főzővíznek ivóvíz minőségűnek kell lennie. A víz természetes körfolyamataiból adódóan, valamint az egyes vízlelőhelyek talajszelvényeinek geológiai, ill. kémiai jellemzőinek következtében igen eltérő összetételű lehet. A sör előállítása során a vízben oldott sók egy része a maláta, a komló, valamint a sörlé anyagaival egyesülve átalakul, és elsősorban az enzimes folyamatokra gyakorol hatást. A különböző sörtípusok kialakulása jelentős mértékben a speciális vízösszetételre vezethető vissza. A pilseni sörök például igen lágy, 2-3 német keménységi fokú forrásvízből készülnek, míg a szintén híres müncheni söröknél nem ritka a 20 német keménységi fokú sörfőző víz sem. Sörtechnológiai szempontból legnagyobb jelentőségű a sörfőző víz kalcium- és magnéziumtartalma, valamint a hidrokarbonátok mennyisége. Ezen ionok a cefre és a sörlé savasságát befolyásolják. A sör illatát, ízét, habtartóságát a víz ionjai közvetlenül vagy közvetetten befolyásolják. A sok mangánsó a vizet sötétre színezi, a vas fémessé, tintaszerű ízhibát okoz a kész sörben. A söriparban napjainkban kezelt vizet használnak fel, így szinte tetszés szerint beállítható az ionösszetétel. A vízkezelés leggyakrabban ioncserélő oszlop vagy reverz ozmózis segítségével valósul meg (Vecseri, 2004).

A kutatásom során figyelemmel kísérem a sörfőző víz hatását a késztermék ásványi anyag tartalmára.

2.5.2 A sörárpa (*Hordeum vulgare*)

A maláta leggyakrabban árpából (*Hordeum vulgare*) készül (kétsoros tavaszi árpa). Az aratási időjárás nagyban befolyásolja az árpa víztartalmát, emiatt tág intervallumban ingadozhat, átlagosan 14-15%, de 12-20% is lehet. Tárolás szempontjából a víztartalmat mindenképp 16% alá kell szorítani. A szárazanyag tartalom kémiai összetételét tekintve: 80% szénhidrát, 11% fehérje, 2,5% zsír, 2,6% ásványi anyagok és 3,9% egyéb anyagokat tartalmaz. Az árpa legnagyobb tömegét a szénhidrátok adják, amelyek közül a legfontosabbak a keményítő, a cukor, a cellulóz és hemicellulóz és a gumi anyagok. A vetési idejük szerint az árpákat két csoportra oszthatjuk: őszi árpák (vetési idő szeptember közepe) és tavaszi árpák (vetési idejük március-április). Korábban söripari célra az alacsonyabb fehérjetartalom és a vékonyabb héj miatt kizárólag a tavaszi árpákat használták, ma azonban a nemesítések eredményeképpen vannak nagyon jó söripari célra használható őszi árpafajták is. (Narziss et al., 2012).

2.5.3 Az alakor (*Triticum monococcum* L.) rendszertani besorolása, felépítése és jellemzése

Az alakor (*Triticum monococcum* L.) egy ősi búzafajta (8. ábra), mely Kis-Ázsiából terjedt el kb. 10 ezer évvel ezelőtt. A hazánkban már több ezer éve honos búzafajta termesztését a honfoglalás után Géza fejedelem, István király és a korabeli utódaik is átvették a lakosoktól. Ma már csak elszórtan termesztik Törökországban, Svájcban, Spanyolországban, Németországban és az egyes balkáni és kaukázusi területeken. Szerepe kiemelkedő volt a neolitikus mezőgazdaságban, fokozatosan növekedett a bronzkorig, majd ezt követően kiszorult a termelésből a nagyobb terméshozamú, pelyvánélküli búzafajták megjelenése miatt.



8. ábra Az alakor kalásza (saját felvétel)

Az alakor egy kistermetű búzafajta, amely viszonylag kis hozammal rendelkezik. Ellenben képes a legszegényebb, száraz talajon is növekedni. Az általános búzafajtákhoz képest sokkal ellenállóbb az egyes betegségekkel, fertőzésekkel szemben. Nagy a szárszilárdsága és a gyomelnyomó képessége. Igénytelen gabonafajta, mely vegyszermentes körülmények között is termesztethető. Az alakor terméshozama kisebb a nagymértékben elterjedt kenyérbúzához képest. Vad alakjától (*Triticum boeoticum* Boiss.) nem sokban különbözik, de a vad alakor kalásza sokkal törékenyebb. Legfőképpen Nyugat-Ázsiában és a balkáni területeken terjedt el. A hidegebb területeket kedveli, de Törökország egyes hegyvidéki területein is még termesztethető.

Az alakor (9. ábra) genetikailag az egyik alapvető búzafajta, diploid kromoszómaszámmal ($2n$) rendelkezik, összesen 7 pár kromoszómát tartalmaz (AA genom). A nemesítés számára nagy jelentőséggel bírhat olyan genotípusok létrehozása, melyek révén az alakor hasznos tulajdonságait hordozó kromoszóma szegmentumok átvihetők a búza genomjába (Varga et al., 2009).



9. ábra Az alakor, a tönke és a tönkölybúza (Ustunol, 2014)

Az alakor szemet laza, viszonylag könnyen elválasztható pelyva veszi körül. A héj nélküli szem hosszúkás, és kisebb, mint az általános búzafajtáké. Állományát tekintve sokkal puhább szerkezettel rendelkezik, textúrája nagyon gyenge, lágyabb a többi búzafajtához képest. Az őrlési kihozatala közel megegyezik a búzáéval, de esetenként magasabb kihozatal is megvalósítható (Løje et al., 2003). Abdel-Aal et al. (1997) bebizonyították, hogy az alakor lisztkihozatala kevesebb a közönséges búzáénál, ám lisztje sokkal finomabb állagú. Megemlítik, hogy az alakor búza lisztje a közönségestől eltérő, sárga színt ad. Valószínűleg ez a mély barázdák hiányának köszönhető, ami a poliploid fajokra különösen jellemző. A héj nélküli alakor magas hamutartalommal és proteintartalommal rendelkezik. Lizin-, mikroelem- és esszenciális aminosav-tartalma igen magas, szénhidrátartalma alacsony, az élettani szempontból rendkívül

fontos tokol- és karotinoid tartalma kiemelkedő (Hidalgo et al., 2006). Utóbbi tulajdonsága miatt egészségvédő élelmiszerek előállítására is alkalmas lehet. Élelmezési felhasználás szempontjából a legtöbb kutatás a sütésre fókuszált. Bár tápláló, de kenyér készítésére nem teljesen alkalmas. Elsősorban reggeliző pehely készítésére és állati takarmányként használják. (Løje et al., 2003).

2.5.4 Az alakor (*Triticum monococcum* L.) és a közönséges búza (*Triticum aestivum*) fizikai és kémiai tulajdonságainak összehasonlítása

Az alakor fontosabb kül- és beltartalmi jellemzőinek összehasonlítását a közönséges búzával a 4. táblázatban foglaltam össze szakirodalmi adatok alapján.

4. táblázat Az alakor tulajdonságainak összehasonlítása a közönséges búzával

	Alakor	Közönséges búza
Szem hosszúság, mm/szem ^{4,2}	18,3-37,4	34,0-46,4
Szem méret, mg/szem ²	22,0-24,7	46,2
Ezerszem tömeg, g ³	27,6	45,2
Hamutartalom, % sz. a. ⁴	2,2	NA
Protein tartalom, % sz. a. ^{4,1}	12,5-25,2	13,4
Karotinoid tartalom, mg/g ^{2,4}	8,36	4,79
Sárga pigment tartalom, mg/g ²	8,46	2,51
Csira arány, % ²	3,0-3,2	2,9
Csira lutein tartalom, µg/ sz.a ²	38,0	26,3
Endosperm lutein tartalom, µg/ sz.a ²	7,4	5,1
Pelyva lutein tartalom, µg/ sz.a ²	4,0	4,5
β-glükán tartalom, g/100g sz.a. ³	0,48	0,84
Keményítő tartalom, g/100 g sz.a. ³	59,6	67,9
Amilóz tartalom, % ³	28,4	29,6
Élelmi rost, g/100 g sz.a. ³	21,5	16,7

¹(Abdel-Aal et al., 1997)

²(Brandolini et al., 2008; Løje et al., 2003)

³(Brandolini et al., 2010)

⁴(Løje et al., 2003)

Fizikai tulajdonságait illetően jól látható, hogy az alakor búza szem hosszúságát tekintve elmarad a búzáétól, mérete kevésbé homogén, a búzánál tágabb határok között van. Nagy proteintartalmának köszönhetően az esszenciális aminosav-tartalma magasabb, mint a közönséges- vagy a durum búzáé. Élelmi rosttartalma kisebb a búzáénál, míg oldható rostokat ugyanannyit tartalmaz (1,7% sz. a.). Az alakorliszt halvány sárga színű, ami a benne található magas karotinoid-tartalomnak köszönhető. Az aminosav-összetétele nem sokban különbözik a durum-, vagy a közönséges búzáétól.

Abdel-Aal et al. (1997) méréseik során megállapították, hogy az esésszám tekintetében az alakor alacsonyabb értékkel rendelkezik, mint pl. a durumbúza. Ezen fajták közül az alakor mutatta a leggyengébb gluténtartalmat.

Brandolini et al. (2010) vizsgálták az alakor és a közönséges búza α - ill. β -amiláz aktivitását is. Az α -amiláz az alakornál 0,15 CU (Ceralpha Units), a búzánál 0,90 CU, míg β -amiláz esetén az értékek 1071, illetve 1710 CU. Az amiláz-aktivitást jellemzi a CU: 1 unit megegyezik azzal az enzimmennyiséggel, ami ahhoz szükséges, hogy 1 mikromol p-nitrofenilt (α -glükózidáz felesleg jelenlétében) feloldjon 1 perc alatt 40 °C-on (McCleary et al., 2002).

A kémiai összetételt vizsgálva a fehérje- és a lipidtartalom nagymértékben eltér az alakor és a közönséges búza tekintetében, ugyanis a fehérjék mintegy 2-2,5%-kal, a lipidek 40 %-kal nagyobb mennyiségben vannak jelen az alakorban, és a telítetlen zsírsavak aránya is sokkal magasabb a jelenlegi fajtákénál.

Az alakorról a korábban végzett vizsgálatok alapján kiderült, hogy számos más tényezőben is eltér a közönséges búzától. Az ősi búza és a mai köztermesztésben lévő fajták beltartalmi értékeinek összehasonlítása azt mutatja, hogy a mai intenzív búzafajtákban a cinktartalom 35 %-kal alacsonyabb, az aminosav koncentrációja pedig a fele vagy akár harmada is lehet az ősi búzáénak.

A nemesítés során a búzafajták maghéjának vastagsága folyamatosan csökkent. Az alakor maghéja az egész szemtömegre vetítve 14,1 %, míg a mai közönséges búzafajtáké csak 5,2-8,4 %. Ennek azért van jelentősége, mert az ásványi anyagok a héjban akkumulálódnak (Brandolini et al., 2011).

Fontos szempont a búzánál a már vizsgált fehérje és keményítő arány, ami egyes alakor típusok esetén söripari szempontból rendkívül kedvező, ugyanis a relatív alacsony fehérjetartalom mellett apró szemcseszerkezetű keményítő található, amely jelentősen növeli az alakor söripari értékét (Brandolini et al., 2008).

2.5.5 A komló

A komló (*Humulus lupulus*) a sör elmaradhatatlan összetevője. Vadon termelt komlót nem, csak termesztett fajtát használnak sörfőzéshez, és ezen belül is csak a nőivarú alakot. Ténylegesen a komló tobozát lehet felhasználni, amit a virágzat formáz meg, és ez zárja körül a lupulin mirigyeket, amik a sörfőzéshez szükséges összetevőket, azaz a komló olajokat (0,5-2%), a komló cseranyagokat (4-14%) és a keserű anyagokat (10-23%) tartalmazzák (Kunze et al., 2004).

A komló a 35° és az 55°-os szélességi körök között terem, mivel a hosszú nyári nappalok ezen szélességi határok között elég hosszúak a növény megfelelő növekedéséhez. Az esőzések kifejezetten pozitív hatással bírnak a tobozok fejlődése során. A komlótobozok szüretelése augusztusban kezdődik, és szeptember végéig húzódhat el (Eßlinger, 2009).

A komlóolajok a lupulinban és a virágzatban találhatók, és több, mint 400 alkotó komponenst tartalmaznak. Ezen olajok 70%-át terpén-szénhidrogének alkotják, míg a másik 30%-ban különböző oxivegyületek, mint észterek, alkoholok, karbonilok vannak jelen. Ezek a vegyületek adják az egyes komlókra jellemző aromákat, amik majd a sörnek az édes, gyümölcsös íztől kezdve, a sajtos, fűszeres illatig nagyon sokféle aromát kölcsönözhetnek. Az észterek a gyümölcsös aroma kialakulásáért felelősek. A zsírsavak többségében a sajtos aromákat okozzák, melyek leginkább a nem megfelelő körülmények között tárolt komlóknál jelentkeznek. A komló összetétele nagyban függ a fajtától, az évjáratától, a termőhelytől, a szüretelés idejétől, a szárítástól és a tárolástól.

A komlóban fellelhető összes gyantákat kemény és lágy gyantákra oszthatjuk. A lágy gyanták legfontosabb összetevői a keserű savak, melyeket α - (3-17%) és β - savakra (2-7%) bonthatunk, melyeknek öt-öt homológiát ismerjük. A keserű gyantáknak köszönhető a sör kellemes komlókeserű íze, a hab stabilitása és a sör biológiai eltarthatósága, mivel számos mértékben gátolja a baktériumokat, főként a Gram-negatívokat (Eßlinger, 2009).

A sörlében található polifenolok 20 -30%-a komlóból származik, a többi a malátából. Ezek a polifenolok 80%-a kondenzálható, és nagyjából 20%-ban hidrolizálható összetevőkből állnak (Preedy, 2011). Általánosságban a proantocianidok okozzák a sörben a fehérje kicsapódást és zavarosságot. A söriparban a proantocianideket antocianogéneknek hívják. Az alacsony molekulású polifenolok természetes antioxidánsok, melyek megnövelik a sör redukáló képességét. Ezáltal megvédik a sört az oxidációtól, aminek köszönhetően a sör hosszabb ideig őrzi meg íze stabilitását. A nagy molekulású polifenolok megnövelik a sör színét, főként a hosszabb forralási idő után, és fanyar keserű ízt okoznak. Ugyanakkor veszélyt jelentenek a kolloid stabilitásra. Ezek a polifenolok eltávolíthatók a sörből a sörszűrés során a polivinil-polipirrolidon adszorbens segítségével. Ugyanakkor részben eltávolíthatók a seprő és az élesztő eltávolításával is (Eßlinger, 2009).

Külön figyelmet érdemes fordítani a xantohumolra és az izoxantohumolra, mivel ezek a komlóban található polifenolos vegyületek jelentős antioxidáns kapacitással bírnak (Gerhäuser, 2005; Stevens et al., 2004; Yamaguchi et al., 2009). Yamaguchi és társai (2009) arról számoltak be, hogy a xantohumol antioxidáns kapacitása többszöröse az E-vitaminénak.

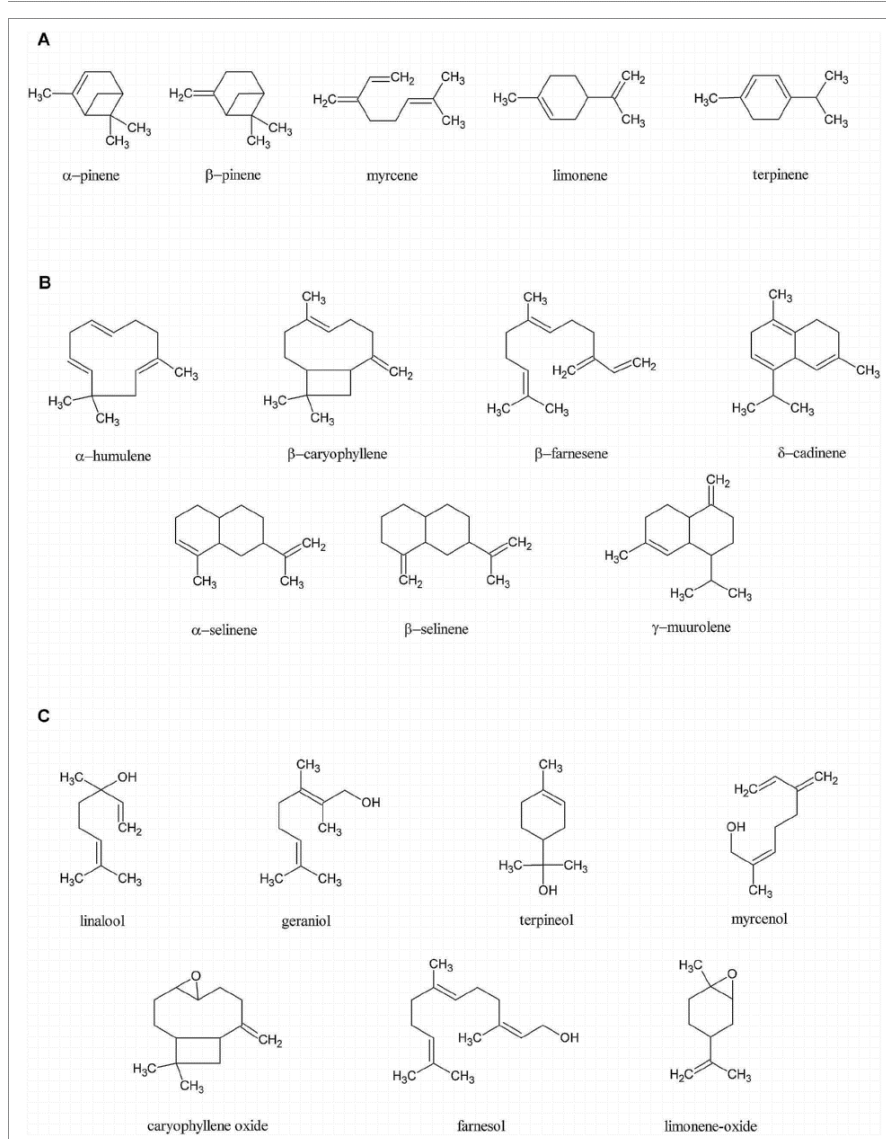
Tudományos kutatások folytak arra vonatkozóan az elmúlt 10 évben, hogy a komlóban is megtalálható prenilflavonoidok (xantohumol, izo-xantohumol és az alfasavak), preventív hatással lehetnek a rákos és a szívkoszorúér megbetegedések ellen. Ezen flavonoidok antioxidáns kapacitása nagyobb, mint a zöld teának, a vörösbornak illetve a szőlőlének (Vinson et al., 2003).

A komlót már egyre ritkábban használják az eredeti, tobozos formában. A különféle termékek előállításának fő célja a méretcsökkentés, ezáltal könnyebb a tárolása, mozgatása és kevesebb csomagolóanyag szükséges. Ugyanakkor a különleges csomagolóanyagoknak és csomagolási technikáknak köszönhetően a komló hosszabb ideig őrzi meg a minőségét. Három féle komló terméket különböztethetünk meg: hagyományos komlótermékeket (tobozos, pellet és extrakt), izomerizált komlóterméket (izo-pellet, fénystabil izomerizált komlóextrakt, és a forralás után használatos izo- és redukált izo extraktokat) és a különleges komlótermékeket (komló olajok, β -aroma extraktumok, xantohumulonnal dúsított termék). Az adott komlótermékek felhasználását a sörgyártási technológia és a gyártói javaslatok határozzák meg (Eßlinger, 2009).

A komlóval a sörlébe kerülő ásványi anyagok nem játszanak számottevő szerepet a sörtechnológiában, ugyanis a komló igen kis mennyiségben (1 - 2,5 g/l) kerül a sörlébe (Briggs et al., 2004).

2.5.5.1 *A komló, mint antioxidáns forrás*

A maláta mellett a komló (*Humulus lupulus* L.) nagymértékben hozzájárul a sör antioxidáns tartalmához. Flavonoidok típusainak széles spektrumát tartalmazza, amely magyarázattal szolgálhat a gyümölcslevek és teákéhoz hasonló magas értékekkel. Legmagasabb arányban a komló nőivarú egyedeinek virágjában fedezhetők fel polifenolok, de ezenkívül kalkonok, flavonoidok és katechinek gazdag forrása (Stevens et al., 1997).



10. ábra A fő kómló polifenolok kémiai szerkezete: (A) flavonoidok, (B) prenilflavonoidok és (C) fenolos savak (Karabín et al., 2016)

A kómlóból a sörbe kerülő proantocianidinek stabilizálják a késztermék organoleptikus tulajdonságait és színét. Számos flavonoid, mint a kalkonok, flavanonok jelenlétét is igazolták mind a kómlóban és a sörben. Ezek az összetevők felelősek a sörök magas antioxidáns aktivitásáért. A szárított kómló 4-14% polifenolt tartalmaz, nagyrészt fenolos savakat, kalkonokat, flavonoidokat, katechineket, proantocianidineket (Stevens et al., 2004).

Az izohumulonok (izo-alfa-savak), amelyek a sör keserű ízének kialakításában vesznek részt és védelmet nyújtanak a baktériumok ellen, humulonokból képződnek izomerizációval a sörlében a kómlóforralás folyamán. Az izohumulonok analógjai az izohumulon, izokohumulon és izoadhumulon. Ezáltal a kómlóból származó antioxidáns vegyületek nem csak a végtermék oxidációja ellen játszanak fontos szerepet, hanem a nemkívánt bakteriális fertőzéssel szemben is hatékonyak (Preedy, 2011).

2.6 A malátázás és a sörkészítés technológiája és a technológia hatása az egészségvédő hatású komponensek alakulására

2.6.1 A malátázás technológiája

Az árpa a legfontosabb gabonaféle, amelyet malátagyártásra használhatunk. Ebből kifolyólag a továbbiakban a malátázás technológiáját árpára alapozva írom le.

Az árpa képes olyan enzimek termelésére, amelyek hidrolizálják a keményítő tartalmú endospermiumot, ezenkívül olyan fiziko-kémiai folyamatokat indukálnak, amelyek a végtermék, azaz a sör ízének, habzásának és színének kialakulásáért felelősek. A nem megfelelő mértékben degradálódott fehérje és az endospermium sejtfala megakadályozza az enzimek endospermiumba történő áramlását, ezzel csökkentve a végtermék extrakttartalmát, lassú szűrhetőséget eredményezve, valamint a már tárolt sör túlzott habzását.

A malátázás fő szakaszai: árpa átvétel, áztatás, csíráztatás, aszalás, maláta kezelés. Az árpa az áztatás, csíráztatás és aszalás művelete alatt lezajló biokémiai változások eredményeképp válik malátává (Briggs, 1998).

Áztatás

A csírázás alapfeltétele egy bizonyos nedvességtartalom elérése. Az árpaszem nedvességtartalma kb. 12%-os, ezt vegetációs víznek nevezik és származhat magas páratartalmú levegőből is. Kb. 30%-nyi nedvességtartalom esetén elkezdődnek a katabolikus folyamatok, felgyorsul az anyagcsere, 38%-nál pedig megindul az egyenletes és gyors csírázás is. A malátázásnál ennél nagyobb, 44-48%-os nedvességtartalmat szokás beállítani, mivel az enzimeképzéshez és az endosperm feloldásához magasabb érték szükséges.

A mag a vizet nagyrészt a csíra részen veszi fel, kapilláris áramlással jut be, kezdetben csak a csíra környékét, majd az egész magot átáztatva. A vízbeáramlás a 4-8. órában a legintenzívebb, azután csökken a fehérje és a keményítő vízmegkötő képessége és beáll a nedvességtartalom. Különböző méretű és fajtájú gabonáknál ennek ideje különbözhet. Okozhatja ezt az eltérést a gabona beltartalma, duzzadóképesége, illetve a technológia. Az áztatóvíz hőmérséklete nagyban befolyásolja az áztatás sebességét, azzal egyenesen arányos. (Narziss et al., 2012).

A víz alatti és „száraz” (víz nélküli fázis) csíráztatás gyakoribb váltakozása kiegyenlíti a kialakuló különbségeket és gyorsítani tudja a folyamatot. 12-14 óránként ajánlott „száraz” szakaszt beiktatni, amíg a felületi vizet használja fel a gabona, és közben friss oxigénhez jut, ami azért fontos, mert az áztatóvízben oldott oxigént nagyon gyorsan felhasználja. A „száraz” szakasz, ami a teljes folyamat 50-80%-a, általában két-három részletben történik meg: beiktatják 30%

nedvességtartalom elérésénél, hogy az árpa vízérzékenysége csökkenjen, és 38% körül, ami az egyenletes csíranövekedést segíti. Csírafakadás előtt nem szabad elárasztani az árpát, permetezéssel állítják be a végső 42-44%-os nedvességtartalmat. Ajánlott 1-2 óránként 10 percen át levegőztetni és a szén-dioxidot elszivattyúzni. A teljes áztatás ideje 36-52 óra között mozog (EBlinger, 2009).

Az áztatás alatt felerősödnek olyan tevékenységek, mint a gabona aerob légzése, amely során a lebontott tartaléktápanyagokból CO₂ és víz, illetve hő keletkezik. A CO₂:O₂ arány 1:1, amit légzési koefficiensnek hívnak. Mivel a csíráztatáshoz az áztatóvízben oxigénre van szükség, de szén-dioxidra és hőre nem, egyszerű, állandó légbefúvásos kevertetéssel ellátott áztatókádban be lehet állítani az optimális 1:1-es arányt. (Briggs, 1998).

Csíráztatás

A csírázás fiziológiai folyamat. A beindult enzimtevékenység hatására a tartalék tápanyag egy része felhasználódik a levél- és gyökércsíra növekedésére. A csírázás csak meghatározott körülmények között megy végbe: elegendő nedvesség, hő, levegő és oxigén jelenlétében. Nagyon fontos, hogy a csírázás közben a nedvességtartalom ne csökkenjen, mert ez csírázási zavarokat okozna.

A kellő enzimtevékenység eléréséhez 14-18 °C javasolt, magasabb hőmérsékleten a folyamatok túlságosan felgyorsulnának, túl nagy lenne a légzési veszteség, azaz túl sok keményítő és egyéb tápanyag használnódna föl. A mag légzésének jó működéséhez elengedhetetlen a megfelelő oxigénellátottság. Az endosperm egyrészt oldódik, másrészt keményítőjéből oxidatív módon szén-dioxid és víz keletkezik. Az el nem távozó CO₂ gátolja a légzési folyamatokat, ezért a gabonahalmast állandóan - kíméletesen - kevertetni kell, hogy a keletkező hő és CO₂ kikerüljön a rendszerből és helyette oxigén lépjen be. A csírázás második szakaszában viszont az oxigén bevitelt célszerű csökkenteni a légzési veszteség csökkentésére (Briggs et al., 2004).

A szem oldódása a csíra közelében kezdődik, majd a felszívó hámmal párhuzamosan halad a mag hegye felé. Az oldódás a hátoldalon, ahol a levélcsíra előbújik, gyorsabban megy végbe, mint a szem hasi oldalán. Az árpák oldódási képessége különböző: a fehérjeszegény, nedves évjáratú vagy tengerparti vidékről származó árpák gyorsabban és jobban oldódnak, mint a nagy fehérjetartalmú száraz évjáratú árpák. Az elégtelen oldás miatt nehezen morzsolható szét a maláta, kicsi lesz az enzimkapacitása és többnyire rövid a csírája. Az ilyen maláta a főzőházban lassabban cukrosodik, kisebb végerjedésfokot ér el. Az erjedés az aminosavak hiánya következtében esetleg nem kielégítően folyik le. A nem megfelelő oldódás hatására a nagy molekulású β-glükán

tartalom is magas marad. A túlordott maláta pedig teljesen elmorzsolható szembelsőt, nagy enzimpotenciált és igen nagymértékű fehérjebontást mutat. (Kunze et al., 2004).

Csírázást előidéző enzimek

Az enzimek a pajzsocska és az aleuron réteg határán képződnek, a csírából víz hatására aktiválódott gibberellin hormonok irányítására. Az enzimes bontás a csíránál kezdődik, és halad egészen a magcsúcsig, amit optimális esetben nem ér el, mert addigra elkészült a megfelelő enzimmészlet, így leállítják a folyamatot.

A folyamatban részt vevő legfontosabb enzimtípusok az amilázok, a proteázok, a hemicellulázok és a foszfatázok. A hemicellulázok a sejtfalat alkotó hemicellulózok bontását végzik. Ennek két nagy csoportja van: a β -glükánázok (endo- β -glükánáz, exo- β -glükánáz, β -oligoszacharáz), és a pentozanázok (endoxilanáz, exoxilanáz, xilooligoszacharáz, arabinozidáz). A csírázás során az endo- β -glükánáz képződése a legerőteljesebb, 80%-ban jön létre glükánáz és csak 20%-ban pentozanáz. Ez az enzim az eredetileg oldhatatlan hemicellulózokat közepes molekulású glükánokká bontja.

A következő enzimszortba tartoznak a fehérjéket bontó proteolitikus enzimek, azon belül az endopeptidázok, amik a fehérjét nagyobb méretű peptidekre bontják. Ezek a peptidláncot csak egy bizonyos helyen tudják hasítani, ami függ az aminosav maradványtól. A maláta főbb tulajdonságai közé tartozik az optimális fehérje összetétel, azaz hogy az élesztők számára felhasználható állapotban lévő aminosavak (szabad α -amino nitrogén [SZAN]) rendelkezésre álljanak, viszont kellő mennyiségben maradjanak a sör habját és testességét befolyásoló nagyobb méretű polipeptidek is. A fehérjebontás során a tartalékfehérje bomlik le, a szerkezetiből kevés, viszont a sikefehérjék változatlanok maradnak, ezek a törköly részét képezik.

Az amilázok végzik a mag keményítőtartalékának kisebb láncú, oldható, szénhidráttá való lebontását. A β -amiláz már nyugvó állapotban megtalálható a magban, maltózt és β -határdextrineket képez. Exoenzim, ami kívülről hasítja le a maltóz egységeket az α 1-4 kötéseknel a nem redukáló láncvégeken, mindaddig, amíg az amilopektin szál elágazásához nem ér, mert α 1-6 kötést már nem tudja bontani. Az α -amiláz endoenzim, ugyanúgy α 1-4 kötést bont, viszont mindezt a keményítőlánc belsejében is meg tudja tenni. Ez az enzim sem képes viszont az elágazást kellőképpen bontani, a fennmaradó részt α -határdextrinnek hívják. Ezt az enzimet a csírázási hormonok hatására termeli az aleuron réteg, oxigén jelenlétében. Emellett fontos keletkezéséhez a nagy nedvességtartalom, a kezdetben nagy,

majd csökkenő hőmérséklet és a hosszú csírázási idő. A halmazban felgyülemlett szén-dioxid viszont gátolja az α -amiláz képződését, így annak mennyisége nem növekszik tovább.

A lipáz enzimek adják a csírázáshoz szükséges energiát, a magban lévő zsírok lebontásával. Hasításuk közben hő szabadul fel, ami emeli a rakás hőmérsékletét. A jó minőségű maláta elérése érdekében ezt a hőt el kell vezetni (Kunze et al., 2004).

A csírafejlődést és az oldódást a csíráztatási feltételek szabályozzák. Amikor a zöldmalátában az átalakulások már kellően előrehaladottak, az életfolyamatokat az aszalás szakítja meg.

Aszalás

Az aszalás legfőbb célja a biokémiai folyamatok megállítása, a fehérjék koagulálása és az íz- és aromaanyagok létrehozása. A kész maláta vízfelvétele elkerülendő, el kell távolítani a gyökércsírát. Aszalás közben a zöldmaláta vízelvonás hatására stabillá és tárolhatóvá válik.

Az aszalásnak két fő lépése van: először egy kíméletesebb, alacsonyabb hőmérsékletű fonnyasztás meg végbe, és utána a maláta típusa szerint aszalják, közepesen magas vagy nagyon magas hőmérsékleten. Az első fokozatban a malátát kb. 41-48 % nedvesség tartalomról 10 %-ig szárítják 40°C-on. Ezután az aszalás folyamán a nedvességtartalmat lassan tovább csökkentik. Az aszalást a világos malátánál 80-85 °C-on 3,5-4,5 %-ig, a sötét malátánál 100-105 °C-on 1,5-2 %-ig végzik.

A fonnyasztási szakaszban még magas enzimaktivitás figyelhető meg minden területen, sőt az enzimek számára kedvezőbb hőmérséklet és kellő nedvességtartalom miatt mind az enzimek, mind az oldható nitrogén és keményítőbontás-termékek mennyisége nő, a levélcsíra is életképes. Az aszalás során, 70°C felett viszont ezek a folyamatok lelassulnak, mivel csökken a nedvességtartalom és növekszik a hőmérséklet. Ilyen körülmények között a levélcsíra sem fejlődik tovább és a lebontott cukrok és fehérjeszármazékok felhasználatlanul felhalmozódnak a malátában. Az aszalás során alakulnak ki a színanyagok (Briggs, 1998).

2.6.1.1 A búzamaláta sajátosságai

A búzamaláta hasonló elven készül, mint az árpamaláta, viszont a pelyva hiánya miatt ügyelni kell bizonyos szempontokra. Jellemző rá a gyors vízfelvétel, 33%-kal gyorsabb, mint az árpánál. Ez az áztatási idő csökkentését teszi szükségessé. A csírázás beindulásához 37-38%-os nedvességtartalmat kell elérni, míg ahhoz, hogy 5-6 nap alatt megfelelő oldottságot kapjanak, 44-45%-ot. A búzarakásokat jobban szét kell teríteni, és mindenképp hidegben kell vezetni, ugyanis

sokkal tömöttebbek a szemek, mint az árpa esetében, és túl alacsony a csírafejlődés. Aszalása is óvatosabban, alacsonyabb hőfokon és lassabban történik. Az aszalási hőmérséklet emelkedése sokkal lassabb, fokozatosabb. A csírázási veszteség is nagyobb, mint az árpa esetében, a levélcsíra eltávolítása miatt (Briggs et al., 2004).

2.6.1.2 *A maláta, mint ásványi anyag forrás*

A malátagyártás során feldolgozásra kerülő árpa ásványi anyag tartalmát a termőhely, a fajta, termelési technológia és az évjárat határozza meg. Az árpában fellelhető ásványi anyagok döntő részét a kálium és a foszfor alkotja. A foszfátok primer-, szekunder- és tercier foszfátok formájában fordulnak elő és a puffer kapacitás biztosításában játszanak jelentős szerepet. A nyomelemek közül a cink, a mangán és a réz fordul elő, továbbá azok a nyomelemek, amelyeket a mag a környezetterhelés következtében vesz fel: a kadmium (átlagos értéke az árpában 0,03-0,07 ppm), az arzén (0,003-0,018 ppm), a króm (0,04-0,13 ppm) és a cink (18-32 ppm). A trágyázás hatással van az árpa ásványi anyag tartalmára. A vizsgálatok szerint a trágyázás következtében az árpa káliumtartalma csak kissé változott, a nátrium koncentráció változásában nem volt számottevő tendencia, inkább csökkenés volt tapasztalható. A trágyázás a kalcium és magnézium felvételre sem gyakorolt lényeges hatást. A cinktartalom csökkent, a vas és mangán koncentrációja azonban a trágyázással emelkedett. Az évjárat a nátrium-, vas-, mangán- és cinktartalmat, a fajta a kálium-, kalcium-, magnézium- és réztartalmat befolyásolta határozottabban. A malátázás első szakaszában, az áztatás alatt az áztató vízzel ásványi anyag is kerül a szem belsejébe, ennek mennyiségét pedig az áztató víz minősége befolyásolja. A malátázás paramétereit közül a csíráztatás időtartama gyakorolja a maláta ásványi anyag tartalmára a legnagyobb hatást, de sem a csíráztatási, sem az aszalási hőfok nem bír különösebb jelentőséggel (VECSERI, 2004).

Kutatások rámutattak arra is, hogy magasabb malátázatlan hányad alkalmazása mellett kevesebb ásványi anyag oldódik ki a sörbe, amivel számolni kell a sörgyártás során. (Vecseri, 2004).

2.6.1.3 *A maláta, mint antioxidáns forrás*

Ami a malátát illeti, számos vizsgálat foglalkozott annak a teljes polifenol- és antioxidáns-tartalom meghatározásával. Az eredményeket vizsgálva egyértelműen kiderül, hogy a maláta magasabb antioxidáns aktivitást produkált, mint a még nem malátázott alapanyag árpa. A jelentős különbség kialakulásának ideje a csíráztatás szakaszára tehető (Friedrich et al., 2002).

Felhasználásuk szerint két fő típusra oszthatjuk a malátákat: enzimet tartalmazó maláták és színanyagot tartalmazó maláták. Minél magasabb hőmérsékleten történik az aszalás, annál alacsonyabb a maláta enzim tartalma. Ezt az 5. táblázatban foglaltam össze.

5. táblázat Maláta típusok és jellemzőik (Carvalho et al., 2016)

Maláta típus	Szín tartomány, EBC	Nedvesség, %	Aroma	
			Leírás	Kémiai leírás
Enzimet tartalmazó maláta típusok				
Világos maláta	3-6	<3,5	Száraz, sült, mogyorós, kekszes	
Bécsi maláta	7 - 10	~4,5	Gabonás, kevésbé malátás	
Müncheni maláta	10 – 15	~3,8	Gabonás, jellegzetes malátás	Maillard termékek
Kara-maláta	25 - 40	<7,5	Édes, karamell, mogyorós, tejkaramell	Maillard vegyületek
Színanyagot tartalmazó maláta típusok				
Kristály maláta	90 – 360	~3,5	Malátás, karamell, tejkaramell	Furán vegyületek
Sötét kristály maláta	120 – 150	<3,5	Pörkölt kávé, karamell	
Karamell maláta	260 – 320		Pörkölt kávé, karamell	
Csoki maláta	1200 – 1400	<3,0	Kávés, melasz, csoki	Heterociklikus vegyületek
Sötét maláta	1440 - 1680	<3,0	Füstös, kávés	Pirazinos pirrolok

A maláta nemcsak a sör színéhez és organoleptikus tulajdonságaihoz járul hozzá, hanem az antioxidáns tartalmának köszönhetően jelentős szerepe van az oxidatív stabilitásban is, ami a sör fizikai és kémiai stabilitását jelenti. A kutatások bebizonyították, hogy a maláta a sörök legfőbb antioxidáns forrása.

A sörárpa és a maláta antioxidáns kapacitására legfőképpen a malátázás során végbemenő komponensek modifikációja és a hőkezelések vannak hatással. A kutatások bebizonyították, hogy a maláta antioxidáns kapacitása úgy növekedett, mint ahogy a fenolos összetevők képződtek. A kutatások bebizonyították azt is, hogy a maláta antioxidáns kapacitása az aszalás és pörkölés során növekedhet, legfőképp a Maillard reakció során képződő Maillard Reakció Termékeknek (MRT) köszönhetően. Az MRT-ről nemrég számos kutatás bebizonyította az egészségre gyakorolt jótékony hatását, mint a gyökfogó, antiallergén, antimutagén, antimikrobiális, citotoxikus és antioxidáns tulajdonságukat. A sörárpában található fenolos vegyületek többsége ugyanúgy megtalálható a malátában is, ami arra engedett következtetni, hogy a maláta antioxidáns kapacitásának legfőbb összetevője természetes eredetű (Carvalho et al., 2016).

A sör érzékszervi tulajdonságai megváltoznak a tárolás és az érlelés során, mely különböző kémiai, fizikai és érzékszervi átalakulásoknak köszönhetőek, melyek befolyásolhatják a sör minőségét. Az oxigén fontos szerepet játszik a sör öregedési folyamatában, mely gyors romlást okoz a sör ízében. Az oxigén reakcióba lép a vas ionokkal (Fe^{2+}) a Fenton- és a Haber-Weiss reakció során, ahol reaktív oxidatív vegyületek keletkeznek, mint például a hidroxil gyökök. A keletkezett gyökök nagyon reaktívak az etanollal, a második leggyakoribb vegyülettel a sörben, mely során mellékízek keletkeznek. Összességében véve a sör aromaprofilját nagyban befolyásolja az, hogy a szabadgyökök reakcióba lépnek szerves vegyületekkel, mint pl. a polifenolok, az izohumulonok és az alkoholok, ezzel megakadályozva egyéb ízrontó vegyületek kialakulását. (Guido et al., 2003).

2.6.1.4 Fenolos anyagok a malátában

Gyakran vizsgálták a maláta fenol- és polifenol tartalmát, azonban egyik kimutatási módszer sem tekinthető egyetemlegesnek. Összetettségük miatt kevert módszerekre van szükség, hogy meghatározhassák például a katechineket vagy antocianideket. Ilyen módszerek pl. a HPLC. Kolorimetriás módszerrel, amely a polifenolok és a vas ionok közötti reakción alapul, megbecsülhető a teljes polifenol mennyiség. Malátából aszkorbinsavat tartalmazó 60%-os etanollal lehet proantocianidineket kivonni. Jelentős mértékben tisztítható a proantocianidin, ha oldhatatlan PVPP-re adszorbeálják, és N-metilpirrolidonnal eluálják, majd butanol és sósav eleggyel melegítve lebontják, hogy mérhető színreakciót adjon.

2.6.1.5 A maláta, mint vitamin forrás

Az árpa és a maláta gazdag vitaminforrás, mely vitaminok az embrióban és az aleuron rétegben találhatóak, és melyek a sörlébe oldódnak a cefrőzés során. Fontosságuk a sörfőzés során a mennyiségüktől függ, mely több mint elégséges az élesztő fejlődéséhez a fermentáció során (Preedy, 2011). Némely vitamin kötött formában van jelen a malátában, melyek csak az enzimek hatására kerülnek a sörlébe a cefrőzés során. A riboflavin, a pantoténsav és a piridoxin mennyisége növekszik a malátázás során, ugyan úgy, mint az aszkorbinsavé is, de a többiekkel ellentétben az aszkorbinsav elbomlik az aszalás során (Mallett, 2014). Némely vitamin a csírában koncentrálódik, így a csíra eltávolításával ezeket is eltávolítják. Az A és D vitaminok nem találhatóak meg a malátában ebben a formában, de az árpában nagyobb mennyiségben található karotenoidok és szterolok, melyek az előbbi az A vitamin, az utóbbi pedig a D vitamin prekurzora. Ezeket fogyasztva a szervezetben vitaminokká szintetizálódnak. A szakirodalom szerint a riboflavin, a pantoténsav és a B6-csoport vitaminjainak mennyisége növekszik a malátázás során.

A legtöbb szakirodalom a B12 vitamin hiányát bizonyítja a malátában, a ritkán előforduló kisebb mennyiségek pedig a maláta felületén kialakuló a mikroflórának tudható be (Briggs, 1998).

2.6.2 A sörkészítés technológiája

A sörlé előállítás első műveleti lépése a maláta és a malátázatlan anyagok aprítása, majd a bennük található extrakt-tartalom kinyerése. A cefrézés célja a maláta és malátázatlan anyagok oldható anyagainak kinyerése, a nem oldható komponensek enzimes biokonverziója és oldatba vitele. A lebontási folyamatokat a malátában lévő enzimek katalizálják. Az amiláz mellett szerephez jutnak a fehérjebontó enzimek, amelyek a fehérjéket különböző molekulatömegű lebontási termékeken keresztül aminosavakká képesek bontani. A sejtfalbontó enzimek a maláta hemicellulózainak lebontása révén hozzáférhetővé teszik a sejtekben lévő keményítőt.

A söripari cefrézés legfontosabb enzimes folyamata a keményítőbontás. A malátakeményítő szemcsék formájában halmozódik fel, amilóz és amilopektin elegye. A keményítőszemcsék oldódása a vízzel való keverés és melegítés közben több lépcsőben megy végbe, miközben mechanikai, kémiai és enzimes folyamatok játszódnak le. Az enzimek a keményítőben lévő kötések hidrolízisét, illetve szintézisét specifikusan katalizálják (Kunze et al., 2004).

Ha nagy mennyiségű malátázatlan gabonát használnak a sörfőzés során, akkor a sejtfalak könnyebb elérése érdekében forralni kell a malátázatlan alapanyagot, így az enzimek könnyebben hozzájutnak a sejten belül található keményítőhöz és a fehérjékhez. Ezt a technológiát dekokciós technológiának hívják. A dekokciós forralás során a cefre hőmérsékletét a pótanyag keményítőjének csirizedési hőmérséklete fölé kell emelni, mely hőmérséklet magasabb a maláta csirizedési hőmérsékleténél (78 °C). A forralás során nagyobb mennyiségű β -glükán kerül a lébe, mely lebontására β -glükánáz enzimet is adnak a cefréhez. Ha pedig kis mennyiségű malátázatlan gabonát használnak, akkor nincs szükség a cefre forralására, így a cefrézés rövidebb ideig tart. Ezt a technológiát infúziós cefrézésnek hívjuk (Briggs et al., 2004).

A keményítő lebontására valamelyest a cefre koncentráció is hatással van. A maláta 75-80%-a extraktálódik a cefrézés folyamán, az oldhatatlan rész a törköly. A cefrézés befejezésével egy olyan szűrési folyamathoz értünk, ahol magam a törköly szolgál szűrőanyagként az extraktban gazdag sörlé elválasztásához. A színsörlének (vagy színlének) 4-8%-kal több extraktot kell tartalmaznia, mint amennyit a késztermékben el szeretnénk érni. Gazdasági okokból a törkölyből atmoszással ki kell nyerni a maradék extraktot, ezt a folyamatot másolásnak, az alacsony extrakt tartalmú vizet pedig máslovíznek nevezzük. A cefreszűréssel az extraktot a lehető legtökéletesebben ki kell nyerni a cefréből. A szűréskor fennmaradt részt törkölynek nevezzük,

amelynek összetétele függ az árpafajtától, az aratás idejétől, a hozzáadott pótanyagoktól, illetve a sörgyártás technológiájától (Santos et al., 2003).

A cefrézést a komló forralása követi. A forralandó sörlevet teleüstnek nevezik, mely tartalmazza a színlevet és a máslovizet is. A komlóforralás a komlóforraló üstben történik, melynek során a sörlevet egy-másfél órán keresztül forralják, miközben a komló keserű anyagai átkerülnek a főzetbe (izomerizálódnak), emellett fehérjekiválás, mikrobapusztulás, a maláta eredetű enzimek inaktiválása, színmélyülés és a felesleges víz elpárolgása következik be. A folyamat végén a komlót és a forró seprőt el kell választani a sörléből, majd minél hamarabb az erjesztés hőmérsékletére kell hűteni. A hűtési folyamat döntően befolyásolja az erjesztés sebességét és az extrakt tartalmat (Kunze et al., 2004).

A sörlé erjesztése a *Saccharomyces pastorianus* fajba sorolt ipari sörélesztő segítségével megy végbe. Az élesztő csak mono-, di- és triszacharidok metabolizmusára képes, a nagyobb oligomereket (dextrineket) már nem erjeszti (Deák, 1998). A hideg sörlébe annyi élesztőt adagolnak, hogy a kiindulási sejt koncentráció elérje a 10^7 sejt/ml-es értéket. A főerjedésre a szénhidrátok gyors asszimilációja a jellemző, míg az utóerjedés vagy ászokolás során a szénhidrát-fogyás lassul, helyette az érési, tisztulási folyamatok kapnak hangsúlyt (Narziss et al., 2012).

A főerjedési és az ászokolási folyamatot nem lehet elkülöníteni, mivel egymásba átmenő folyamatok. Az erjesztés során az élesztő először az összetett cukrokat bontja egyszerűekre, mely folyamathoz nélkülözhetetlen a foszfátok jelenléte. Az erjedési sebességet befolyásolja: a sörlé tisztasága, az erjeszthető cukor tartalom, a hőmérséklet, az élesztősejtek érintkezési felülete a sörlével, az élesztőtörzs genetikai tulajdonságai. Az ászokolás szakaszában a sör tovább tisztul a hidegseprőt okozó alkotórészekről, valamint telítődik széndioxiddal. A gyártási folyamatot tekintve az ászokpincében tölti a sör a legtöbb időt. Vastag falú pincében acéltankokat alkalmaznak és $0-1^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten zajlik az érlelés. Az ászoktankok fejtését nyomás alatt végzik a szén-dioxid távozásának megakadályozása érdekében. Az ászokolást a szűrés követi és a palackozással fejeződik be a sörkészítés (Kunze et al., 2004).

2.6.2.1 *A sörgyártási technológia hatása a sör ásványi anyag tartalomra*

A legnagyobb mennyiségű ásványi anyag csökkenést az oldhatatlan foszfátok képződése okozza a cefrőzés során, melyek a színlé szűrésével, a törköllyel távoznak. Az ásványi anyagok egyik legfontosabb befolyásoló tényezője a színlé koncentrációja. Minél hígabb a színlé, annál jobban oldódnak a kálium, nátrium, kalcium, magnézium, mangán és cink ionok. A cefrőzési idő növelésével a kálium, magnézium és réz ionok mennyisége megnő. Ezzel ellentétben a nátrium, kalcium, vas, mangán és cink szintek csökkennek. A komlóforralás során csökken az ásványi anyagok mennyisége a koagulált részecskékhez való fémes kötések kialakulásának köszönhetően. A komló adagolásával újabb ásványi anyagokat viszünk a sörlébe (Montanari et al., 2009).

Az α -amiláz enzim aktív térszerkezetének kialakításában a kalcium jelenléte elengedhetetlen, mivel csak az elsődleges kalciumkötő helyre beépült ion alakítja ki azt a térszerkezetet, amely az aktív centrumot működővé teszi. Az elsődleges kötőhelyen a kalciumiont nyolc ligandum erősen rögzíti, és az aktív konformációt biztosítja. A másodlagos kötőhely a szubsztrát kötő- és hasító helyének alján van. Itt a katalízisben szerepet játszó aminosavak is részt vesznek a kalciumion kötésében, ezért nagy kalciumion koncentrációnál a kalcium gátló hatással van az enzimre, beékelődik a szubsztrát és az enzim molekula közé, illetve leköti a reakcióban aktívan résztvevő funkciós csoportokat, ezáltal rontja az enzim aktivitását. Az α -amiláz enzim aktiválása céljából a cefrező vízhez kalcium-szulfátot vagy kalcium kloridot adagolnak, előfordul oltott mészh használata is (Vecseri, 2004).

Az erjedés során az élesztőnek szüksége van ásványi anyagokra – anionokra, mint a foszfor és kén ionokra - és kis mennyiségben fém ionokra is. A sörkészítés végén újabb ásványi anyagokat távolítunk el a sörszűrés során (Montanari et al., 2009).

Az élesztő optimális működéséhez (a szaporodásához és a fermentációhoz) szervesen ionok szükségesek, makromólos vagy mikromólos koncentrációban. Mivel az élesztő az ásványi anyagokat csak a környezetéből veheti fel (aktív transzport és közvetett diffúzió útján) így a sejt működéséhez az optimális környezet megteremtése rajtunk múlik. Az ionok szerepe az élesztő sejtben kettős, enzimes és szerkezeti funkciót látnak el (Montanari et al., 2009). Az élesztő szaporodásához 0,4 μM mennyiségű bórra van szükség. A kobalt koncentráció optimuma a szaporodásnál 0,1 μM . Hatásos stimulátor az alkoholos erjesztésben: az alkohol-dehidrogenáz mennyiségét 40 %-al növeli. A vas(II) 1-3 μM -os koncentrációban optimális az élesztő szaporodásához. 2-4 μM kálium szükséges az élesztő szaporodásához. Ez alatt jelentősen csökken a sejthozam. Az élesztő „magnézium-igénye” a szaporodáshoz és erjesztéshez egyaránt 2-4 mM. A mangán 2-4 μM -os koncentrációban optimális a szaporodás szempontjából. 10 mM feletti értékeknél a szaporodást folyamatosan gátolja, de a szénhidrát felvételre még a 40 mM-os

koncentráció sem gyakorolt gátlást. A molibdén optimális koncentrációja a szaporodás során 1,5 μM , az erjedésnél 1,3 μM . A szaporodás 5 μM -nál 50 %-al csökken. A molibdén hatása a mangánéhoz hasonló, de specifikus anyagcserét befolyásoló hatásai is vannak (Briggs et al., 2004). A nikkel szaporodást és erjesztést befolyásoló hatása a szubsztrát összetételétől függ és a 10-90 μM -os tartományban jelentkezik. A kalcium élesztősejteknel betöltött nélkülözhetetlen szerepe a következőket jelenti: töltés stabilitást biztosít a membránfelületen, elősegíti a lipidek és a fehérjék közötti kölcsönhatást, szabályozza a membrán szemipermeabilitását, hatással van az élesztősejtek flokkulációjára, elengedhetetlen szerepe van a sejtosztódásban. A cink az élesztő anyagcseréjének egyik esszenciális mikroeleme, kulcs szerepet tölt be a glikolízisben, úgy mint az alkohol-dehidrogenáz, a glicerín-aldehid-foszfát dehidrogenáz, az aldoláz enzim aktivátora (Vecseri, 2004).

6. táblázat A sörben található ásványi anyag mennyiségek (Vecseri, 2004)

Ásványi anyag	Napi szükséglet (mg)	1 liter sörben található mennyiség (mg)			
		Irodalmi adatok	Hazai sörök		
			Min.	Max.	átlag
Kálium	3500	100-780	170	650	385
Nátrium	2000	9-230	30	90	35
Kálium : nátrium		11 : 1			11 : 1
Kalcium	800	4-195	16	50	28,2
Magnézium	300	52-270	14	140	68
Mangán	4	0-0,35	0,04	0,35	0,09
Szelén	0,08	0-0,5	0	0,71	0,28
Cink	15	0,02-4,5	0	0,89	0,15
Foszfor	800	189-1100	128	547	249
Vas	14	0-2	0	0,52	0,07
Réz	1,4	0-1,2	0	0,71	0,116

2.6.2.2 Antioxidánsok a sörgyártás folyamán

Polifenolokat tartalmazó italok, mint a gyümölcslevek, teák, kávék, borok és sörök jótékony hatásai jól ismertek (Gorinstein et al., 2000). Ami a sört illeti, számos tanulmány ismertette fenol és antioxidáns tartalmát (Gorjanović et al., 2009). Amellett, hogy jó fizikai tulajdonságokkal ruházzák fel a sört, részt vesznek a hab tartósságának kialakításában, a sör fizikai és kémiai stabilitásában és az eltarthatóságban (Mikyška et al., 2002).

A sörökben fellelhető polifenolok származhatnak a gabonából (árpa, búza, rizs, cirok, zab, stb.) és a komlóból, ezek minősége és mennyisége függ a maláta és a komló fajtájától. A figyelem középpontjába az árpa és az ebből készített maláta került, amely gazdag fenoloidokban (benzolsav, fahéjsav, tanninok, flavonolok, flavonok és amino-fenolos vegyületek) (Liu et al., 2007).

A főzési folyamatok az antioxidáns tartalom jelentős mértékű megváltoztatására képesek, főleg a polifenolos vegyületek érintettek. Tehát maga a gyártási folyamat nagyban befolyásolja a késztermék antioxidáns tartalmát.

Fontos megemlíteni a sörök antioxidáns-aktivitást mutató vegyületei kapcsán, hogy ezen italok nem tartalmazzak olyan mennyiségű antioxidáns-típusú vegyületet, amekkora mennyiség következtében pro-oxidánsként kezdenének viselkedni szervezetünkben, ahogy az néhány erős antioxidáns esetében, például C- és E-vitamin túlzott bevitelénél előfordulhat (Balogh, 2010).

Egyéb antioxidáns-tulajdonságú vegyületek hozzáadása a sörhöz az Egyesült Államokból ered, ahol először adtak aszkorbinsavat a késztermékhez. Innen terjedt át ez a módszer Európába. Az aszkorbinsav egy erős antioxidáns-hatású vegyület, amely megelőzi a sör színében, ízében és aromájában bekövetkező változásokat, meghosszabbítva a palackozott ital eltarthatósági idejét. Amennyiben antioxidánsot adnak hozzá, ez a legtöbb esetben 30-50 mg/l közötti aszkorbinsavat jelent. Hidrofil komponens lévén képes a peroxil gyökök semlegesítésére és meggátolja az oxidánsok citotoxikus hatását. Ezek mellett képes megelőzni vagy csökkenteni a hidrogén peroxid indukálta lipid peroxidációt és a OH-deoxyguanozin formációját, amely a DNS oxidáció következtében keletkezik (Dániel, 2016).

Célzott vizsgálatok is zajlottak, melyek kifejezetten a sör polifenolos komponenseinek hatásmechanizmusát vizsgálták. Ezek során igazolódott, hogy a galluszsav, a katechinek, a proantocianidinek és a flavonolok, mint például a kvercetin azok, amelyek a legnagyobb mértékben hozzájárulnak a sörök antioxidáns-aktivitásához.

Mindezek rávilágítanak arra tényre, hogy a polifenolos vegyületek hatása korántsem csak az antioxidáns-aktivitásukból fakad, hanem akár transzkripciós és transzlációs szinten is manifesztálódhat, így megítélésük is összetettebb ismereteket kíván (Arranz et al., 2012).

2.6.2.3 *A fermentáció hatása a gabonafélék antioxidáns tartalmára*

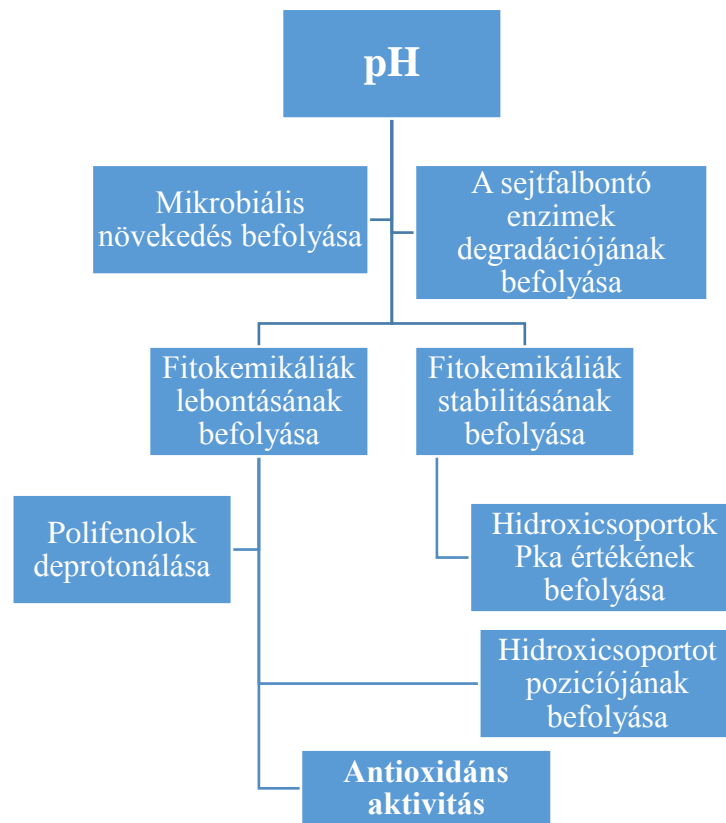
A fermentáció során számos olyan biokémiai változás zajlik le, mely eredményeként antioxidáns és oxidatív vegyületek keletkeznek (Zhang et al., 2012). A fermentációs folyamatoknak köszönhetően növelt tápértékű élelmiszerek állíthatók elő. Példaként kiemelhető a fenolos vegyületek mennyiségének növelése gyümölcsök esetében, ezáltal megnövelve azok antioxidáns hatását (Torino et al., 2013). A fermentáció során a növényi eredetű élelmiszerekből flavonoidok szabadulnak fel, minek köszönhetően az élelmiszerek természetes antioxidáns tartalma növelhető. A fermentáció által történő sejtfallebontás során bioaktív összetevők is felszabadulnak (Đorđević et al., 2010).

A különféle mikroorganizmusok alkalmazása a fermentáció során különféle eredményeket von maga után. Đorđević et al. (2010) a tejsavas és alkoholos erjedés során történő antioxidáns kapacitás változásait követték nyomon. Kutatásuk során arra a következtetésre jutottak, hogy az antioxidáns kapacitású vegyületek kimutathatósága függ a kivonatolási módszertől és az alkalmazott oldószertől. Így a polifenolos vegyületek mennyisége az alábbi oldószerek használatával csökkent: aceton > etanol > metanol. Ugyanakkor megemlítik, hogy az összpolicenol tartalom meghatározási kísérletekből származó eredményeket nehéz jól összehasonlítani a különböző kivonatolási módszerek és –idők alkalmazása mellett. Megállapították, hogy a vizsgált gabonák összpolicenol tartalma nagyobb mértékben nőtt a tejsavbaktériumos fermentáció során, mint az alkoholos fermentáció révén. A fermentáció során az aktiválódó növényi vagy mikrobiális eredetű enzimek segítségével (amilázok, xilanázok, proteázok) a sejtfalak bomlása révén a fenolos kötések felbomlanak, mely arra enged következtetni, hogy előzetes enzimes kezeléssel tovább növelhető az antioxidáns hatás (Bartolomé et al., 1999). A fermentáció elősegíti a nutritív anyagok elérhetővé válását a szervezet számára, ugyanakkor még több kutatást kíván e szakterület, mely meghatározza mi történik a fermentáció során szabaddá vált nutritív anyagokkal. A fermentáció segítségével a nutritív és antinutritív anyagok aránya a nutritív anyagok fele tolódik el (Đorđević et al., 2010).

Ugyanakkor nem csak a sejtfal bontásából származó antioxidáns hatású vegyületek mennyisége növekszik a fermentáció során, hanem a tejsavbaktériumok is termelnek ilyen vegyületeket. A legtöbb tejsavbaktérium már komoly antioxidáns aktivitással rendelkezik. Különböző *L. casei* törzsek Fe^{2+} és Cu^{2+} kelát kapacitással rendelkeznek, amely során a baktérium szervezete ellenálló az oxidatív stressznek (Lee et al., 2006).

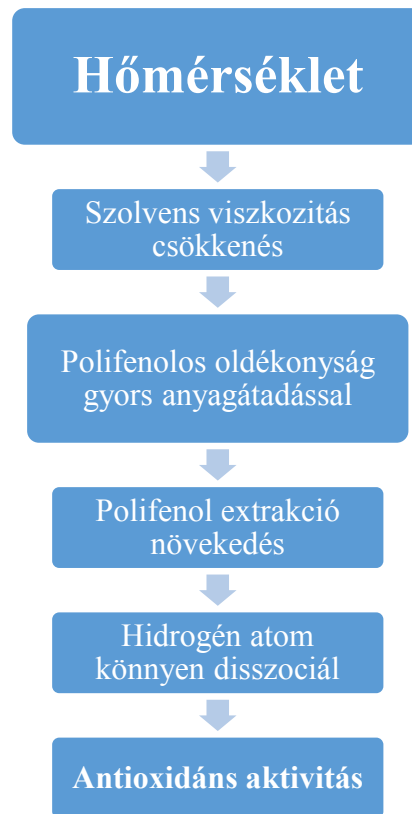
A különféle gombafajok alkalmazása a fermentáció során számos enzimmel járul hozzá a nutritív és antioxidatív anyagok felszabadulásához. Ezek az enzimek (glikoláz, hidroláz, cellulóz vagy xylán bontó enzimek és észterázok) meglágyítják a mag szerkezetét és lebontják a sejtfalat, mely által észterezett nutritív anyagok válnak szabaddá (Cai et al., 2011).

A fermentációval összefüggésbe hozható antioxidánsok hatása számottevően függ a környezet pH-ától. Az antocianidok alacsony pH-n stabilok, ezzel ellentétben a bor antocianidjainak, a pH emelkedésével növekszik a gyökfogó képesség. A zöld teában található katechinek savas közegben stabilak, lúgos közegben pedig rendkívül instabilak (Hur et al., 2014). Az 11. ábra a pH hatását mutatja be a fermentációra és az antioxidáns aktivitásra nézve.



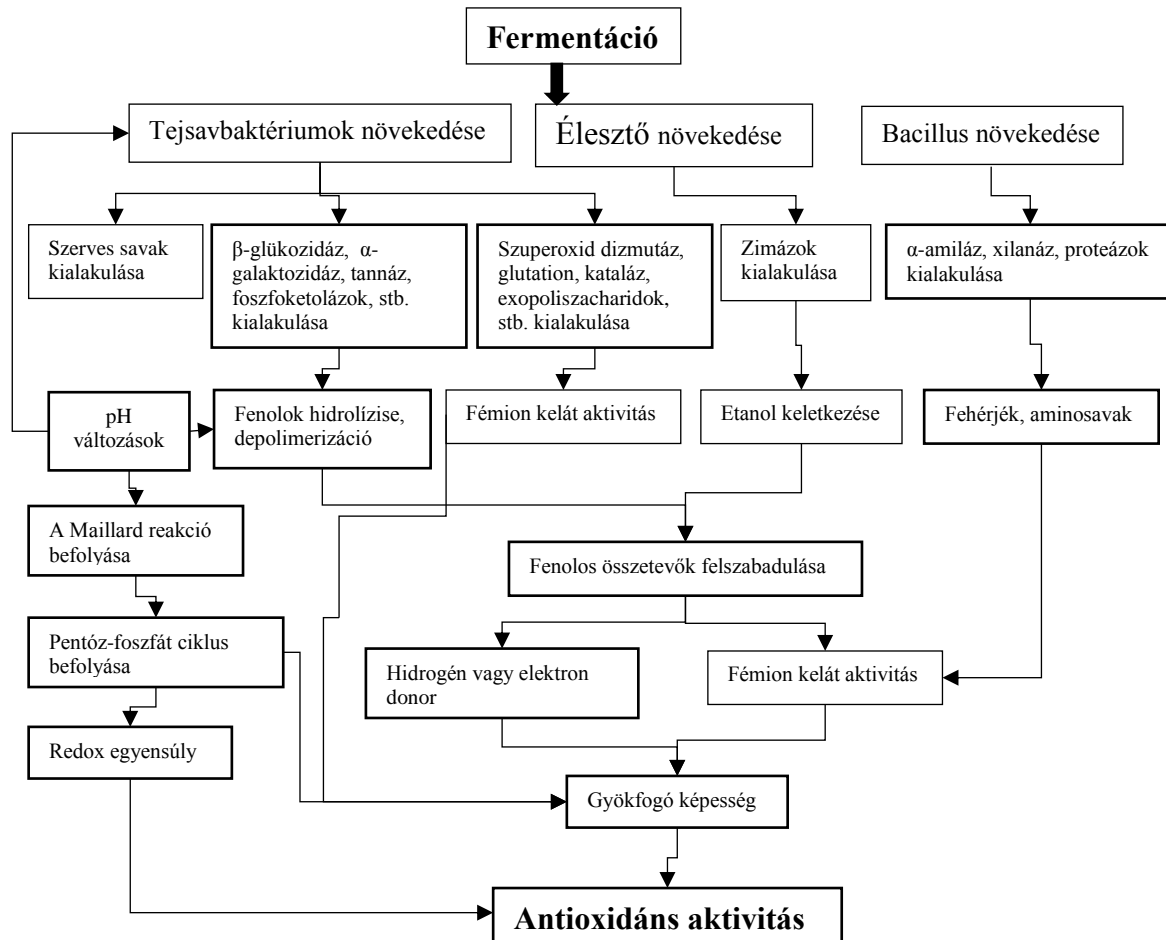
11. ábra A pH hatása a fermentációra és az antioxidáns hatásra nézve (Balogh, 2010)

A hőmérséklet változása a fermentáció során ugyancsak befolyásolja annak végbemenetelét. Az állandó optimális hőmérséklet beállításával a mikrobiális és enzimikus aktivitás növekedés biztosított, ezáltal a fermentáció jótékony hatása is. Mindemellett a növényi eredetű termékek antioxidáns kapacitását számottevően befolyásolja a hőmérséklet. A mikroorganizmusok növekedését a hőmérséklet befolyásolja, ezáltal a mikroorganizmusok által termelt antioxidáns hatású enzimek mennyiségét is. Thavasi et al. (2009) bebizonyította, hogy a fenolok gyökfogó képessége megnő a hőmérséklet emeléssel. Több kinetikus energia közlése során a fenolok OH csoportja instabillá válik és a hidrogén atom könnyen disszociál (12. ábra) (Hur et al., 2014).



12. ábra A hőmérséklet hatása az antioxidáns aktivitásra (Balogh, 2010)

Hur és munkatársai (2014) vizsgálták a növényalapú élelmiszerekben a fermentáció hatását az antioxidáns aktivitásra (13. ábra).



13. ábra A fermentáció hatása az antioxidáns aktivitásra (Hur et al., 2014)

2.6.2.4 A sörkészítés hatása a vitamin tartalomra

A legtöbb vitamin az enzimek hatására oldódik a sörbe a cefrézés során. A zsírolható vitaminok kiszűrődnek a törköly és a seprő szeparálásával. Ugyanakkor számos vitamin nem éli túl a hosszú komlóforralás alatti hőshokot. A B csoport vitaminjai nélkülözhetetlenek az élesztő megfelelő metabolizmusához, ugyanakkor a B12 vitamin kimondottan az élesztő hatására termelődik. Egyes vízoldható vitaminok eltávolítódnak a kovaföldes sörszűrés során (Preedy, 2011).

3 CÉLKITŰZÉSEK

A különféle sörök egészségre gyakorolt hatása jól ismert a nemzetközi szakirodalomból. Egy új alapanyag bevezetése a sörgyártásba igen összetett, hosszú folyamat. Ennek során pontosan fel kell tárni az „alapanyagjelölt” összetételét: a sör minősége szempontjából kedvező és kedvezőtlen komponenseit, meg kell vizsgálni a csírázási tulajdonságait, valamint alkalmasságát az ipari technológia megvalósítására. Számos kutatást végeztek az alakor búza (*Triticum monococcum* L.) hasznosítására, de söripari alkalmazhatóságával mindeddig nem foglalkozott senki. Ezt a lehetőséget kihasználva tanulmányoztam a Kőrös-Maros Biofarm Kft. által termesztett bio alakor búzát, és malátázási valamint sörrelőállítási kísérletekbe vontam be. Ezzel párhuzamosan vizsgáltam egészségvédő hatású alkotókat és mennyiségük változását a teljes technológiai művelet során, beleértve a nyersanyagot és a végterméket is.

Munkám során az alábbi célkitűzéseket fogalmaztam meg:

1. Az alakor búza söripari alkalmazhatóságának vizsgálata a söripari eljárásnak megfelelően.
2. Malátázási eljárás kidolgozása mikromalátázó berendezés segítségével, a kész maláták minősítése. Emellett további célként tűztem ki egy olyan statisztikai modell felállítását, mely segítségével optimalizálható az alakor malátázási folyamata.
3. Azon söripari műveletek feltérképezése, amelyek a malátázott és a malátázatlan alakor felhasználása esetén eltérést mutatnak a klasszikus sörgyártási gyakorlathoz képest. A kísérletsorozatot léptéknöveléssel kívánom végrehajtani, végső célként ipari körülmények között megvalósítható technológiai eljárást kidolgozni.
4. Az alakor búza és egyéb gabonafélék, majd az ezekből készült maláták potenciális egészségvédőhatással rendelkező komponensek mennyiségének vizsgálatát.
5. Célul tűztem ki a nemzetközi szakirodalmi forrásokból megismert egészségvédő hatású komponensek mennyiségének alakulását a sörgyártás technológiai folyamata során, majd az elkészült alakor sör potenciális egészségvédő hatással rendelkező komponensek mennyiségi elemzését.

4 ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

4.1 Anyagok

4.1.1 Gabonák és maláták

A Sör- és Szeszipari Tanszék részvételével zajló ALKOBEEER projekt első fázisában három évjáratból származó alakor búza fajták (*162 Törpe alakor, 154 Törpe alakor és MV alakor*) vizsgálata történt. A mintákat az MTA Martonvásári Mezőgazdasági Kutatóintézetének Génmegőrzési és Organikus Nemesítési Osztálya bocsátotta a rendelkezésemre.

A doktori kutatásom alapanyagaként az *MV alakor* búzafajtát választottam, ugyanis ez rendelkezett söripari szempontból megfelelő paraméterekkel. A Körös-Maros Biofarm Kft. által termesztett 2009-es, 2010-es és 2011-es aratásból származó búzával dolgoztam.

Kísérleti munkám első részében hántolt alakorral dolgoztam, mert az alakor pelyvályának inhomogén elszíneződése, ami később befolyásolhatja a sör színét. Így kísérletek indultak a hántolt alakor felhasználására. A nem megfelelő hántoló berendezés túlságosan megkoptatta a szemeket, ezek olyan mértékben sérültek, hogy az áztatás után a lágyszikertartalmú keményítő elfolyósodott és kifolyt a szemből. A kifolyt keményítőtől összeragadtak a szemek, melyek a továbbiakban nem jutottak megfelelő mennyiségű oxigénhez, a hőelvezetés is akadályozva volt, így csak részben volt sikeres a malátázás.

Számos malátázási próbálkozás után visszatértem a pelyvás alakorhoz. A későbbi eredmények már ennek az alakornak a minősítését prezentálják. A minták jelölését a 7. táblázat ismerteti.

Doktori munkám részét képezte a bio alakor búza antioxidáns tulajdonságainak feltérképezése. Összehasonlításképpen számos - az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetében nemesített - söripari célra szánt, őszi és fakultatív típusú búzát, illetve a belőlük előállított malátát is vizsgáltam. A fakultatív típusú gabonák tavasszal és ősszel is vethetők. Az általam vizsgált alakor tavaszi vetésből származott. Ezeket a gabonákat és a belőlük készített malátákat a 7. táblázatban foglaltam össze.

7. táblázat Alakor és fakultatív típusú búzák jelölése

NÉV	TÍPUS	RÖVIDÍTÉS
Hántolt alakor/malátája	tavaszi	ALA/ MALA
Hántolatlan alakor	tavaszi	HAJ
MV 14-11 búza/malátája	fakultatív	B1/ BM1
MV 335-10 búza/malátája	fakultatív	B2/ BM2
MV 09-09 búza/malátája	fakultatív	B3/ BM3
MV05-08 búza/malátája	őszi	B4/ BM4
MV-Regiment búza/malátája	őszi	B5/ BM5
MV06-09 búza/malátája	őszi	B6/ BM6
MV 322-10 búza/malátája	őszi	B7/ BM7
MV-Taller búza/malátája	őszi	B8/ BM8
Pilseni maláta (kontroll)	-	PILS
Bioárpa (kontroll)	tavaszi	ÁRPA

A laboratóriumi kísérletekhez, a félüzemi és üzemi kísérletekhez a kereskedelemben is kapható Pilseni (2-6 EBC szín érték) típusú és KaraRed (41-60 EBC szín érték) színes malátát is használtam.

4.1.2 Enzimek

A kutatás során felhasznált enzimek az ERBSLÖH Geisenheim AG cég által gyártott enzimek voltak, melyek jellemzői a következők:

1. Beerzym Amyl: bakteriális α -amiláz; pH optimum: 5,8-6,0; hőmérséklet optimuma: 70-80°C, 90°C felett inaktiválódik,
2. Beerzym Penta: gomba eredetű pentozanáz és β -glükánáz; pH optimum: 4,5; hőmérséklet optimuma: 50°C a pentozanáznak és 70°C a β -glükánáznak,
3. Beerzym Saphir: gomba eredetű hő- és pH-toleráns pentozanáz, β -glükánáz és proteináz; pH optimum: 5,0; hőmérséklet optimuma: 55°C a pentozanáznak és a β -glükánáznak, a proteináznak pedig 60°C.

4.1.3 Élesztő

A félüzemi sörelőállítás során modelleztem az erjesztést is, melyhez kereskedelmi forgalomban kapható felsőerjesztésű sörélesztőt használtam. Az erjedési folyamatot az élesztő gyártó utasításainak megfelelően vittem véghez, vagyis a főerjedést 18-24°C között végeztem a kívánt erjedési fokig, melyet napi mintavételezéssel ellenőriztem. Az élesztő elválasztása után az

ászokolást pedig 4°C alatt végeztem minimum 21 napig. Az élesztő beoltást minden esetben rehidratálás után végeztem el a gyártó utasításainak megfelelően.

4.1.4 Felhasznált vegyszerek, reagensek

- A Folin-Ciocalteu reagenst, az ABTS-t (2,2'-azino-di-(3-etilbenzotiazolin)-6-szulfon sav), a DPPH-t (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil), a TPTZ-t (2,4,6-tripiridil-Striazin), a galluszsavat, a troloxot és az aszkorbinsavat a Sigma (Sigma-Aldrich, Budapest, Magyarország) cégtől vásároltuk.
- A szénhidrát tartalom meghatározásakor használt HPLC minőségű glükózt, fruktózt, maltózt és maltotriózt a Sigma (Sigma-Aldrich, Budapest, Magyarország) cégtől vásároltuk.
- A vitamintartalom meghatározásakor használt HPLC minőségű standardok (piridoxin klorid, nikotinamid, pantoténsav, ciano-kobalamin, tiamin, folsav, riboflamin, biotin) a Sigma (Sigma-Aldrich, Budapest, Magyarország) cégtől származtak.
- A HPLC tisztaságú metanolt a Scharlau cégtől (Barcelona, Spanyolország) szereztük be.
- A β -glükán meghatározásához az R-Biopharm *Enzytec™ Color GlucaTest®* tesztsomagját használtam (R-Biopharm Hungary Kft, Paloznak, Magyarország).
- A nagy tisztaságú vizet (18 M Ω) a tanszéken üzembe helyezett Milli-Q rendszerből nyerjük.

4.1.5 A vizsgálatokhoz használt kereskedelmi sörminták

8. táblázat Az antioxidáns kapacitás méréshez felhasznált sörminták

	Név	Élesztő típusa	Eredeti extrakt, % (m/m)	Alkohol tartalom, % (V/V)	Egyéb összetevő	Származási-hely
1	Alakor Bio sör	felső-erjesztésű	12,5	4,3	alakor	Magyarország
2	Bernard	alsó-erjesztésű	13	5,1		Cseh köztársaság
3	Budweiser	alsó-erjesztésű	12	4,7	aszkorbinsav	Cseh köztársaság
4	Carlsberg	alsó-erjesztésű	12	5,0		Dánia
5	Corona Extra	alsó-erjesztésű	11	4,5	kukorica	Mexikó
6	Dreher alkoholmentes	alsó-erjesztésű	5,45	0,5		Magyarország
7	Dreher Bak	alsó-erjesztésű	17,7	7,3	festő, karamell	Magyarország
8	Dreher Classic	alsó-erjesztésű	11,6	5,2		Magyarország
9	Fuller's IPA	felső-erjesztésű	12,5	4,3	nagyobb komló adag	Anglia
10	Gniewosz	alsó-erjesztésű	14,1	5,6		Lengyelország
11	Gösser Zitron	alsó-erjesztésű	10	2,0	citromlé	Ausztria

	Név	Élesztő típusa	Eredeti extrakt, (m/m) %	Alkohol tartalom, % (V/V)	Egyéb összetevő	Származási-hely
12	Hoegaarden	felső-erjesztésű	12	4,9	malátázatlan búza	Belgium
13	Ksiazecze	alsó-erjesztésű	13	5,6	aszalt csipkebogyó kivonat	Lengyelország
14	Oberdorfer	felső-erjesztésű	12,5	4,9	búzamaláta	Németország
15	Tyskie	alsó-erjesztésű	12,5	5,0	glükózszirup	Lengyelország
16	Wells Bombardie	felső-erjesztésű	13,5	5,2	cukor, színezék (E150C), stabilizáló (E450)	Anglia
17	Zywiec premium	alsó-erjesztésű	12,5	5,6		Lengyelország

4.2 Berendezések

4.2.1 Mikromalátázó berendezés

A Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Sör- és Szeszipari Tanszékén található, a Schmidt-Seeger német cég által gyártott mikromalátázó rendszert használtam a kísérleteimhez. A berendezés egy áztató-csírátató, illetve egy aszaló részből áll (15/a. ábra). A berendezés lehetőséget ad a hőmérséklet, a levegő és a vízellátás szabályozására és a halmazmozgatási ciklusok beállítására az áztatás és csírátatás során. Az áztatás során szabályozható a levegőztetés mértéke, melyet a berendezéshez kapcsolt kompresszor biztosít. Az aszalásnál szabályozható a hőmérséklet és a légkeverés visszaforgatásának aránya. A berendezés számítógép által vezérelt, ezáltal a beállított paraméterek mindenkor visszakereshetők és ellenőrizhetők.



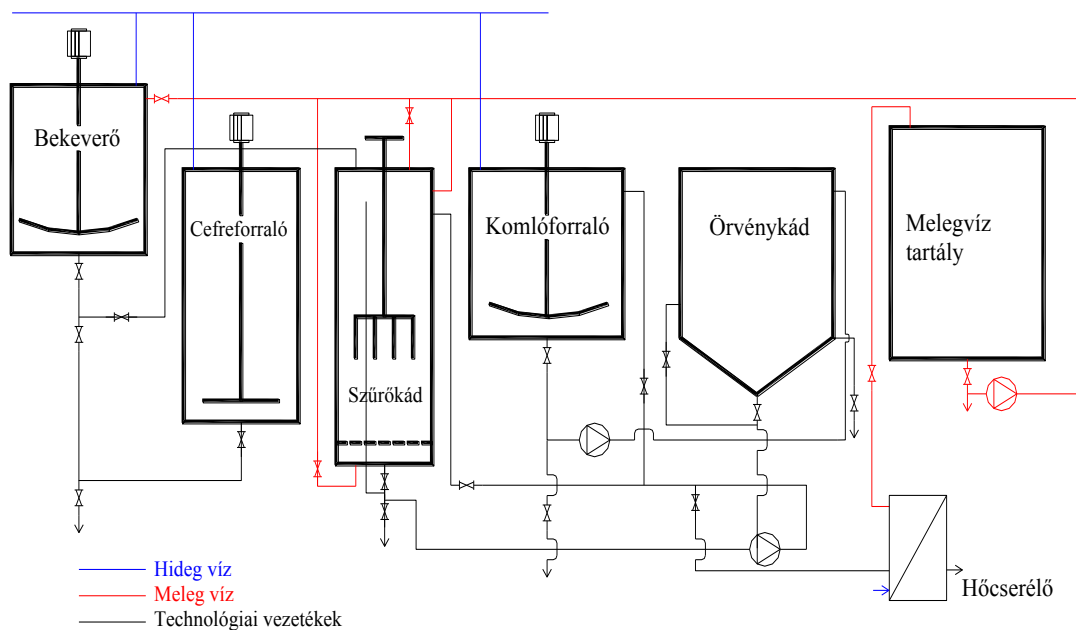
15/a. ábra Mikromalátázó berendezés



14/b. ábra A mikromalátázó forgató dobja

4.2.2 Félüzemi kísérleti sörfőzde

A laboratóriumi körülmények között modellezett sörfőzési folyamatokat léptéknöveléssel félüzemi berendezésen ellenőriztem. A Sör- és Szeszipari Tanszéken egy gőzzel fűtött 50 literes, dekokciós sörfőzésre is alkalmas félautomata főzőház található. Az itt elkészült sörlevek erjesztésére és ászokolására automata hőmérséklet szabályozású kúpos fenekű erjesztők (4x25 L és 2x50 L) szolgálnak. A sörkészítés technológiája a kísérleti üzemben az ászokolással ér véget. A félüzem tökéletesen megfelel a kiválasztott receptúra léptéknövelésére. A berendezés sematikus vázlatát a 16. ábrán látható.



16. ábra: A Sör- és Szeszipari Tanszék félüzemi sörfőzdéjének sematikus vázlatát

4.2.3 Laboratóriumi cefréző

A 1-CUBE (Csehország) laboratóriumi cefréző berendezés alkalmas EBC szabvány szerinti Kongresszusi és Négy-cefrés Hartong-Kretschmer szerinti cefrézésre, valamint egyéni program szerinti cefrézésre is. A laboratóriumi cefréző 8 db cefréző poharat tartalmaz, egyenként 500 ml-es térfogattal. A cefréző poharakban levő anyag folyamatosan kevertethető 100, illetve 200 fordulat/perc sebességgel.

4.3 Módszerek

Minden egyes mérési eredmény három párhuzamos mérésekből származik. Ahol ez eltér, azt az adott eredménynél jelzem a dolgozatban.

4.3.1 Alakor búza vizsgálata

Az alakor búzát és a belőle készült malátát széleskörű vizsgálatoknak vettem alá, hogy megállapítsam, alkalmas-e malátázásra és söripari hasznosításra. Mivel évszázadok óta a maláta- és sörgyártás fő alapanyaga az árpa, ezért a szabványos vizsgálati módszereket erre a gabonára dolgozták ki. A vizsgálatok során a MEBAK (Brautechnische Analysenmethoden), az EBC Analytica és a Magyar Szabvány módszereit alkalmaztam.

Doktori munkámban az alakor búza minősítését is ezekkel végeztem, illetve az árpára/árpamalátára érvényes értékekkel vettem össze – megfelelő kritikai hozzáállással.

Vizsgálataim rendkívül sokrétűek voltak, de nagyon sok rutin jellegű mérést is el kellett végeznem. Emiatt a dolgozatban csak a szabványtól eltérő vizsgálati eljárásokat fejtem ki részletesen, a szabványos eljárásoknál a hivatkozásokat adom meg.

Mechanikai vizsgálatok: osztályozottság (EBC Analytica 3.11.1), ezerszemtömeg (EBC Analytica 3.4), hektolitertömeg (MEBAK R-110.24.020 [2016-03]) és lisztesség-üvegesség (MEBAK R-200.12.800 [2016-03]).

Fiziológiai vizsgálat: csirázási energia meghatározása BRF módszerrel² (EBC Analytica 3.6.2).

Fizikai vizsgálat: Nedvességtartalom (malátázatlan: EBC Analytica 3.2, malátázott: EBC Analytica 4.2); Csirizesedési pont meghatározás (ICC Standar method No. 169).

Malátaminősítés: a standard Kongresszusi cefrőzés – maláta extrakt tartalma, extraktdifferencia, (EBC Analytica 4.5.1, 4.5.2); Négycefrés módszer Hartong-Kretschmer szerint (mely az enzimösszetételre utal) (Béndek, 1986); Kolbach-szám (MEBAK R-205.12.999 [2016-03]); β -glükán meghatározás (EBC Analytica 4.16.3).

β -amiláz enzim hőmérsékleti optimumának vizsgálata

A maláta β -amiláz aktivitásának meghatározására négy különböző hőfokon végeztem cefrőzést. A keletkezett maltóz mennyiségéből következtettem az enzim hőmérsékleti optimumára. A meghatározáshoz 30 g finomőrleményt 120 ml 45°C-os vízzel alaposan elkevertem. A mintát a vizsgálat hőmérsékletén (59°C/62°C/65°C/68°C) tartottam pontosan 25 percig 100 fordulat/perc kevertetéssel, majd gyorsan lehűtöttem. Desztillált vízzel

² Csirázási kapacitás meghatározására szolgál

200 grammra kiegészítettem és szűrőpapíron (MN615) leszűrtem. A szűrlet maltóz tartalmát HPLC analízissel állapítottam meg.

Amilóz-amilopektin arány meghatározása

Γ -ionok jelenlétében a keményítő és a jód komplexet alkot, melynek színét az elágazásmentes glükóz láncok hossza szabja meg. Az amilóz kék, az amilopektin barnás-lilás jód-komplexet alkot, így spektrofotometriásan külön-külön mérhető a két anyag koncentrációja.

Egy 100 cm³-es mérőlombikba analitikai mérleggen 50 mg szárazanyagnak megfelelő mennyiségű mintát mértem be, desztillált vízzel jelig töltöttem. Jól összeráztam, majd pipettával kivettem belőle 1 cm³-t, amelyet 100 cm³-es Erlenmeyer-lombikba vittem át és hozzáadtam 0,5 cm³ 1 mol/l-es NaOH oldatot és három percig forrásban lévő vízfürdőbe tartottam. Lehűtés után kb. 30 cm³ desztillált vizet adtam az oldathoz, majd pontosan ekvivalens mennyiségű 1 mol/l-es sósavoldattal közömbösítettem (pH mérőt használva). Ezután hozzáadtam 0,07-0,1 g kálium-hidrogén tartarátot, feloldottam, majd az oldatot áttöltöttem egy 50 cm³-es mérőlombikba. Végül adtam hozzá 0,5 cm³ jódoldatot, desztillált vízzel jelig töltöttem, összekevertem és 20 percig szobahőmérsékleten állni hagytam.

A reakcióidő eltelte után a minta abszorbanciáját spektrofotométeren mértem: 680 nm-en, 1 cm-es küvettában, vak oldattal szemben. A vak oldatban a minta helyett desztillált víz volt. A színintenzitás kiértékeléséhez kalibrációs görbét kell felvenni amilózból és amilopektinből készült standardokkal (9. táblázat) (Sólyom, 1985).

9. táblázat Amilóz és amilopektin kalibrációs adatok

amilóz (%)	amilopektin (%)	amilóz/amilopektin	amilopektin	abszorbancia
0	100	0	0,0553	0,007
25	75	0,0139	0,0339	0,028
50	50	0,0276	0,0276	0,107
75	25	0,0415	0,0138	0,135
100	0	0,0553	0	0,160

A kalibrációs oldatokkal hasonló módon jártam el, mint a fentebb említett vizsgálandó mintával. Az alkalmazott kalibrációs egyenes R² értéke 95,22%.

4.3.2 Laboratóriumi sörlé előállítás

Az alapanyagok mennyiségi arányának megválasztása, a cefrézési technológia kidolgozása és a koncentráció beállítása a laboratóriumi cefréző berendezésben történt.

Alapanyag oldalról megvizsgáltam a hántolatlan és a hántolt alakort, valamint az alakor maláta felhasználhatóságát. A termékfejlesztés szempontjából különböző minőségű és arányú különleges maláták hozzáadagolásával állítottam be az optimális sörlé összetételét.

A cefrézési technológia kidolgozása során infúziós és dekokciós cefrézési eljárásokkal dolgoztam.

A koncentráció beállítása során az örlemény:víz arányt olyan módon optimalizáltam, hogy az enzimes folyamatoknak a legkedvezőbb körülményeket biztosítsam és a kívánt extrakt tartalmat elérjem. A malátázatlan alakor felhasználása külső enzim adagolását igényelte, mely mennyiségét a laboratóriumi cefrézések során határoztam meg.

4.3.3 Félüzemi sör előállítás

A legjobb eredményt mutató laboratóriumi cefrézési eredményeket felhasználva félüzemi körülmények között sört készítettem. A laboratóriumi cefrézés során csak a cefrézési folyamatokat lehet modellezni, de a cefreszűrés, komlóforralás és az erjesztés csak félüzemben modellezve ad reprodukálható eredményt. A félüzemi sörkészítés lépései: malátaörlés, cefrézés (infúziós/dekokciós), cefreszűrés és másolás, komlóforralás, sörlé kezelés az örvénykádban, erjesztés, ászokolás.

4.3.4 Analitikai módszerek

Alkohol- és extrakttartalom meghatározás

A sörlé minták extrakttartalmát, illetve az erjesztett termékek extrakt- és alkoholtartalmát Anton-Paar típusú Alcoalyzer Plus söranalizátoron mértem. A berendezés egy alkohol mérő egységből és DMA4500-as sűrűségmérő egységből áll. A söranalizátor a minta alkoholtartalmát spektrofotométerrel a NIR tartományban méri, a sűrűségét (sör és sörlé) pedig U csöves denzitométerrel (EBC-Analytica 9.2.6, 9.43.2). A berendezés a két értékből Tabarié képletek segítségével számolja ki a többi paramétert: eredeti extrakttartalom, látszólagos és valódi extrakttartalom, látszólagos és valódi erjedési fok, energia tartalom.

Nitrogéntartalom meghatározás

Az alakor búza és az alakor maláta össznitrogén-tartalmát, illetve a Kongresszusi sörlé oldhatónitrogén-tartalmát a Kjeldahl módszerrel állapítottam meg (EBC Analytica 3.3.1).

Szabad α -amino nitrogén (SZAN) tartalom meghatározás

A sörlé megfelelő SZAN tartalma elengedhetetlen a sikeres lefolyású erjesztéshez, melyet ninhidrines módszerrel mértem (EBC-Analytica 4.10).

Szénhidráttartalom meghatározása HPLC módszerrel

A cefrézés és az erjedés minőségét szénhidráttartalom vizsgálattal ellenőriztem. A vizsgálat során HPLC-s méréssel vizsgáltam a sörlevek és a kész sörök glükóz, fruktóz, maltóz és maltotrióz tartalmát, mely vizsgálat körülményeit a 7. táblázatban foglaltam össze.

10. táblázat HPLC beállítások szénhidráttartalom meghatározás esetén

Kolonna	Aminex HPX-87H (Bio-Rad)
Mozgó fázis	0,005 M H ₂ SO ₄
Térfogatáram	0,21 ml/perc
Hőmérséklet	40 °C
Injektált mennyiség	3-25 μ l
Detektálás	RI detektor
Futás időtartama	25 perc

Első lépésben a törzsoldatok felhordásával kalibráltam. Savval tisztított kovaföld adagolásával redős szűrőpapíron tükrösre szűrtem a mintákat. Szükség esetén a szén-dioxidot rázatással elűztem, majd töménységük, színük miatt 10-szeresére hígítottam, végül 0,45 μ m-es mikroszűrőn leszűrtem azokat. A meghatározott térfogatú mintákat ezután beinjektáltam, lefuttattam őket, majd a kapott kromatogramokat kiértékeltem.

4.3.4.1 Antioxidáns kivonatolási módszer

A szakirodalmi hivatkozások alapján Pérez-Jiménez et al. (2008) készítettek egy átfogó összeállítást az antioxidáns kapacitáshoz használt kivonási módszerekről növényi élelmiszerek, olajok és italok esetén. Egyéb források között is kutatva kiderült számomra, hogy az eddig alkalmazott kivonási módszerek csak részben tárhatják fel a gabonák antioxidáns kapacitását. Ahhoz, hogy a lehető legteljesebb képet kaphassam az alakorban található összes antioxidáns kapacitásról, szükségessé vált egy olyan kivonatolási módszer kidolgozása, melynek köszönhetően megközelítően a legjobb képet kapunk az adott gabona antioxidáns kapacitásáról.

A különböző évjáratú hántolt és hántolatlan alakor (*Triticum monococcum* L.), valamint a sörárpa (*Hordeum vulgare* L.) és malátája, valamint 8 magyar nemesítésű búza (*Triticum aestivum* L.) mintaelőkészítését két lépésben végeztem el.

1. Első lépésben a gabona/maláta mintát 0,5 mm-nél kisebb rész nagyságú malmon megőröltem, majd az így kapott örleményt azonnal felhasználtam. Ebből 0,5 g örleményt zárható centrifugacsőbe mértem, majd hozzáadtam 20 ml metanol:víz elegyet (50:50, v/v, pH 2), majd ezt szobahőmérsékleten ráztam egy órán át. Ezután 10 percig 2500g-n centrifugáltam. A kapott felülúszót összegyűjtöttem. A visszamaradó üledékre 20 ml aceton:víz elegyet (70:30 v/v) mértem, és megismételtem a rázatást és a centrifugálást. A kapott felülúszót az előző lépésben kapott felülúszóhoz öntöttem. Az így kapott elegy képezte a mintaelőkészítés első fázisának mintáját.

2. Második lépésben a visszamaradó üledékre 20 ml metanolt és 2 ml koncentrált kénsavat mértem, és 20 órára 85 °C-os rázó vízfürdőbe helyeztem. Ezután centrifugáltam (10 perc, 2500 g), majd a felülúszót eltávolítottam. Kétszeri desztillált vizes öblítés után a felülúszót kiegészítettem desztillált vízzel 50 ml-re. Az így kapott elegy képezte a második fázis mintáját.

A metanol-vízzel (50:50, v/v; pH 2), majd aceton-vízzel (70:30, v/v) történő kioldás után egy metanol és konc. kénsavas kioldással a nem-extrahálható antioxidánsok, pl. a tanninok és a szénhidrátokhoz, ill. proteinekhez kapcsolódó fenolos vegyületek is kimutathatóvá váltak. A mérésekhez felhasznált minták, növényi anyagok pontos megnevezését a 7. táblázat tartalmazza.

A sörvizsgálat során a sörmintákat szén-dioxid eltávolítás céljából 15 percen keresztül ultrahangos fürdőben ráztam. Ezt követően redős szűrőn és kovaföldön leszűrtem, majd 10 percig 14000 rpm sebességgel centrifugáltam és a felülúszót használtam az antioxidáns-tartalom meghatározásához.

4.3.4.2 Antioxidáns kapacitás és összpolicifénol-tartalom meghatározás

Az antioxidáns kapacitás meghatározását négy különböző módszer segítségével végeztem el:

- **DPPH** (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) gyök megkötésén alapuló antioxidáns kapacitás mérés: BLOIS 1958-ban publikált módszerével.

A mérés menete: 1 ml metanolos DPPH oldathoz (100 ml metanolban 9 mg DPPH van feloldva) 50 µl mintát és 950 µl vizet adtam, majd a mintaelegyet 37 °C-on 30 percig inkubáltam. Az eredményeket µM TE/g sz. a.-ban adtam meg.

- Troloxra vonatkoztatott Antioxidáns Kapacitás – **TEAC** (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity): MILLER és munkatársai 1993-ban közölt módszerével.

Az ABTS gyökképzés a következők szerint történt: kálium perszulfát (4, 95 mmol/L) és ABTS (7 mmol/L) 1:1 arányú oldatát 12 órára sötétben, szobahőmérsékleten állni hagytam. Az oldatból 980 μl -t 20 μl mintaoldattal egészítettem ki, majd 1000 μl desztillált vizet adtam hozzá. Az abszorbanciát $\lambda=734$ nm-en 20 perc eltelté után mértem. Trolox oldatot használtam kalibrációs standardnak, az eredményeket $\mu\text{M TE/g}$ sz. a.-ban adtam meg.

- Vasredukáló képességen alapuló módszer – **FRAP** (Ferric Reducing Ability of Plasma):

Benzie & Strain 1996-ban közölt módszerével. A FRAP értéket úgy kapjuk meg, hogy összehasonlítjuk a minta extinkció értékét 593 nm-en, olyan reakció eleggyel, amelynek Fe^{2+} koncentrációja ismert. Ehhez előzetesen kalibrációs görbét vettem fel, ismert elegyként aszkorbinsavat alkalmazva. A mért, ismeretlen antioxidáns kapacitását $\mu\text{M AS/g}$ sz. a. (aszkorbinsav ekvivalens) adtam meg. A módszer alapján a következő lépésekben történt a mintaoldat összeállítása: 60 μL minta+ 40 μL DV + 3000 μL FRAP reagens. Az abszorbanciát $\lambda=593$ nm-en 5 perc eltelté után mértem.

- Összes polifenol tartalom meghatározása Folin-Ciocalteu reagenssel – **TPC** (Total Polyphenol Content) SINGLETON & ROSSI 1965-ben publikált módszerével.

A módszer alapján a következő lépésekben történt a mintaoldat összeállítása: 1250 μl Folin-Ciocalteu reagenst, 200 μl metanol-víz elegyet (4:1) és 50 μl mintát összekevertem, majd 1 perc után 1000 μl nátrium karbonát oldatot (0,7 M) adtam az oldathoz. A kalibrációs egyenest galluszsav segítségével vettem fel. Az összeállított kémcsöveket 5 percre 50 °C-os vízfürdőbe tettem. A reakció során keletkező kék színű vegyület mennyisége fotometriásan meghatározható $\lambda=760$ nm-en. Az eredményeket $\mu\text{M GS/g}$ sz. a.-ban adtam meg (Singleton és Rossi, 1965).

4.3.4.3 Ásványi anyag tartalom meghatározása ICP-AES technika alkalmazásával

Az alakor búza és pelyvéja, a sörfőző víz és a sörlevek makro- és mikroelemek mennyiségének meghatározásához induktív csatolású plazmaemissziós spektrométert (ICP-AES) használtam. A vizsgált elemek közül a kimutatási határérték közelében vagy alatta volt a B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Ti és Zn, így az elemzést a K, P és Ca, Mg, valamint Na esetében végeztem el. A kimutatási határértékeket az alábbi táblázatban foglaltam össze:

11. táblázat ICP-AES berendezés kimutatási határértékei

Ásványi anyag	Kimutatási határérték, µg/ml	Ásványi anyag	Kimutatási határérték, µg/ml	Ásványi anyag	Kimutatási határérték, µg/ml
B	0,15	Cu	0,15	Na	0,10
Ba	0,15	Fe	0,15	Ni	0,15
Ca	0,10	Li	0,10	P	0,10
Cd	0,15	K	0,10	Pb	0,5
Co	0,15	Mg	0,20	Ti	0,15
Cr	0,15	Mo	0,15	Zn	0,15

A mérést mind az öt különböző őrlményhányadú minta (18. táblázat) esetén végrehajtottam. Az ICP-AES méréseket a Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Analitikai laboratóriumában mérettem.

- A mérés metodikája: EPAmethod 6010C : 2007
- Mintaelőkészítés:MSZ EN 13805: 2002
 - Teljesítmény 1,05 kW
 - Égő magasság 16 mm
 - Plazma gáz argon, 14 dm³/perc
 - Porlasztó gáz argon, 0,6 dm³/perc

4.3.4.4 *Víz- és zsíroltható vitaminok meghatározása HPLC módszerrel UV-PDA detektor segítségével*

A vitamin mérést a Nemzeti Agrárkutató és Innovációs Központ - Élelmiszer-tudományi Kutatóintézet (NAIK-ÉKI) Élelmiszer-analitikai Osztályán végeztem el. A vitamin mérés során használt beállításokat a 8. táblázatban foglalom össze.

12. táblázat HPLC beállítások vitamin mérés esetén

Kolonna	Acclaim Polar Advantage II 3 µ, 2,1 x 150 mm (Dionex P/N 063187)
Mobil fázis A	0,015% hangyasav (ionmentes víz)
Mobil fázis B	17% metanol/83% acetonitril
Gradiens elúció	3 percig 100% A; 5 percen belül 0-45% B; 0,1 percen belül 45-100% B; 100% B 16,9 percig; majd injektálás előtt 5 perccel 100% A
Térfogatáram	0,21 ml/perc
Hőmérséklet	40°C
Injektált mennyiség	5 µl
Minta injektálási nyomás	1120 psi 100% A esetén, 510 psi 100% B esetén
Detektálás	UV-PDA detektor; 210, 280 és 350 nm-en

Készülék: Thermo Scientific Corporation Surveyor HPLC

Detektor: UV-detektor

Oszlop: Acclaim Polar Advantage II 3 μ m

Méret: 2.1 x 150 mm (Dionex P/N 063187)

Eluens: 0,015%-os hangyasav és 17:83 arányú metanol:acetonitril

A kolonnatér hőmérséklete: 40°C

Áramlási sebesség: 0,21 ml/perc

Injektált térfogat: 5 μ L

Standardok: piridoxin klorid, nikotinamid, pantoténsav, ciano-kobalamin, tiamin, folsav, riboflamin, biotin.

A kísérlet során csak a tiamin és a nikotinamid mennyiségek voltak a kimutatható határérték felett, így a későbbiekben csak ezek eredményeit tárgyalom.

4.4 Statisztikai elemzések

A különböző mérések során kapott adatok feldolgozása azok matematikai jellegének megfelelően történt. Az ábrákon feltüntetett eredmények a párhuzamos mérések átlagait és a szórásokat tartalmazzák. Valamennyi statisztikai elemzést 5%-os szignifikancia szinten ($p=0,05$) hajtottam végre a Statistica 10 (StatSoft, Tulsa, USA) software segítségével.

Mivel a vizsgált sörök esetében nincs abszolút kontroll minta, illetve kezelések sem történtek, így a 17 sör egymáshoz viszonyítása antioxidáns-aktivitás szempontjából a hagyományos statisztikai tesztekkel nem lehetséges kellő érzékenységgel. Éppen ezért az elemzésekhez a főkomponens analízist (PCA) alkalmaztam. Ez a módszer valamennyi mintát egyforma súllyal figyelembe veszi, és az összes vizsgált paramétert a minták 1-1 dimenziójának tekinti. Lényegében tehát valamennyi sört a mért paraméterek által alkotott multidimenziós térbe helyezi el. Az algoritmus kiszámolja valamennyi minta valamennyi dimenzióhoz viszonyított helyzetét. Ennek során kapjuk az úgynevezett Eigen vektorokat. Ezek segítségével aztán úgynevezett főkomponenseket alkotunk, melyek valamennyi mérési paraméter (dimenzió) figyelembevételével készülnek, és amelyek a minták variációjának adott %-át magyarázzák. Két ilyen főkomponenst felhasználva létrehoz a software egy BiPlot-ot, melyen a minták és az eredeti paraméterek is megtalálhatóak. Az én esetemben a 4 paramétert (FRAP, DPPH, TEAC, TPC,) így 2 főkomponensre redukálva tudom megjeleníteni. Az ilyen BiPlot-on két mintát reprezentáló

pont közti rész a köztük a redukált faktortérben meglévő Euklidészi távolságokat mutatja. Minél közelebb van tehát egymáshoz két minta, annál hasonlóbak. A vizsgált paramétereket jelző vonalak is jelentéssel bírnak. A vonalak hossza az adott paraméter variációjára utal. Minél hosszabb egy mérési paramétert reprezentáló vonal, annál nagyobb annak variációjára. A vonalak által bezárt szög a reprezentált mérési paraméterek közötti kapcsolatra utal. Minél inkább közelít 0° vagy 180° -hoz a bezárt szög annál erősebb a korreláció. 0° esetében pozitív, 180° esetében negatív irányú a kapcsolat. Ezzel ellentétben a 90° - vagy 270° -hoz közeli bezárt szög utal arra, hogy nincs lényegi kapcsolat a paraméterek között. A mintákat reprezentáló pontok és a paramétereket reprezentáló vonalak közti viszonyoknak is jelentése van. Minél távolabb található egy vonal eredőjétől, de annak mentén a minta pontja, annál magasabb az értéke az adott paramétert illetően. Ha a vektor irányával ellentétesen található meg, távol a vonal eredőjétől, akkor alacsony értékeket mutat az adott, reprezentált paramétert tekintve. Ha közel található a vonal eredőjéhez, akkor átlagos értéke van (Huang et al., 2005).

4.4.1 Statisztikai felüloptimalizálás válaszfelület módszer (Response Surface Methodology, RSM) segítségével felállított malátázási optimalizációs modellek

A statisztikai elemzésekben és modellezésekben alkalmazott válaszfelület módszer (Response Surface Methodology, RSM) a kapcsolatot elemzi a független és a függő változók között. A módszert G. E. P. Box és K. B. Wilson vezette be 1951-ben. Egyetértettek abban, hogy ez a modell csak egy hozzávetőleges képet ad a rendszerről. A módszer segítségével hatékonyan modellezhetőek olyan rendszerek változásai, melyek működése ismeretlen. A módszer segítségével modellezhető és meghatározható egy termékgyártás optimális körülményei. A kapott képlet segítségül szolgál a modellek hatékony alkalmazására (Bezerra et al., 2008).

A modell felállításához a StatSoft Inc. (USA) STATISTICA 10 szoftvert hívtam segítségül.

5 EREDMÉNYEK

Az eredményeket három külön alfejezetben értékelem a könnyebb áttekinthetőség érdekében.

Az első alfejezetben tárgyalom az alapanyag vizsgálati és a malátázási kísérletek eredményeit, valamint azok antioxidáns kapacitását meghatározó mérések eredményeit.

A második alfejezetben a laboratóriumi és a félüzemi sörfőzési kísérletekről számolok be.

A harmadik alfejezetben a sörök egészségvédő komponenseit határozom meg és hasonlítom össze más alapanyag összetételű sörökkel.

5.1 Az alakor, mint lehetséges söripari alapanyag feltérképezése. Malátakészítés optimalizálása

5.1.1 Az alakor minősítése

Az alakor búza a többi búzafajtól eltérően aratáskor pelyvával együtt kerül a tárolóba. A Körös-Maros Biofarm Kft.-től hántolt és hántolatlan alakor mintákat kaptam, így megvizsgálhattam mindkét változat alkalmasságát malátázási célra.

Az általam használt alakor búza fizikai tulajdonságait előzetesen a Sör- és Szeszipari Tanszék munkatársai vizsgálták. Az előzetes kísérletek megállapították, hogy az alakor szemek méret szerint igen nagy szórást mutatnak, ami az ipari tisztítási eljárások végrehajtását nagymértékben megnehezíti. Ennek az eltérő méretnek elsődleges oka a nagy mennyiségű pelyva, amely a szemeket lazán veszi körül. Dacára Brandolini et al. (2011) által közölteknek, munkám során nagyobb héj-mag arányt mértem, a héj mennyisége az alakorban meghaladja a 30 %-ot (17. ábra).



17. ábra Az alakor pelyva hányadának meghatározása. 1. Hántolatlan alakor; 2. A szemről leválasztott pelyva; 3. Hántolt alakor

Az előkísérletek során a hántolt alakor malátázása nem járt eredménnyel, mert a szemekből kifolyt a keményítő. Ebből az okból kifolyólag a továbbiakban a mikromalátázási kísérletekhez a pelyvást alakort használtam.

Az alakor mechanikai paraméterei: hántolatlan, hántolt

A 13. táblázat tartalmazza az alakor búza minőségi összehasonlítását a söripari árpa követelményeivel szemben.

13. táblázat Az alakor és sörárpa minőségi követelményeinek összehasonlítása

	Sörárpa minőségi követelményei (MSZ-08 1326-79)		Hántolatlan alakor	Hántolt alakor
	alapkövetelmény	határkövetelmény		
Hektolitersúly (kg)	68,0	legalább 65,0	35,3	77,9
Tisztaság (%)	98,0	legalább 96,0	91,5	98
Keverék (%)	2,0	legfeljebb 4,0	8,5	2
Ezerszem tömeg (kg/hl)	28-38		32	24
a 2,5 mm-es lyukasztású osztályozólemezen fennmaradó árpa (%)	75,0	legalább 70,0	45	0,5
a 2,2 mm-es lyukasztású osztályozólemezen áthulló árpa (%)	4,0	legfeljebb 5,0	23,2	76,4
Nedvességtartalom (%)		14,5	9,7	10,7

Megjegyzés: n=10 minta, 3 párhuzamos mérés

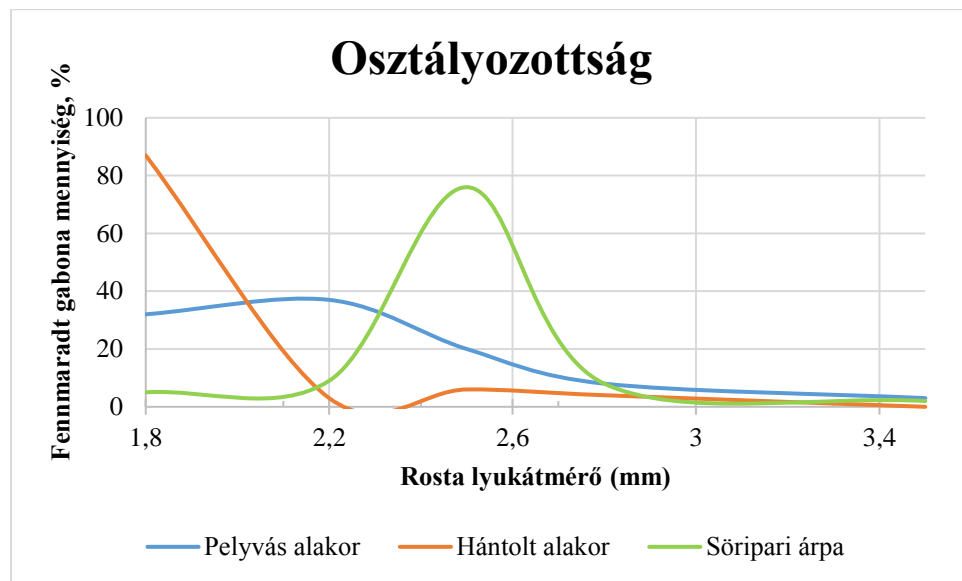
A mérések eredményeiből (13. táblázat) jól látható, hogy az alakor és az árpa fizikai tulajdonságai és egyes paraméterei határozott eltérést mutatnak, továbbá a hántolt és hántolatlan alakor esetén is eltérnek az eredmények.

A magas pelyva hányad magas hektoliter súly különbséget jelent, ugyan úgy, mint az osztályozottság esetében is. Az alakor fizikai paramétereit az árpa fizikai követelményeivel összehasonlítva megállapítható, hogy söripari célokra a hántolt alakor felelne meg.

Osztályozottság

Az alakor osztályozottság vizsgálatának eredményei számottevő eltérést mutattak a söripari árpával összehasonlítva (18. ábra). A söripari minőségi előírások szerint a 90%-nál nagyobb hányadú 2,5mm-es réstávolságú rostalemezen fennmaradó árpa tekinthető kiváló minőségű árpának. A 2,2mm-es rostalemezen áthulló szemeket ocsúnak neveznek, és ezeket a szemeket állati takarmányként értékesítik. Ha az osztályozottságát nézzük, akkor a hántolatlan forma kerül előtérbe. Az alakor szemek mérete kisebb az árpáénál, ezért van az, hogy a hántolatlan

forma 23,2%-a, a hántoltak pedig 76,4% áthullott a 2,2 mm-es rostán is, amint ezt a 18. ábrán is látható. A nagyon aprószemű alakor gondot okozhat az árpára méretezett berendezéseken való használata során.



18. ábra Az alakor és az árpa szemméret-eloszlása (Átlag, SD, n=12)

Csírázási energia meghatározása BRF-módszerrel

A csírázási energia vizsgálatok számottevő különbséget figyelhettem meg a hántolt és hántolatlan alakor szemek között. Az alakor pelyvéja védőburkot képez az áztatás során, ennek eltávolítása nagyon alacsony csírázóképességet eredményez. A nagy mennyiségű víz fulladást okoz a szemben, így magas malátázási veszteségre lehet számítani (14. táblázat).

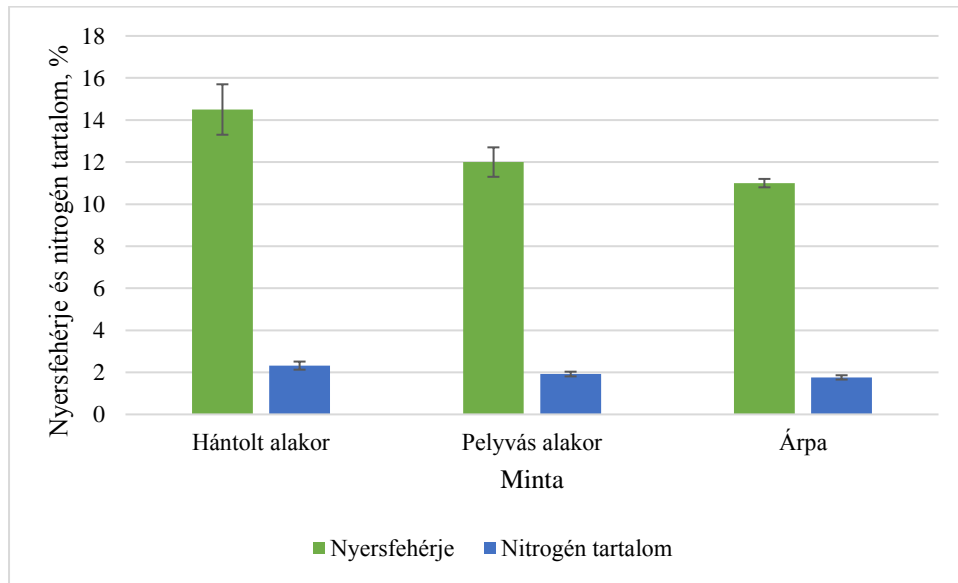
14. táblázat Csírázási energia változása különböző vízmennyiségek esetén (Átlag, SD, n=9)

Adagolt vízmennyiség (ml)	Hántolt alakor (csírázott szemek, %)	Pelyvás alakor (csírázott szemek, %)
4	7,33	34,6
8	10,7	51,1

A fenti eredmények függvényében választottam ki a pelyvás alakort a további malátázási kísérleteimhez.

Össznitrogén tartalom meghatározása Kjeldahl módszerrel

Meghatároztam a hántolt és a pelyvás alakor fehérjetartalmát, az eredményeket a 19. ábrán mutatom be. A söriparban maximum 11,5%-os fehérjetartalmú alapanyagot használnak a megfelelő extraktkihozatal miatt, így a 14,5%-os fehérjetartalmú alakor nem fogadható el. A megfelelő agrotechnikával ez az érték a kívánt értékre csökkenthető.



19. ábra Az alakor búza össznitrogén tartalma (Átlag, SD, n=3)

Az alakor keményítőjének amilóz és amilopektin aránya

Az alakor keményítő összetételét a 9. táblázat szerinti kalibrációs görbe alapján határoztam meg. Az alakorral végzett párhuzamos abszorbancia mérések eredményeit átlagoltam és a továbbiakban az átlag értékkel (0,0295) dolgoztam. A standard minták eredményeiből készített görbére kalibrációs egyenest illesztettem, melynek az egyenletébe behelyettesíttem az alakor mintára kapott abszorbancia értéket, így megkaptam, hogy az alakor amilóz tartalma 15% a szárazanyagra vonatkoztatva.

Ismert, hogy a söriparban használatos árpában a keményítőtartalom 17-24%-a amilóz és 76-83%-a amilopektin formában van jelen. Így levonható az a következtetés, hogy az alakor és az árpa keményítő szerkezete közel azonos.

5.1.2 Az alakor malátázási eljárásának kidolgozása

Számos malátázási kísérletet végeztem, majd az így kapott alakor malátákat különféle malátavizsgálati módszereknek vettem alá. A szakirodalomban kevés alakor malátázásra vonatkozó hivatkozást találtam, így dokumentálását fontos tényezőként kezeltem.

5.1.2.1 A malátázás optimalizálása

Statisztikai felületoptimalizálás válaszfelület módszer (Response Surface Methodology, RSM) segítségével felállított malátázási optimalizációs modellek

A modellt számos malátázási kísérletből származó eredményre építettem, az ismétlődések kizárása mellett. A szélsőséges, határértékeken kívül eső eredményeket, melyek oka mérési hiba lehetett, kiejtettem. Végezetül 9 malátázási kísérlet 10 paraméterét használtam fel a modellszámításokhoz. A különböző malátázási paraméterek állításával az elkészült malátáknál különböző beltartalmi értékeket kaptam, ezeket a következő oldalakon részletezem kategorizálva.

A mikromalátázási paramétereket a 15. táblázatban, az analízisekből kapott eredményeket a 16. táblázatban mutatom be. Ezek az adatok szolgálnak alapul a felületoptimalizációs statisztikai módszerrel kapott algebrai modellek felépítésében.

15. táblázat Mikromalátázási paraméterek

Malátázás száma	Csírázási napok száma	Áztatási hőmérséklet (°C)	Csírázási hőmérséklet (°C)	Nedvesség tartalom csírázás alatt (%)
1	5	14,5	15	45
2	5	15	22	44
3	5	15	17	43
4	5	22	22	45
5	5	22	15	47
6	4	22	22	44
7	6	22	22	42
8	5	22	17	49
9	4	24	24	46

Valamennyi malátázás után megvizsgáltuk a malátát. Meghatároztuk a nedvességtartalmat az áztatás végén és az aszalás után. A Kongresszusi cefrőzés módszerrel sörlevet állítottunk elő, melyből meghatároztuk a maláta beltartalmi paramétereit. Hartong cefrőzési módszerrel is vizsgáltam a paramétereket, de az eredményekből jól látszott, hogy ez a minősítési módszer árpára specifikus, így ezen eredmények felsorolásától eltekintek.

16. táblázat A mikromalátázási kísérletek során előállított maláták beltartalmi értékei

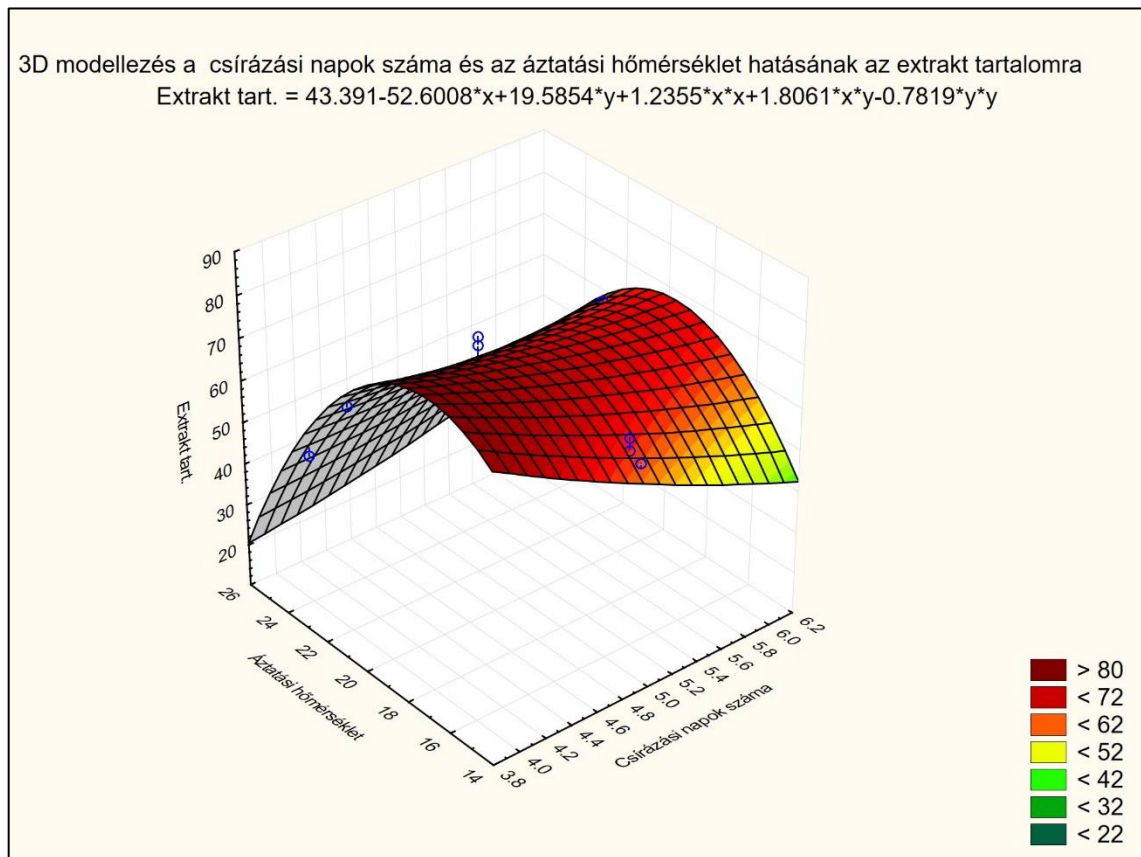
Malátázás száma	Kolbach szám (%)	SZAN (mg/l)	β -glükán (mg/l)	Extrakt differencia(%)	Extrakt tartalom (% , sz.a.)	Oldott N (% , sz.a.)
1	11	82	230	3,89	62	2,7
2	29	97	210	2,42	63	7,8
3	15	109	223	3,73	66	4,0
4	41	117	108	0,29	67	10,3
5	20	95	217	3,12	65	5,4
6	32	92	114	0,84	64	8,6
7	46	135	170	1,07	63	12,4
8	23	102	194	2,7	54	6,2
9	35	103	152	1,67	46	9,4

A malátázási kísérletekből származó maláták beltartalmi paramétereit vizsgálva (16. táblázat) arra a következtetésre jutottam, hogy a negyedik malátázási kísérlet paramétereit megfelelőek egy minőségi alakor elkészítéséhez. Jó minőségű malátának akkor tekinthető, ha a következő szempontok érvényesülnek:

- A proteolitikus folyamatokat a legjobban leíró érték a Kolbach index vagy szám. A szakirodalom szerint a kiváló minőségű árpa maláta Kolbach indexe 35 és 45% közötti. Ezen tartományon kívül eső értékekkel rendelkező malátákból készült sörök habtartóssága gyenge, mellékízek és aromák keletkeznek, színük sötétebb az elvárthoz képest (EBLINGER, 2009). Ebből a szempontból a 4. malátázási kísérlet malátája jól oldott.
- A maláta jól oldott, ha magas extrakt tartalommal (>80%), alacsony β -glükán tartalommal (<180mg/l), rendelkezik, és az extrakt differencia értéke 1,3 alatt található.
- Az élesztő szaporodásához megfelelő mennyiségű (min. 120 mg/l) SZAN-a van szükség, mely ugyanakkor befolyásolja a végtermék aromáját is.
- A magasabb hányadú oldott nitrogén tartalom magasabb oldottsági fokra enged következtetni.

Az így kapott eredmények alapján statisztikai válaszfelület módszerrel optimalizáltam az alakor búza malátázását.

Az áztatási hőmérséklet és a csírázási napok hatása a maláta paraméterekre



20. ábra A csírázási napok száma és az áztatási hőmérséklet hatása a maláta extrakt tartalmára

Amint a 20. ábra is szemlélteti, az alakorból akkor nyerhető ki a legmagasabb extrakttartalom, ha a csírázási hőmérsékletet 22 °C-ra állítjuk be és a csírázási napok száma 5 (figyelembe véve a gazdasági érdekeket is).

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{Extrakt tart.} = 43,4 - 52,6 * x + 19,6 * y + 1,24 * x^2 + 1,81 * x * y - 0,78 * y^2$$

ahol az x – a csírázási napok száma,

y – áztatási hőmérséklet (°C).

A további grafikus ábrázolásokat és az algebrai modelleket a Mellékletek M1. fejezetben tüntetem fel, a modellek szöveges értelmezését az alábbiakban részletezem:

Az áztatási hőmérséklet és a csírázási napok számának hatása a maláta oldottságára

- A M1/M1/35. ábra. ábrán látható, hogyha az áztató víz hőmérséklete túl alacsony vagy túl magas, akkor az kihatással van a maláta oldottságára. Öt nap csírázási időn túl és 24 °C-os áztatási hőmérséklet felett a modell nem értelmezhető.
- A β -glükán tartalmat legfőképp az áztatási hőmérséklet befolyásolja (M1/M1/36. ábra), de természetesen a csírázás előrehaladtával csökkenés érhető el.
- A proteolitikus folyamatok során a lebontott fehérjéből nagy technológiai szigorral képezhető vízoldható nitrogén, amely a paraméterek pontos betartását igényli. (M1/M1/37. ábra)
- A M1/M1/38. ábra. ábrán látható modell szerint, az alakor malátázása során végbemenő fehérjebontás számottevően megugrik a hosszabb csírázási idő során.
- M1/M1/39. ábra. ábrán található modell szerint az alakor malátázása során csak magasabb hőmérséklet és hosszabb csírázási idő mellett érhető el megfelelő mennyiségű SZAN (>120mg/l).

A csírázási napok száma és a csírázási hőmérséklet hatása a maláta paraméterekre

- A M1/M1/40. ábra egy olyan optimalizált malátázást ábrázol, mely értelmében 1,5-ös alatti extrakt differencia értéket úgy érünk el, ha a csírázási napok számát 5-re maximalizáljuk, és a csírázási hőmérsékletet pedig 22-24 °C között tartjuk.
- A M1/M1/41. ábra optimalizált felületén értelmezhető, hogy magasabb extrakttartalom akkor érhető el, ha magasabb hőmérsékleten több napig vezetjük a csírázási folyamatot. Ugyanakkor a csírázási hőmérséklet és a napok számának a csökkentése egy rosszul oldódott malátát eredményez (lásd a következő modelleket).
- A M1/M1/42. ábra azt szemlélteti, hogy a csírázási napok számának növekedésével és a csírázási hőmérséklet növekedéssel a β -glükán oldottság kisebb lesz, ami nem felelt meg a várakozásomnak. Ugyanakkor ez nem jelent értékbeli ugrást, mert a szűrés a β -glükán 200 mg/l-es koncentrációja alatt is biztonságosan véghezvihető.
- Az oldott nitrogéntartalom az árpamalátához viszonyítva magas, de ennek magyarázatául szolgál a magas fehérjetartalom is (2,3% avagy 14,5% nitrogén tartalom). Ez a magas fehérjetartalom a söriparban használatos söripari búzamalátákhoz képest is magas (átlag 1,9% avagy 11,7% nitrogén tartalom) (Briggs et al., 2004) . Az oldott nitrogéntartalom a szakirodalom szerint 3,9-4,7% közötti értékeknél a kívánt minőségű készterméket eredményez (Eßlinger, 2009). A M1/M1/43. ábra. ábrán látható modell szerinti alacsonyabb érték 5 napos 22 °C-os csírázási hőmérséklet mellett érhető el. Természetesen

az átszámításnál figyelembe kell venni a különféle konverziós együtthatót, melyet mást használnak az árpanál és mást a búzánál (Jones, 1931).

- A 46. ábrán látható modell is bizonyítja, hogy ugyancsak az öt napos 22 °C-on történő malátázással érhető el az alakor Kolbach indexének a megfelelő intervallumba (35-45%) állítása.
- Az árpamaláta SZAN értékét a szakirodalom 130-160 mg/l esetén tartja megfelelőnek. A túl magas SZAN esetén könnyebben elszaporodhatnak a sörben a nem kívánatos mikroorganizmusok (Eßlinger, 2009). Az M1/M1/45. ábra. ábráról leolvashatók az optimális paraméterek.

A csírázási hőmérséklet és a csírázás végén mért nedvességtartalom hatása a maláta paraméterekre

- A csírázás végi nedvességtartalom jelzi, hogy mennyire volt hatékony az áztatás, mely számottevően befolyásolja a csírázási folyamat előrehaladtát. Csírázás során a nedvességtartalom a második nap után megközelítőleg naponta 1%-ot csökken. A M1/M1/46. ábra. ábrán látható az a nedvességtartalom, melyet el kell érni az áztatás végére, ahhoz, hogy a legtöbb extraktot nyerhessük ki a malátából.
- Az optimális malátaoldottságot 45%-os áztatás végi nedvességtartalom és 22 fokos csírázási hőmérséklet mellett értem el, amint ez a M1/49. ábrán is látható a modell alapján. Az optimalizációs modellre épített algebrai képlet használatával az áztatási végi nedvességtartalom értéket használva, korrigálható a csírázási hőmérséklet a maximális oldottság elérése érdekében.
- 200 mg/l alatti β -glükán értékeket ugyan csak 46%-os áztatás végi nedvességtartalom és 22 °C-os csírázási hőmérséklet mellett értem el, amint ez az M1/50. ábrán is látható.
- Az oldott nitrogén tartalom csökken, ha az áztatás kevésbé volt sikeres, ha az alakor szem nem vett fel kellő mennyiségű vizet. Ugyanakkor kiugróan magas értékeket kaphatunk, ha a csírázási hőmérséklet nagyon magas (M1/51. ábra).
- Mivel a Kolbach indexet az oldott nitrogén segítségével számoljuk, így ez is hasonlóképpen viselkedik (M1/52. ábra), mint az előző modell esetén.
- Az M1/53. ábrán található modell szerint a SZAN-ra kevés hatása van a csírázási hőmérsékletnek, ugyanakkor az áztatási fok számottevően befolyásolja.

Az alakor maláta minősítése

Az optimalizálási kísérleteket figyelembe véve a 4. malátázás bizonyult a legkedvezőbbnek, mely során 22 °C áztatási hőmérsékletű vízben két lépcsős áztatás történt, amely

után 5 napon keresztül 22°C-os levegő áramoltatása mellett történt a csírázás. Naponta megforgattam a csírázó rakást, hogy a csírázó szemek ne kapaszkodhassanak egymáshoz és az anyagcsere termékek eltávozhassanak. Az aszalás során a fonnyasztási szakasz 50°C-on történt az áttörésig, majd a végső szárítás 80°C-on fejeződött be 8 óra alatt a végső maximális 5%-os nedvességtartalom eléréséig. A kapott beltartalmi értékeket az alábbi táblázatban emeltem ki.

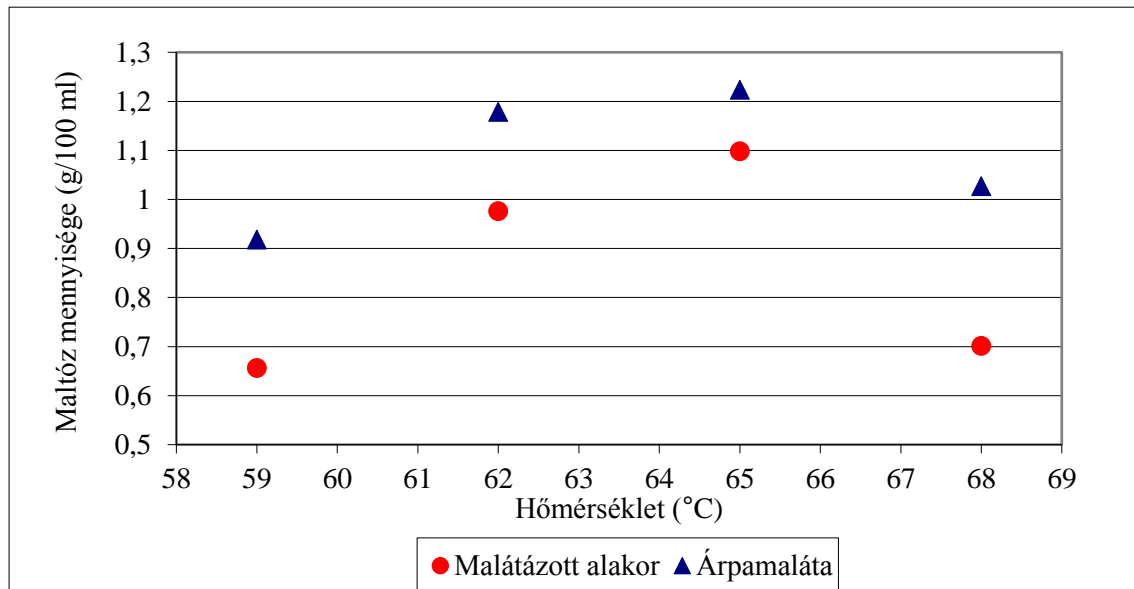
17. táblázat Az optimális alakor maláta beltartalmi összetétele

Malátázás száma	Kolbach szám (%)	SZAN (mg/l)	β -glükán (mg/l)	Extrakt differencia (%)	Extrakt tartalom (% , sz.a.)	Oldott N (% , sz.a.)	Nedvesség tartalom (%)
4	41	117	108	0,29	67	10,3	4,5

A későbbiekben felhasznált alakor maláta a fenti technológiai paraméterek szerint készült.

Az alakor maláta β -amiláz hőmérséklet optimumának meghatározása

A vizsgálat menete: a mérés két részből áll, a cefrzésből és a szénhidrát összetétel vizsgálatból. A cefrzés során minden mintánál más-más cefrzési hőmérsékletet alkalmaztam. Az alkalmazott cefrzési hőmérsékletek: 59°C, 62°C, 65°C, 68°C. A β -amiláz enzimaktivitás a különböző hőmérsékleteken eltérő lesz. A keményítő β -amiláz enzimmel történő bontása során maltóz keletkezik, ezért, ha növekszik az enzim aktivitása, több maltóz fog keletkezni és így maltóz mennyiségéből lehet az enzimaktivitásra következtetni. A maltóz mennyiségét HPLC segítségével határoztam meg Módszerek fejezetben leírt szénhidrát tartalom meghatározás szerint. Ebből az alakor eredetű β -amiláz enzim hőmérséklet optimumát kívántam meghatározni. A különböző hőmérsékleteken mért maltóz koncentrációkat a 21. ábrán szemléltetem.

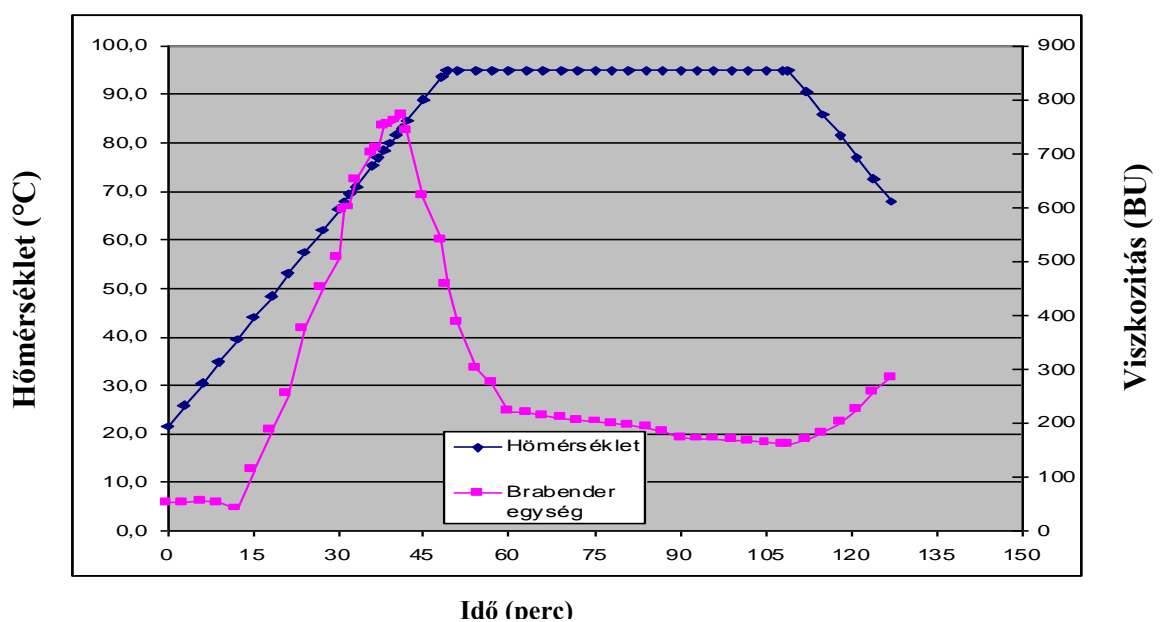


21. ábra A maltóz mennyiségének változása a malátázott alakornál és az árpalalátánál a hőmérséklet függvényében

Az alakor eredetű β -amiláz enzim hőmérséklet-enzimaktivitás összefüggése nagyon hasonló az árpa eredetű β -amilázéhoz. 65°C-on van mindkét malátából származó enzimnek a maximális aktivitása, ám az alakor eredetű enzim feltehetőleg gyorsabban inaktiválódik, mint az árpa eredetű. Az azonos hőmérsékletoptimum a cefrézési technológia szempontjából nagyon előnyös, mert mindkét maláta esetén ugyanazt a hőmérsékleti pihenőt használhatjuk.

Csirizesedési pont

A maláta eredetű enzimek működési optimumának meghatározása mellett a keményítő csirizesedési hőmérsékletének ismerete is elengedhetetlen a cefrézési technológia kidolgozásához.



22. ábra A malátázott alakor amilogrammjá

Az amilogrammon jól látszódik, hogy a maximális viszkozitás (774 Brabender egység) értéket 83,7°C-on érte el a keményítő-szuszpenzió, majd a szemcsék feltárása után gyors viszkozitás csökkenés volt tapasztalható. A magas hőmérsékleti érték meglepő, általában a gabonák, illetve különböző búzafajták keményítőjének csirizesedési pontja 52-66°C között ismert.

5.1.3 Különböző növényi anyagok antioxidáns tartalma

A vizsgálatom során az antioxidáns kapacitás mellett a kétszintes kivonási módszer hatékonyságát is vizsgáltam.

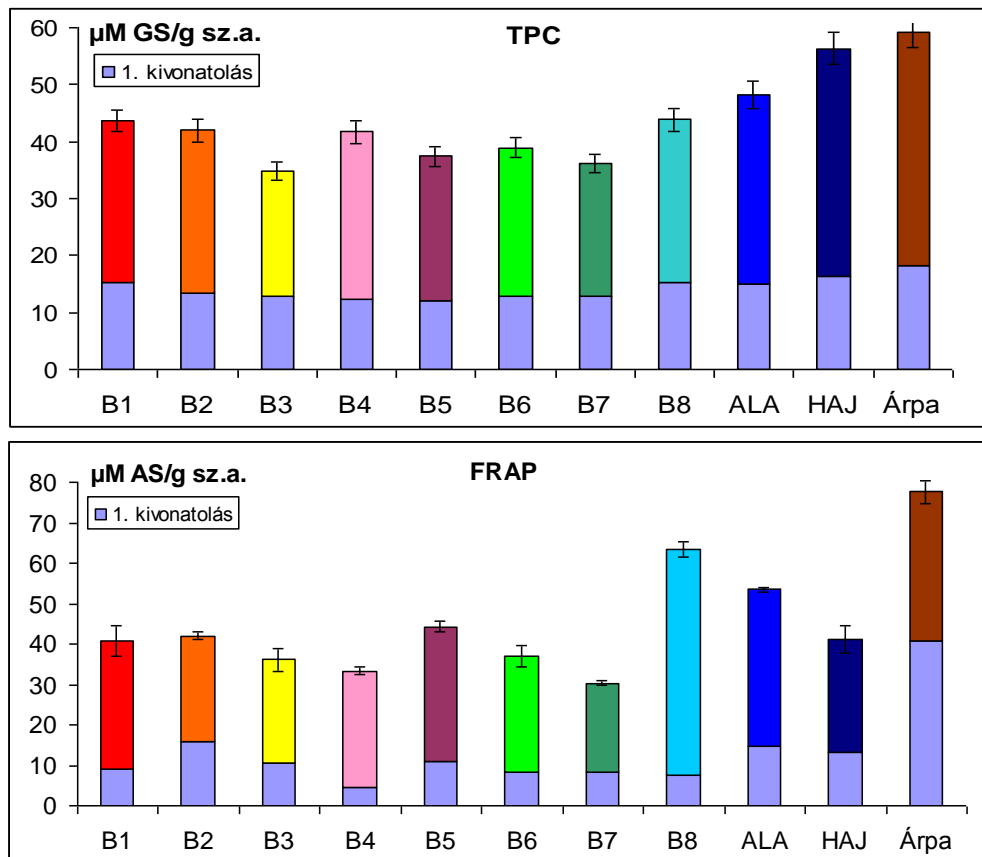
A kivonási módszerek összehasonlítása során a FRAP, valamint az összpolicifenolos mérés esetében a második kivonási módszerrel értem el nagyobb mértékű antioxidáns-extrakciót. Ez nagy valószínűséggel a második kivonatolási lépésben alkalmazott kénsavas roncsolásnak volt köszönhető. Különösen kiemelkedő értéket mutatott a FRAP mérés esetében a B4-es és B8-as búzák második extrakciója. Ugyanakkor a DPPH, és a TEAC méréseknél ez nem volt tapasztalható, ott a két kivonatolással közel ugyanannyi antioxidánst mutattam ki. A TEAC mérés értékeinél a B3-as búzánál az első kivonatolás esetében kaptam magasabb antioxidáns aktivitást (23. és 24. ábra).

Az alakor mind hántolt (ALA), mind hántolatlan (HAJ) változatában az első kivonatolás eredményét tekintve kiemelkedő antioxidáns kapacitással rendelkezett a FRAP, a DPPH és a TEAC mérések esetében a többi búzafajtához képest. Az összpolicifenolos vizsgálatnál azonban nem volt számottevő különbség a minták között az első kivonatolást tekintve. Ezzel szemben a második kivonatolásnál az alakor rendelkezett a legmagasabb összpolicifenol-tartalommal. A FRAP mérésnél csak a B8-as búza előzte meg az alakor értékeit. A DPPH méréseinél a hántolt alakor rendelkezett kiemelkedő gyökfogó képességgel. A TEAC esetében a B1, a B2, a B6 és a B8 búzák értékeivel mutatott hasonló eredményeket.

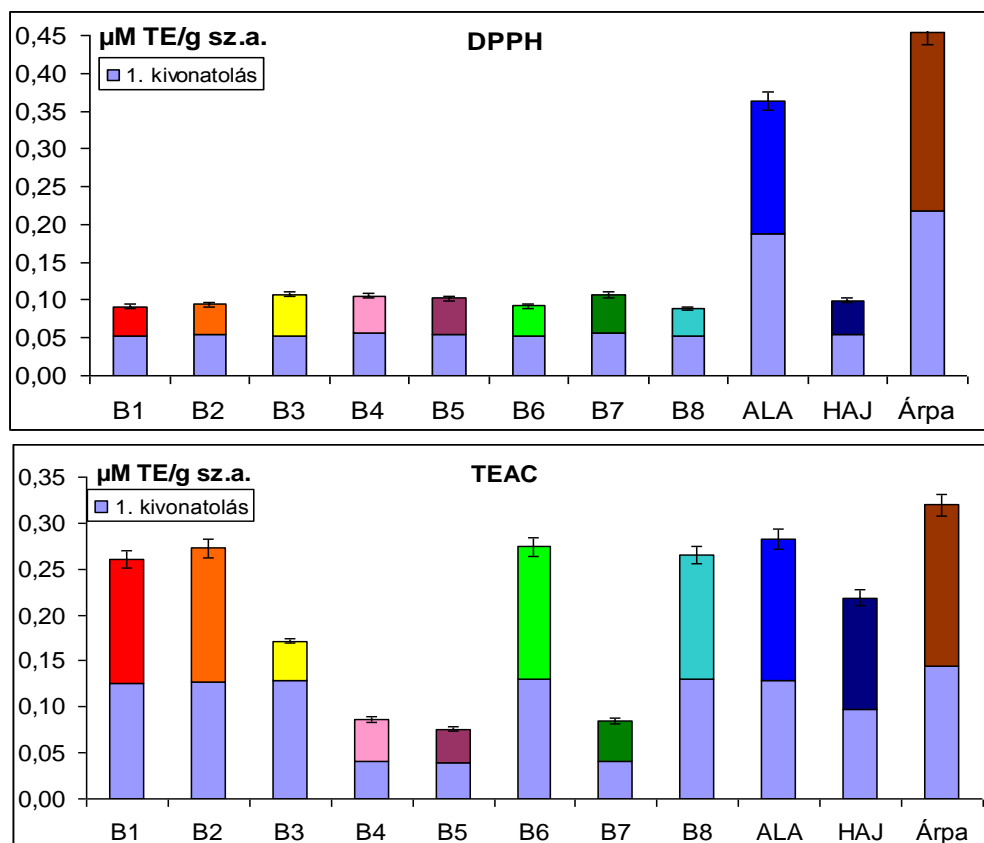
Az összértéket nézve a TPC esetében a hántolatlan alakor magasabb összpolicifenol-tartalommal rendelkezett, mint a hántolt. Ennek oka lehet a héjban található policifenolos komponensek jelenléte. Ugyanakkor a gyökfogáson alapuló módszerek esetében (DPPH, TEAC, FRAP) a hántolt alakor mutatott nagyobb értéket. Ennek oka, hogy a pelyvában található gyökfogó vegyületek mennyisége csekély, és így a hántolt alakor szárazanyagra vonatkoztatott mennyisége magasabb. A FRAP esetében egyedül a B8-as búzánál mértem nagyobb antioxidáns kapacitást a hántolt és hántolatlan alakornál.

Összegzésként megállapítható, hogy a négy mérés mindegyikében az árpa rendelkezett a legmagasabb értékkel. A búzák közül az alakor állt az első helyen az antioxidáns kapacitást

tekintve, kivéve a FRAP módszer esetében, ahol csak az MV-Taller őszi vetésű búzánál (B8) mértem nagyobb vasredukáló képességet.



23. ábra A gabonafélék eltérő módszerekkel mért antioxidáns kapacitása. B1-B8: búzák, ALA: hántolt alakor, HAJ: hántolatlan alakor, Árpá: Bioárpa. Egységes kék színnel jelöltem az első kivonatolás eredményeit (átlag, SD, n=6).



24. ábra A gabonafélék eltérő módszerekkel mért antioxidáns kapacitása. B1-B8: búzák, ALA: hántolt alakor, HAJ: hántolatlan alakor, Árpa: Bioárpa. Egységes kék színnel jelöltem az első kivonatolás eredményeit (átlag, SD, n=3).

A különböző maláták antioxidáns tartalma

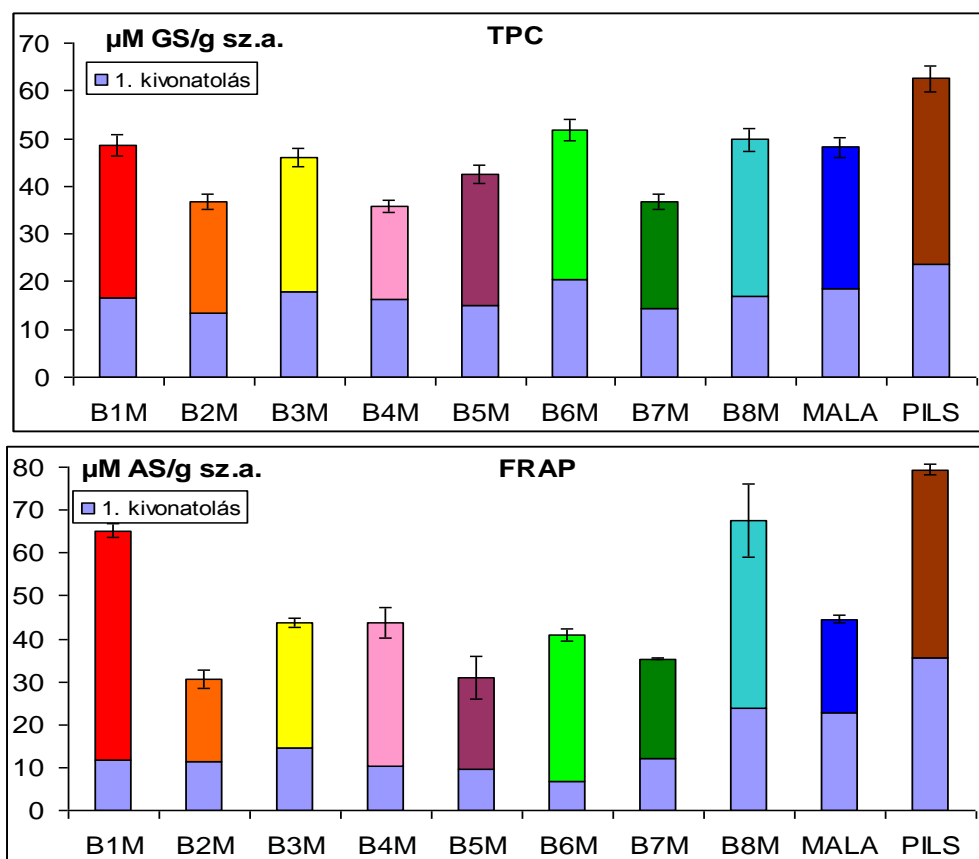
A laboratóriumi körülmények között, mikromalátázó segítségével előállított alakor maláta antioxidáns tartalmát vizsgáltam, és összehasonlítottam az azonos körülmények között előállított árpa és kísérleti búzák malátáival. Ugyanakkor a két eltérő kivonás hatékonyságát is vizsgáltam. A vizsgált maláták mérési eredményei a 25. és a 26. ábrákon láthatóak. Az előző mérések során vizsgált gabonák malátáit használtuk ehhez a méréshez.

A különböző mintaelőkészítés esetében mindegyik módszernél a második kioldás hozott magasabb eredményt, kivétel a DPPH esetében, ahol közel azonos értékeket kaptam az első és második kivonatolásnál. Itt is az előzőkhöz hasonlóan a kénsavas roncsolással lehet magyarázni a második kivonatolás nagyobb eredményeit. Az árpa malátája, a pilseni maláta (PILS) itt is mindegyik módszer esetében a legmagasabb antioxidáns kapacitással rendelkezett, mind az első kivonatolást, mind pedig az összértékeket tekintve.

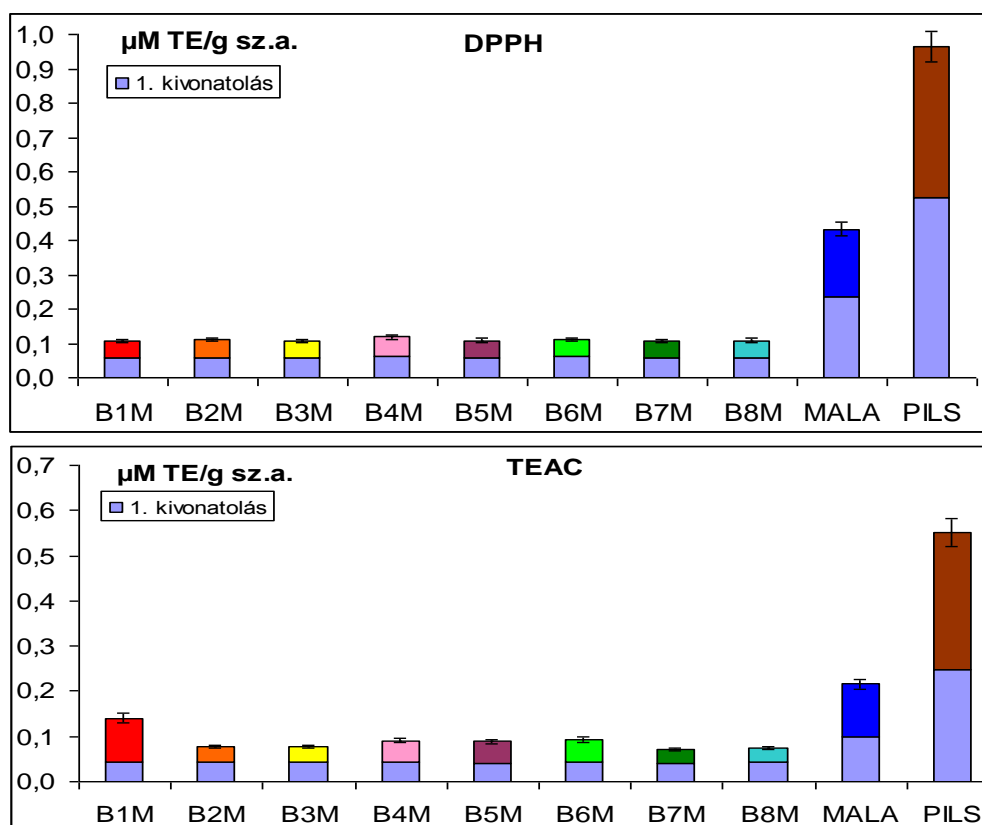
Az alakor malátája (MALA) a gyökmegekötésen alapuló antioxidáns kapacitás meghatározó módszerek esetében magasabb volt a többi búzamalátával szemben. Az első

kivonatolást tekintve a DPPH és a TEAC esetében a legnagyobb antioxidáns tartalommal rendelkezett. Ugyanakkor ez nem mondható el a TPC és a FRAP eredményeiről. Előbbinél az alakor első kivonatolásból nyert antioxidáns kapacitása a legtöbb búzamalátáéval azonos értéket mutatott, míg utóbbinál csak a B8-as búzamalátáéval egyezett. Az összértékeket megvizsgálva elmondhatom, hogy a malátázott alakor előkelő helyet foglal el a búzamalátákhoz képest, főként a DPPH és a TEAC mérések esetében, ahol a legmagasabb értékkel rendelkezett a búzamaláták között.

A malátázás folyamatát tekintve a gabonák és malátáik között nem volt meghatározó kapcsolat a mért eredményekben, mert néhol növekedett, némelyik búzánál pedig csökkent az antioxidáns kapacitás a malátázást követően. Összességében megállapítható, hogy hasonló eredményeket kaptam, mint a gabonák esetében. Ez nem meglepő, hiszen a maláta magán viseli az eredeti növény tulajdonságait, mivel ezek a tulajdonságok bármely növény esetében genetikailag kódoltak.



25. ábra A maláták antioxidáns kapacitása a TPC és a FRAP mérési módszer függvényében. B1M-B8M: búzamaláták, MALA: malátázott alakor, PILS: pilseni árpamaláta. Egységes kék színnel jelöltem az első kivonatolás eredményeit (átlag, SD, n=6).



26. ábra A maláták antioxidáns kapacitása a DPPH és a TEAC mérési módszer függvényében. B1M-B8M: búzamaláták, MALA: malátázott alakor, PILS: pilseni árpamalátá. Egységes kék színnel jelöltem az első kivonatolás eredményeit (átlag, SD, n=6).

5.2 Sörlé és sör előállítása malátázott és malátázatlan alakorból

5.2.1 Laboratóriumi cefrézési kísérletek

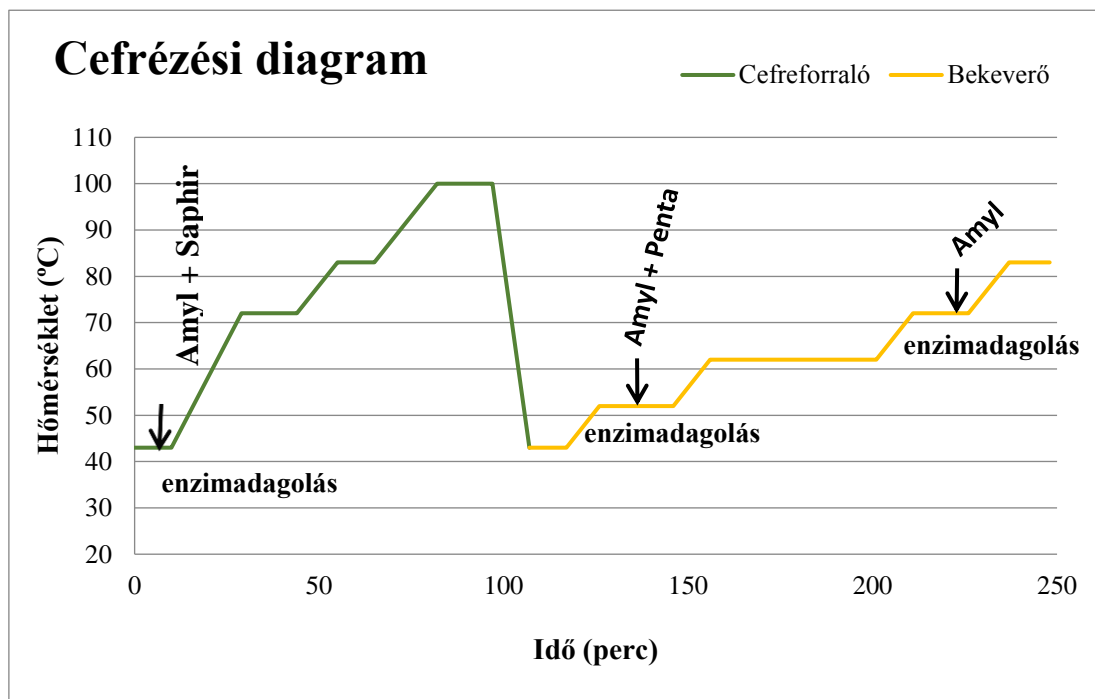
Sikeres malátázási technológiámat sajnos nem lehetett a továbbiakban hasznosítani, mert ahhoz, hogy az alakor sört kisüzemi sörfőzdében elkészíthessem, kis mennyiségben kellett volna a malátát előállítani (kb. 1000 kg). Magyarországon csak egy malátázó üzem működik, aminek egy gyártási tétele 180 tonna alapanyagot igényel, így alternatív megoldást kellett kidolgoznom. Ebből a megfontolásból döntöttem a malátázatlan alakor felhasználása mellett. A malátázatlan alapanyagot dekokciós cefrézéssel kell feltárni. Ugyanakkor az alakor keményítő magas csirizedési hőmérséklete is indokolta a cefreforrálást.

Az örlemény összetételénél a nagy, 50%-ot meghaladó alakor hányadra törekedtem. A kísérlet során a hántolt alakor a magasabb extrakttartalom miatt, a hántolatlant pedig a cefreszűrés megkönnyítésére használtam. A megfelelő arány beállítási kísérlet sorozatot a 18. táblázatban részletezem.

18. táblázat Laboratóriumi cefrészési kísérletsorozat beállításai

Cefrészési sorozat		I (kontroll)	II	III	IV	V
Cefreforráló	hántolt alakor	25,9 g (100%)	25,9 g (100%)	25,9 g (100%)	27,2 g (+5%)	28,5 g (+10%)
	víz	102 ml				
Bekeverő	pelyvás alakor	20,75 g (100%)	20,75 g (100%)	20,75 g (100%)	21,79 g (+5%)	22,82 g (+10%)
	pilseni maláta	38,05 g (100%)	36,67 g (-4%)	35,29 g (-7%)	39,95 g (+5%)	41,85 g (+10%)
	karamell maláta	6,92 g (100%)	8,3 g (+20%)	9,68 g (+40%)	7,26 g (+5%)	7,61 g (+10%)
	víz	298 ml				

A labor kísérletek során az V. minta bizonyult a legígéretesebbnek, ezért a félüzemi kísérletek során ezt a kísérleti beállítást alkalmaztam, illetve az ebből készült alakor sörnek mértem meg az ásványi anyag tartalmát, melyet a későbbiekben tárgyalok. Az V. minta esetében a pelyvás és hántolt alakor a többi alapanyaghoz képest 51%. Ez az arány felett is folytattam kísérleteket, de ezekben az esetekben a sörlevek nem szűrődtek, vagy nagyon hosszú idő alatt (több mint 60 perc), ezért ezeket a beállításokat nem részletezem. A magas malátázatlan gabonamennyiség miatt ipari enzimek alkalmazása elhanyagolhatatlan volt. Ezért α -amiláz, β -glükánáz, pentozanáz valamint proteináz enzimaktivitással rendelkező enzimeket használtam. Első kísérletsorozatomban az enzimgyártó által javasolt enzimennyiséggel végeztem, majd az eredmények alapján további cefrészési kísérletekkel határoztam meg az alakor lebontása szempontjából optimális koncentrációkat. A cefrészési diagramot a 27. ábra mutatja, az ábrán bejelöltem az enzimadagolási pontokat is.



27. ábra Cefrészési diagram

A felhasznált enzimeknek köszönhetően a cefre elcukrosodott a forralt cefrében. Az infúziós szakaszban jódnormál állapotot értünk el a 72-75°C-os α -amiláz pihenő végén, de 83 °C-os hőmérsékleten ismét kékké vált a jódpórá, ezzel is bizonyítva azt, hogy az alakor keményítőjének elcsirizedési pontja a malátaeredetű α -amiláz inaktiválódása után következik csak be, így indokolt a külső enzimek használata.

5.2.2 Sörfőzés félüzemi körülmények között

A laboratóriumi cefrőzés eredményeit felhasználva, félüzemi körülmények között dekokciós cefrőzést alkalmaztunk. A legjobb sörlé összetételt a 19. táblázatban látható alapanyagösszetétel alapján nyertük. A sör 51% alakor felhasználásával készült, mely megfelelt a Magyar Élelmiszer Könyv feltételeinek (FM, 2013), ugyan is a malátázatlan alakorból származó extrakt mennyisége nem haladta meg a sörlében lévő extrakttartalom 30%-át.

19. táblázat A félüzemi sörlékészítés során használt anyagok

Felhasznált anyag	Az adagolás helye	Mennyiség	Mértékegység	Arány (%)
Hántolt alakor	Cefreforráló üst	3,29	kg	30
Pelyvás alakor	Cefrésző kád	2,36	kg	21
Pilseni maláta	Cefrésző kád	4,46	kg	41
Caragold maláta	Cefrésző kád	0,89	kg	8
Spalter select keserű komló	Komlóforraló üst	43	gramm	
Cascade aroma komló	Komlóforraló üst	25	gramm	
Tradition aroma komló	Komlóforraló üst	25	gramm	

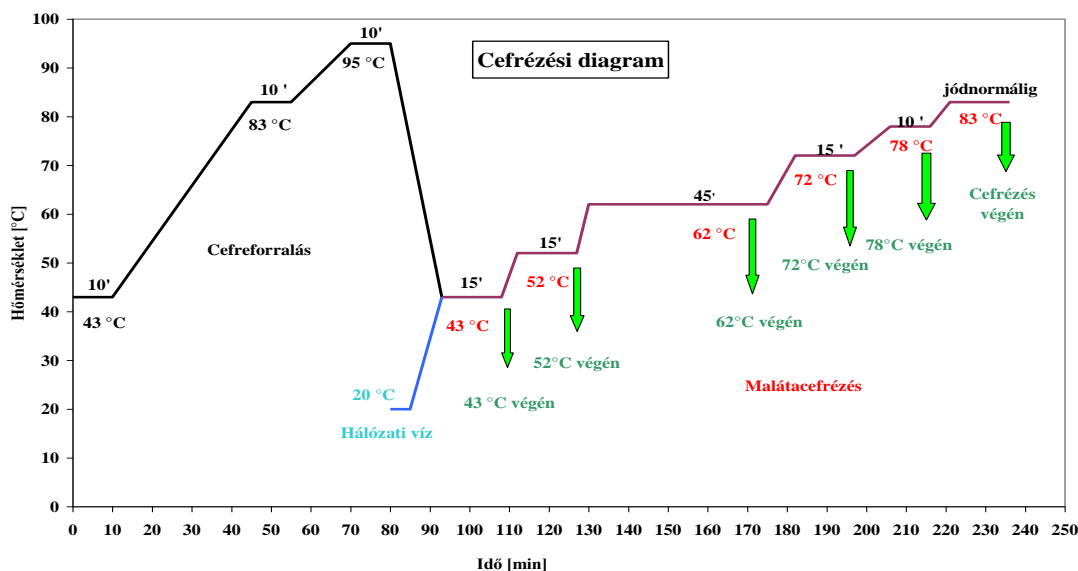
A félüzemi kísérletek eredményeit a 20. táblázatban foglaltam össze. Az előzetes laboratóriumi kísérletekkel összehasonlítva, a dekokciós cefrészési technológiának köszönhetően a kinyerhető extrakt tartalom magasabb volt, a sörlé színe pedig sötétebb, amelyet a hosszabb hőterhelésnek köszönhető. A félüzemi sörfőzéssel modellezhettem a cefreszűrést és a komlóforralást is, ezáltal közelebb kerültem a végső termékhez. A cefreszűrés zökkenőmentesen zajlott le. A komlózást követően a sörlevet erjesztettem és ászokoltam.

20. táblázat A dekokciós sörfőzés paraméterei

Műveleti lépés		Mennyiség	Mértékegység
Cefrészés	Elcukrosodási idő	10	perc
Cefreszűrés	Ülepítés időtartama	20	perc
	Színle elvételének időtartama	48	perc
	Színle extrakttartalma	13,4	°B
	Színle mennyisége	26	liter
Máslás	Máslás időtartama	26	perc
	Első máslás extrakttartalma	5,1	°B
Komlóforralás	Teleüst extrakttartalma	11,1	°B
	Teleüst mennyisége	47	liter
	Komlóforralás időtartama	90	perc
	Keserűkomló hozzáadásának időpontja	a forralás 10. perce	
	Aromakomló hozzáadásának időpontja	a forralás 80. perce	
	Komlózott sörlé extrakttartalma	13,3	°B
	Komlózott sörlé mennyisége	40	liter
	Komlózott sörlé színe (EBC egység)	46	EBC egység
Komlózott sörlé pH-ja	5,78		

5.2.2.1 Az antioxidáns kapacitás változásának nyomon követése a sörfőzés során

A sörfőzés lépései során vett mintákat 5 percig centrifugáltam, majd a felülúszót leöntöttem, és ebből mértem az antioxidáns-tartalmat. A mintákat a cefrészési diagramon (28. ábra) zöld nyíllal jelölt pihenők végén vettem. Ezenkívül mintavételezés történt a cefrészés végén a színsörléből, a máslást követően, a keserűkomló adagolása után, majd pedig az örvénykádából.



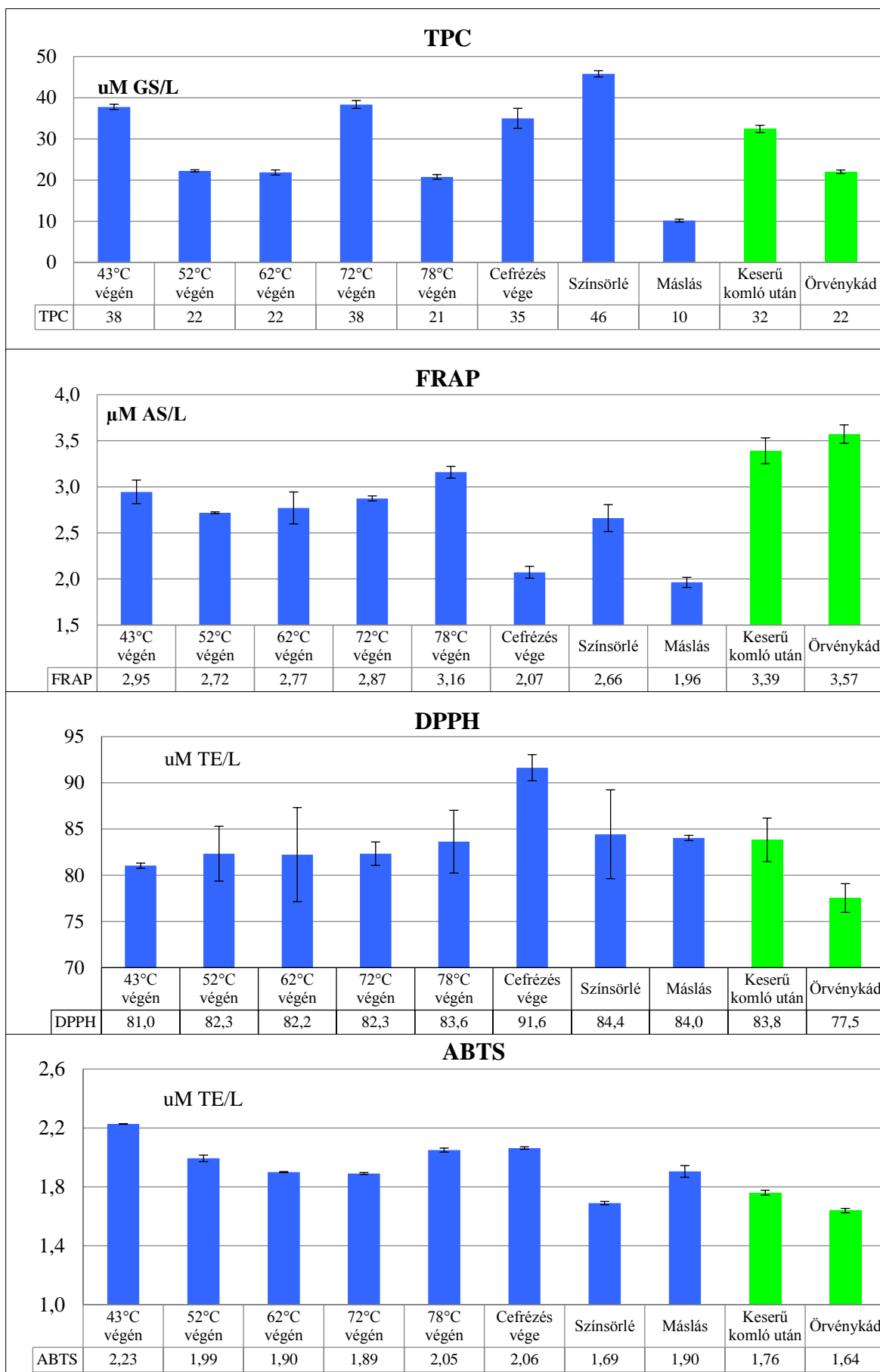
28. ábra Cefrészési diagram a mintavételi pontok feltüntetésével (zöld nyíl)

A mintavételi pontokat a 28. ábrán tüntettem fel, és a minták antioxidáns kapacitásának eredményeit a 29. ábra szemlélteti. Annak ellenére, hogy a polifenolos komponensek általában hőstabilak, a cefrőzés során mégis ingadozást tapasztaltam. A legtöbb polifenol a színsörlemben volt, ennek oka az lehet, hogy itt érintkezik a legtöbbet az alakorral a sörlé, és így itt oldódik ki a legtöbb polifenolos komponens. Ám ez a máslással igencsak lecsökken, feltehetően a jelentős hígulásnak köszönhetően. A keserű komló hozzáadása után viszont ismét növekszik az antioxidáns kapacitás, ahogyan ez várható is volt a komló magas antioxidáns tartalma miatt.

A FRAP esetében kevésbé volt ingadozó az antioxidáns tartalom, mint az összpolicenoltartalom értékeinél. Ez arra enged következtetni, hogy a gyártási technológia során az egyes komponensek változó arányai miatt más és más a gyökfogás mértéke. Itt is csökkenés volt tapasztalható a máslásnál, majd növekedés a keserű komló adagolása után.

A DPPH és a TEAC módszerek eredményeinél szinte egyáltalán nem tapasztaltam ingadozást, az antioxidáns aktivitás a sörfőzés folyamata során kiegyenlített volt. Még a komlóadagolás után sem láttam érdemi változást, így elképzelhető, hogy míg a FRAP és a TPC eredményeit ez befolyásolta, addig nincs jelen olyan vegyület, ami a DPPH vagy a TEAC módszereket befolyásolhatná. Ugyanakkor valószínűsíthető, hogy a komlóforralás során a komlóforralási idővel arányosan az antioxidánsok mennyisége is csökkenhet, mivel ez idő alatt a sörlé folyamatosan oxigénnel érintkezik.

Összefoglalva levonható az a következtetés, hogy a sörfőzési folyamat során az antioxidáns kapacitás ingadozást mutat. Míg a TPC és az ABTS módszerek esetében a kiindulási antioxidáns tartalomhoz képest az örvénykádiban mért érték csökkent, addig a FRAP esetében ez kis mértékben növekedett, a DPPH-nál pedig közel azonos értéket mutatott, ami a mérési módszerek különbözőségéből adódhat.



29. ábra Az antioxidáns kapacitás változása a sörfőzés során a négy mérési módszerrel

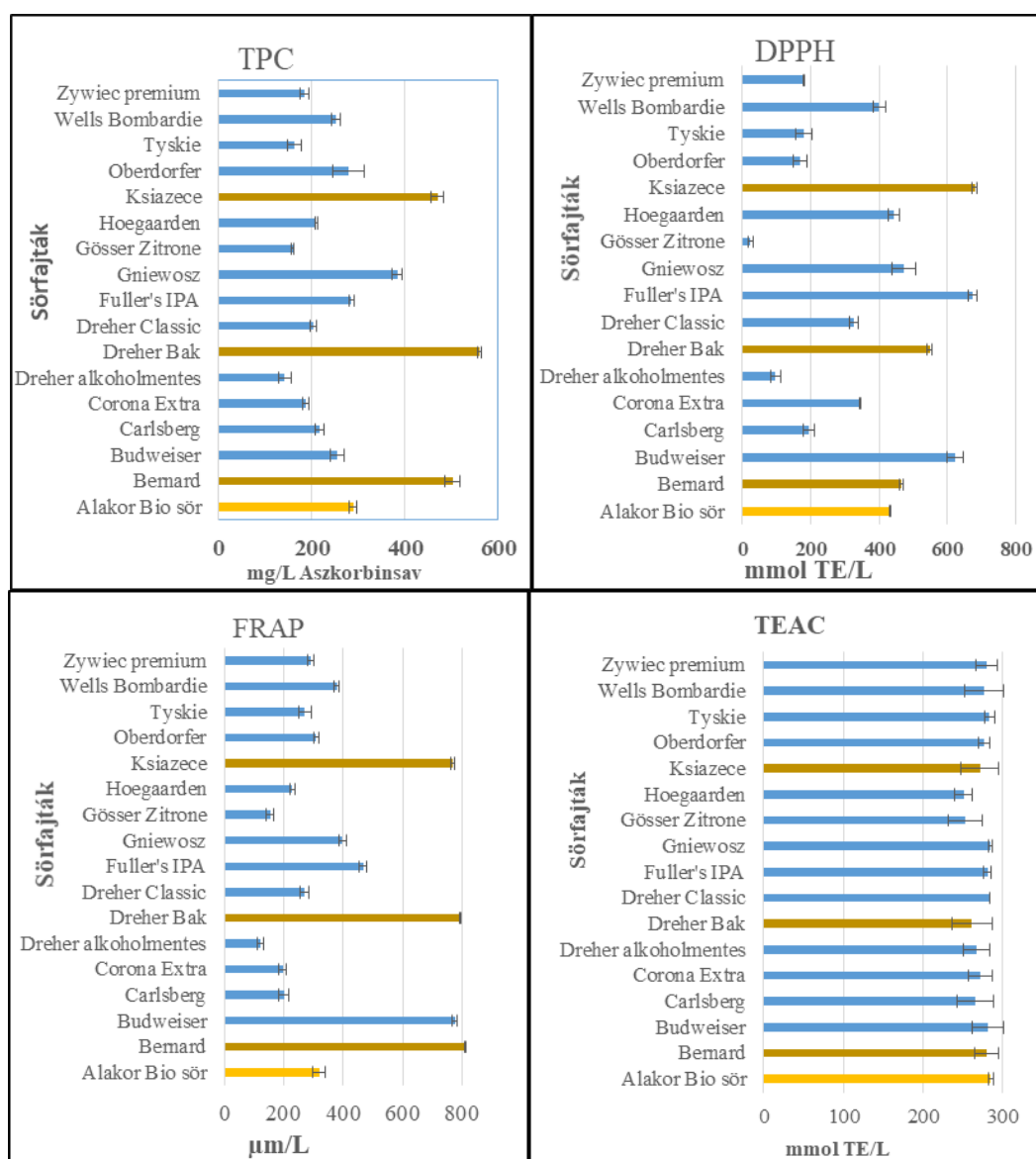
5.3 Potenciális egészségvédő hatású komponensek vizsgálata

5.3.1 Antioxidáns tartalom különböző sörökben

A kísérlet célja az volt, hogy több, kereskedelmi forgalomban kapható sör antioxidáns kapacitását vizsgáljam és hasonlítsam össze az általam főzött alakor sörével.

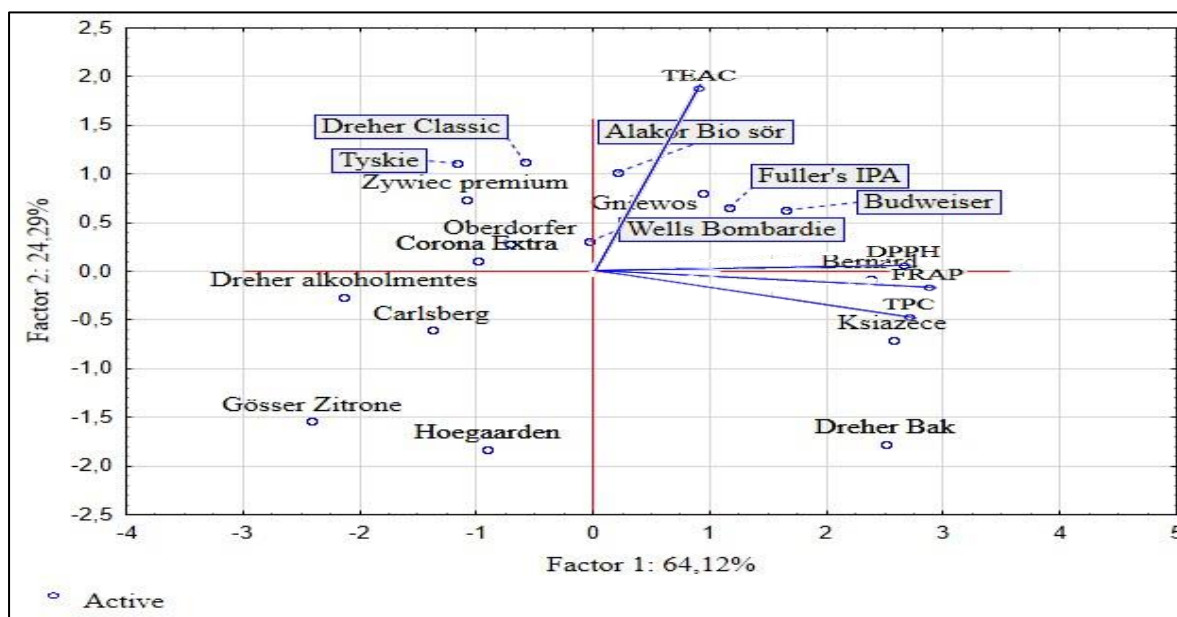
A vizsgált sörök mind a magyar piacon fellelhető sörökből lettek kiválasztva. Az összes kiválasztott sör (8. táblázat) esetében két külön palackból/dobozból vett anyaggal dolgoztam. A méréseket fajtanként három párhuzamos mintával végeztem mind a négy módszer esetében. A 8. táblázatban szereplő Alakor Bio sör a 17. táblázatban szereplő összetétel alapján készült.

A kereskedelmi forgalomból beszerzett sörök antioxidáns kapacitását a fent megjelölt négy különböző módszerrel határoztam meg. Ezen eredményeket a 30. ábra mutatja be.



30. ábra Módszerenkénti antioxidáns mérések eredményei különböző kereskedelemben található sörökben és azok összehasonlítása az Alakor sörrel. Barnával a barna söröket emeltem ki.

A TPC módszer eredményeit tekintve megállapítható, hogy a Dreher alkoholmentes esetén detektáltam a legkisebb értékeket. Átlagosnál magasabb értéket mutatott a Dreher Bak, a Ksiazece és a Bernard, amelyeknél ez a maláta összetétellel, magasabb extrakt-tartalommal és egyéb anyagok hozzáadásával magyarázható. A Dreher Baknál a pörkölt malátákból származó nagyobb mennyiségű melanoidinek, a Ksiazece mintánál egyértelműen az aszalt csipkebogyó kivonat eredményezhette ezt a nagyobb értéket. A világos sörök kategóriájában a Gniewosz és a Budweiser után, amelyek magasabb extrakt-tartalommal rendelkeznek, az egyik kiemelendő értékkel az Alakor Bio sör rendelkezett. Külön érdekesség, hogy antioxidáns tartalma olyannyira magas, hogy a barna sörök közül a Wells Bombardie-t is felülmúlta. A FRAP módszer esetén hasonló megállapításokat tehetek, mint az előzőekben. Az Alakor Bio sör a világos, átlagos extrakt-tartalommal rendelkező sörök között kiemelkedő eredményt mutatott. A Budweiser magas értéke az aszkorbinsavnak tudható be. A DPPH módszer esetén kimagasló értékeket a Fuller's IPA esetén, amely extra mennyiségű komlót tartalmaz, és az aszalt csipkebogyóval kiegészített Ksiazece sörnél tapasztaltam. Kijelenthető, hogy ez a módszer leginkább a komlóban fellelhető vegyületeknek kedvezett. A TEAC módszer esetén kiugró értéket nem mértünk. Azonban az nem hagyható figyelmen kívül, hogy az egyik legmagasabb antioxidáns kapacitást az Alakor Bio sörnél mértem.



31. ábra A vizsgált sörök antioxidáns aktivitásának PCA BiPlot-ja

Az antioxidáns aktivitás profil BiPlot elemzése alapján (

31. ábra) elmondható, hogy a Dreher Bak és a Bernard minták kiemelkedő szabadgyök-elimináló képességgel rendelkeznek, míg a Gösser Zitrone, a Hoegaarden, a Carlsberg és a Dreher alkoholmentes sörök szerény értékeket mutattak. A Corona Extra, a Zywiec Premium, a Tyskie és

a Dreher Classic sörök szintén szerény értékeket mutattak. A többi sör egymáshoz viszonylag közel helyezkedtek el a redukált faktor térben, így közöttük nagy különbség nem mutatkozott. Az egyes alkalmazott módszerek közötti kapcsolatra jellemző, hogy míg a DPPH, FRAP TPC módszer egymással jól korrelál (kicsi az ezeket reprezentáló vektorok által bezárt szög), addig a TEAC módszer ezektől lényegesen elkülönül. A PCA elemzést figyelembe véve elmondható, hogy az Alakor Bio sör antioxidáns kapacitás szempontból nem mutat nagy különbséget a többi világos sörökhöz képest, ellenben a „nyers eredmények” (30. ábra) alapján magasabb gyök-elimináló képességgel bír a többi világos sörhöz képest. A kevés számú minta és a kevés számú ismétlés miatt további mérés szükségeltetik, ami már meghaladja a disszertációm keretét.

5.3.2 Ásványi anyag tartalom

A sörfőző vizek ásványi anyag tartalma

Annak érdekében, hogy kizárhassam a sörfőző víz hatását a végtermékre, megvizsgáltam a sörfőzésre használt víz ásványi anyag tartalmát. A kapott eredmények bebizonyították, hogy a használt sörfőző víz kis mértékben befolyásolta a végtermék ásványi anyag összetételét.

21. táblázat A sörfőző víz fontosabb ásványi anyag tartalma; n=3

	Ca	K	Mg	Na	P
Laboratóriumi sörfőző víz, mg/l	66	0,92	20	53	0,21
Félüzemi sörfőző víz, mg/l	74	7,1	18,2	14,8	0,3

Kíváncsi voltam arra, hogy az alakor hántolásával mennyivel kevesebb ásványi anyag vihető a sörbe. Amint várható volt, az ásványi anyag tartalom számottevő része a magban található (22. táblázat), a pelyva csak csekély mennyiséget tartalmaz. A pelyva eltávolításával a legnagyobb mennyiségben a réz és a nátrium mennyisége csökken, ez azonban, ha figyelembe vesszük a mag/pelyva 30 %-os arányát, nem számottevő.

22. táblázat Az alakor és az árpa ásványi anyag tartalma

Ásványi anyag	Hántolt alakor 100% szárazanyagra számítva	Alakor pelyva 100% szárazanyagra számítva	Árpa átlag 100% szárazanyagra számítva*
	µg/mg	µg/mg	µg/mg
B	2,93	0,1361	
Ba	9,99	0,0675	
Ca	997	15,6	71,7
Cu	1,83	0,38	0,59
Fe	49,9	0,3405	4,86

Ásványi anyag	Hántolt alakor 100% szárazanyagra számítva	Alakor pelyva 100% szárazanyagra számítva	Árpa átlag 100% szárazanyagra számítva*
	µg/mg	µg/mg	µg/mg
K	1074	87	346
Mg	573	7,40	126
Mn	28,6	0,1964	1,38
Na	49,4	10,7	3,32
P	522	32,5	280,2
Si	3330	35,8	
Sr	12,36	0,1003	
Zn	17,37	0,1824	3,57

*(Vecseri, 2004)

A 22. táblázat adataiból kitűnik, hogy az alakor pelyvéje – a várakozástól eltérően – nem különösebben gazdag ásványi anyagokban. Az ásványi anyagok mennyiségét természetesen meghatározza a termőhely, az évjárat, ennek ellenére jól látszik, hogy az alakor ásványi anyagokban jóval gazdagabb, mint az árpa. Az árpára vonatkoztatott szakirodalmi adattal összehasonlítva, az alakor több mint tízszeres mennyiségű kalciumot, vasat, mangánt és nátriumot tartalmazott, de a kálium, magnézium és foszfor tartalma is többszöröse volt az árpáénak. Természetesen a gyártástechnológia során az ásványi anyagok mennyisége változik, de a nagy kiindulási mennyiség arra enged következtetni, hogy az alakor sör ásványi anyag tartalma is messze meghaladja az árpamaláta sörökét.

Félüzemben készült sörök ásványi anyag tartalma

A félüzemi fejlesztések eredményként kapott receptúra szerint készített kész sör ásványi anyag tartalmát határoztam meg, amelynek egyes jellemző paraméterei láthatók az 23. táblázatban.

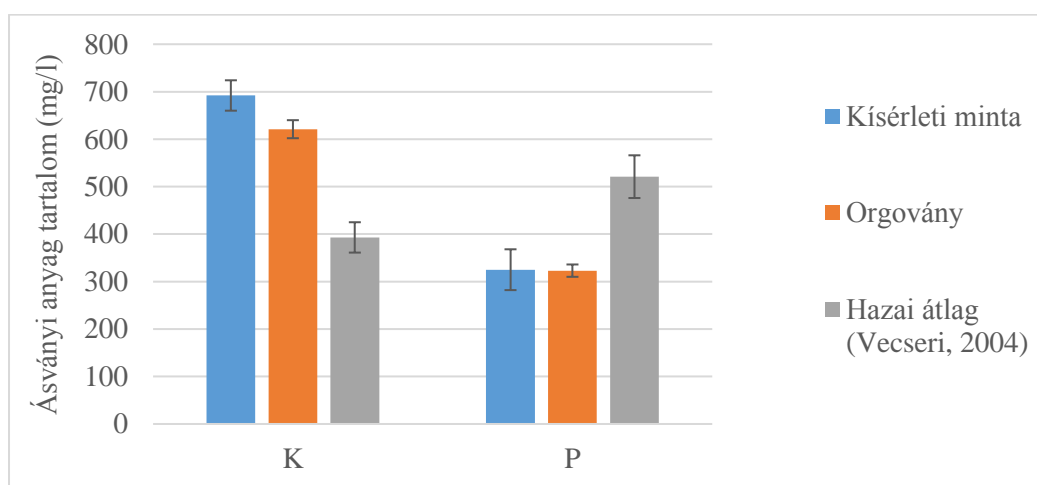
23. táblázat Az alakor sör paraméterei

Paraméter	Érték
Alkoholtartalom (V/V%)	4,13
Maradék extrakt (%)	4,44
Eredeti extrakt (%)	12,43
Végerjedésszint (%)	60,1
Szín (EBC-egység)	26
SZAN (mg/l)	165
pH- értéke	4,57

Amint a fenti táblázat is bizonyítja, félüzemi körülmények között sikerült egy olyan alakor alapanyagú sör receptúrát összeállítanom, mely a kereskedelmi forgalomban is helytáll, ezzel is teljesítve az egyik célkitűzésemet.

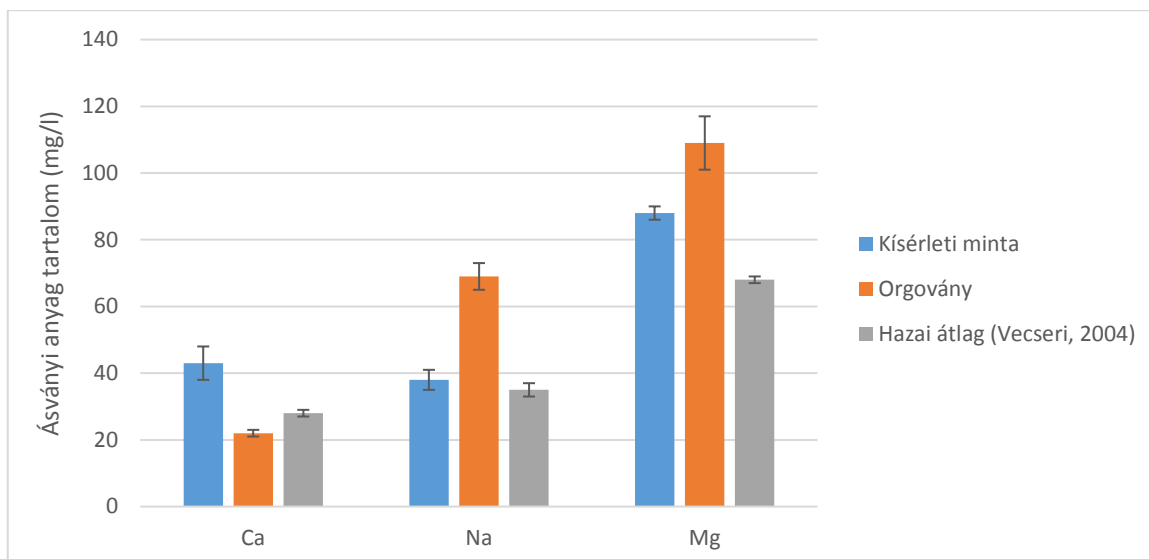
Összehasonlítottam az alakor sörben mért ásványi anyag tartalmat az irodalmi adatokkal, illetve a hazai sörök ásványi anyag tartalmával, amely értékek a 6. táblázatban láthatóak. Továbbá az eredményeket egybevetettem az orgoványi Akpedo Sörfőzdében gyártott bio alakor sör adataival is. Ez a sör összetételét illetően azonos az általam kísérleti sörnek nevezett termékkel.

A félüzemi sörfőzés során kapott ásványi anyag tartalommal kapcsolatos eredményeket a 32. és a 33. ábrán mutatom be.



32. ábra A kísérleti, az orgoványi és a hazai sörök kálium és foszfor tartalma (n=6, Átlag, SD)

Az eredmények alapján elmondható, hogy a kísérleti sör kálium tartalma a legnagyobb, ezt követi kis különbséggel az orgoványi bio alakor sör kálium koncentrációja, majd a hazai sörök átlag értéke következik, amely majdnem csak a fele a kísérleti minta kálium tartalmának. A kísérleti minta foszfor tartalma szinte azonos értéket mutat az orgoványi sörrel, amely adatok a hazai sörök átlag értékének hozzávetőleg csak kétharmada (32. ábra). A hazai sörökhöz hasonlítva a mintáimat, az alakor sörök magas ásványi anyag tartalma az alakor, mint alapanyag kimagasló ásványi anyag tartalmának köszönhető az árpával szemben (6. táblázat). A kálium tartalom az alakorban háromszoros mennyiségben található, mint az árpában, a magnézium tartalma kb. ötszörös.



33. ábra A kísérleti, az orgoványi és a hazai sörök kalcium, nátrium és magnézium tartalma (n=6, Átlag, SD)

Az alakor búza kalcium tartalma több mint tízszerese az árpáénak. A sörfőzési kísérletek során az üzemi mintákban alacsonyabb kalcium tartalommal szembesültünk, ami a vízkezelési technológiának köszönhető.

A kísérleti sörök esetén a kálium tartalom minden esetben a hazai átlagérték felett volt, sajnos azonban a nátrium is. Viszont, ha a két elem egymáshoz viszonyított arányát nézem, azt látom, hogy a kálium a nátriumhoz képest közel tízszeres mennyiségben van jelen, így ideális ital lehet a magas vérnyomásban szenvedő betegeknek is. A magnézium esetén mindkét mintám meghaladta az irodalmi átlag értékeket.

Levonható a következtetés, miszerint az alakor alapanyagból készült sör ásványi anyag tartalma hozzájárulhat az ásványi anyag pótláshoz az emberi szervezetben.

5.3.3 Vitamin tartalom különböző sörökben

Az alakor sör egészségvédő hatásának bizonyítása céljából megvizsgáltam a késztermék vitamin tartalmát, és összehasonlítottam más, a magyar piacon fellelhető sörökkel.

A vizsgált sörök között számos azonos kategóriájú, de más gyártótól származó mintákat vizsgáltam, ezért ezeket kategorizáltam. A 8. táblázatban felsorolt és vizsgált söröket a következő kategóriákba csoportosítottam:

- Búza szüretlen sör: Hoegaarden,
- Búza szűrt sör: Oberdorfer,

- Különleges maláta sör: Dreher Bak, Fuller's IPA,
- Ízesített sör 1: Gösser Zitrone,
- Ízesített sör 2: Ksiazece,
- Pótanyagos sör 1: Dreher Classic, Corona Extra,
- Pótanyagos sör 2: Tyskie, Wells Bombardie,
- Árpamaláta sör: Bernard, Budweiser, Carlsberg, Gniewosz, Zywiec premium.

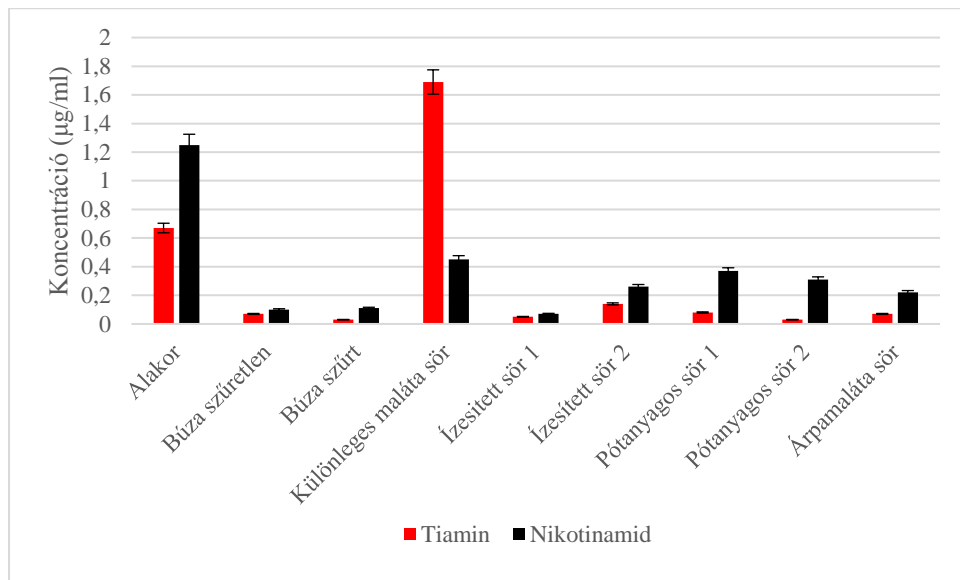
A vizsgált vitaminok a malátából, jelen esetben az alakorból és az élesztő tevékenységének köszönhetően kerülnek a sörbe. A vitamin mérést a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ - Élelmiszer-tudományi Kutatóintézet (NAIK-ÉKI) Élelmiszer-analitikai Osztályán végeztem el.

A vizsgált vitaminok a következők voltak: tiamin (B1), nikotinamid (B3), piridoxin (B6), pantoténsav (B5), riboflavin (B2), folsav és biotin.

A vizsgált vitaminok közül átlagos értéket kaptam a pantoténsav esetében, amelynek jelentősége van az összes fel- és leépítő folyamatban. A felépítő folyamatoknál a Koenzim-A képzéséért felelős. Átlagon felüli értékeket kaptam a tiamin és a nikotinamid koncentráció esetén, amely értékeket a 34. ábrán szemléltetek. Az utóbbi az élő sejtek legfontosabb elektrontranszportláncának (NAD⁺/NADH) az alkotóeleme. A tiamin pedig kofaktor az intermedierek anyagcseréjében, mindenekeelőtt a szénhidrát-anyagcserében.

A kísérlet során az IPA típusú sör rendelkezett a legnagyobb mennyiségű vitaminnal, mely a magasabb alapanyag mennyiségnek köszönhető.

Összességében kijelenthető, hogy az alakor búzából készített sör kimagasló vitamin tartalommal rendelkezik a többi vizsgált sörhöz képest.



34. ábra Alakor és különböző sörök tiamin és nikotinamid vitamin tartalma (n=45, Átlag, SD)

Ugyanakkor ha a szakirodalmi feljegyzéseket vesszük figyelembe (Bamforth, 2002), az alakor sör vitamin értékei a szakirodalomban található értékek határain belül található.

6 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Kutatásom során feltérképeztem egy söripari szempontból új gabonát, mely tulajdonságai révén új sör állítható elő.

Az alakor búza söripari alkalmazhatóságával kapcsolatban elsőként a következőket állapítottam meg:

A biogazdálkodásból származó alakor búza malátázásra és sörkészítésre egyaránt alkalmas. Az alakor fizikai, kémiai paraméterei mellett jellemeztem az alakor keményítőjét, az amilóz/ amilopektin arányt (15/85), meghatároztam a keményítő elcsirizesedési hőmérsékletét (83 °C) és a keményítóbontó β -amiláz enzim hőfok optimumát (65 °C). Ez a hőfok optimum egybeesik a sörárpáéval. Az alakor keményítőjének elcsirizesedési hőmérséklete eltér azonban az árpamaláta keményítőjének elcsirizesedési hőfokától, amit a cefrzési eljárás kidolgozásánál figyelembe kell venni.

Míg az árpaszemre a pelyva szorosan simul, addig az alakorra a pelyva lazán illeszkedik. A pelyva hántolással könnyen eltávolítható, a hántolás során az alakor magburka azonban könnyen megsérül.

2. A söriparban eddig ismeretlen alapanyag, az alakor búza malátázási metodikájának kifejlesztése.

Kísérleteim során bebizonyítottam, hogy a pelyvás alakor jól malátázható, a hántolt alakor malátázása azonban kockázatos és sok odafigyelést igényel. A pelyva nélküli mag gyors vízfelvételre képes, ezért a malátázás kezdeti lépésében, az áztatás során körültekintőnek kell lenni. Az alakor hántolatlan formában való áztatása rövid víz alatti ciklusokból áll, hosszabb víz nélkül töltött pihentetési időközökkel. Az alakor a lágy siker tartalma miatt vízérzékeny, ami ugyancsak a rövidebb víz alatti szakaszok szükségességét igényli az áztatás során. Az alakor magburka a hántoláskor könnyen megsérül, ami miatt a keményítő az áztatás és csíráztatás során kifolyik a szemből.

Ipari felhasználásra a hántolatlan alakor ajánlható, egyrészt a mérete, másrészt a pelyva védőhatása miatt.

Mindemellett felállítottam egy statisztikai modellt a malátázási folyamatokra. A statisztikai modell segítségével a malátázás során alkalmazott paraméterek mellett megjósolható és változtatható a kívánt maláta minősége.

3. Cefrzési eljárás kidolgozása az alakor ipari alkalmazhatóságára.

Meghatároztam az optimális sörlé összetételt eredményező alakor-árpa maláta arányt és a folyamatok zavartalan lefolyásához szükséges enzimek mennyiségét, kidolgoztam a cefrzési eljárást és beállítottam a kívánt termék végső paramétereit. Kísérleteim során a léptéknövelés elvét követtem: elsőként laborcefrzőben modelleztem, majd a kapott eredmények alapján félüzemi kísérletekkel folytattam a munkámat.

A kapott eredmények alapján a következő következtetésekre jutottam:

- a cefre alapanyag összetétele 51% hántolt és hántolatlan alakor malátázatlan formában és 49% árpamaláta. A hántolatlan alakor felhasználására a cefreszűrés zavartalan végbemeneteléséhez volt szükség. A sörlé szárazanyag tartalmának legfeljebb 30%-a származik alakorból, mely által a termék megfelel a Magyar Élelmiszerkönyv előírásainak,
- meghatároztam a cefrzési technológiát, mely során bebizonyítottam, hogy a magas malátázatlan alakor hányad miatt a legjobb extrakt tartalom kinyerése céljából dekokciós cefrzési eljárást kell alkalmaznom,
- a kísérlet során megállapítottam, hogy az alakor csirizesedési pontja eltér (83 °C) az árpamaláta elcsirizesedési hőmérsékletétől, így újabb cefrzési pihenő beiktatása elengedhetetlen a sörfőzés során
- a nagy mennyiségű malátázatlan alakor miatt enzimekészítményeket alkalmaztam, amelyek α -amilázt, hemicellulázt és β -glükánázt tartalmaztak. Az enzimekészítmények mennyiségét és adagolásának megfelelő időpontját elsősorban laboratóriumi cefrzőben, majd félüzemi kísérletek során optimalizáltam,

4. Meghatároztam az alakor búza antioxidáns tartalmát, összevettem más söripari célra alkalmas gabonákkal, és megvizsgáltam az ezekből készült maláták antioxidáns kapacitását

A mérések során több, magyar nemesítésű söripari célra szánt búza minta mellett ellenőriztem a pelyvás és hántolt alakor búza, a malátázott hántolt alakor búza, a sörárpa és az árpamaláta antioxidáns kapacitását.

A mérési eredmények alapján a következőket jelenthetem ki:

- a hántolt és a hántolatlan alakor antioxidáns kapacitása közötti különbség nem számottevő, tehát az alakor búza pelyvájának a szárazanyag tartalomra vetített antioxidáns kapacitása csekély, így a hántolatlan alakor használatával számottevő antioxidáns veszteség nem lép fel,
- a kétszakaszos kivonatolási módszernek köszönhetően a kinyerhető antioxidáns vegyületek mennyisége megduplázódott a szakirodalomban található értékekhez képest. A TPC mérés esetén a savas hidrolízises extrakciónak köszönhetően nagyobb mennyiségű polifenolokat kaptam.

- az alakor antioxidáns kapacitása alacsonyabb a sörárpáénál, de a hántolatlan alakor polifenol tartalma szinte azonos,
 - az alakor malátázása során az antioxidáns kapacitás kis mértékben növekedett, viszont a DPPH gyökmegkötés esetén ez közel négyszeresére nőtt (alakor 0,1 $\mu\text{M TE/g sz. a.}$, míg az alakor maláta esetén 3,8 $\mu\text{M TE/g sz. a.}$). A maláta polifenol tartalma csökkent az alapanyaghoz képest, vélhetően azért, mert az áztatás során polifenolok oldódtak ki.
 - az alakor maláta antioxidáns kapacitása alacsonyabb az árpamalátáénál.
- 5. Megvizsgáltam az alakor sör potenciális egészségvédő hatású komponenseit, és ezeket összevettem más sörökkel. Megfigyeltem a sörkészítés technológiai lépéseinek hatását az antioxidánsok mennyiségére.**
- a sörfőzési technológia hatás vizsgálata során a polifenol tartalom a cefrézés előrehaladtával a hőmérséklet emelkedésével arányosan csökkent, majd 72°C-os pihenő végére növekedés figyelhető meg. Ez a Maillard reakció termékek kialakulását bizonyítja. A másolás során megfigyelhető polifenol tartalom csökkenést a komló adagolása kompenzálta.
 - Megvizsgáltam az alakor sör antioxidáns kapacitását és végezetül az elkészült végterméket összehasonlítottam néhány, a magyar piacon fellelhető különböző alapanyagú sörrel egészségvédő hatású szempontok alapján. A TPC vizsgálat esetén a világos sörök kategóriájában a Gnieuwosz és a Budweiser után, amelyek magasabb extrakt-tartalommal rendelkeznek, az egyik kiemelendő értékkel az Alakor Bio sör rendelkezett. A FRAP módszer esetén az Alakor Bio sör a világos, átlagos extrakt-tartalommal rendelkező sörök között kiemelkedő eredményt mutatott. A DPPH módszer esetén a különféle komló tartalmú sörök rendelkeztek kimagasló eredményekkel. A TEAC módszer során nem tapasztaltam számottevő különbségeket.
 - A PCA elemzés esetén megfigyeltem, hogy egyes alkalmazott antioxidáns mérési módszerek közötti kapcsolatra jellemző, hogy míg a DPPH, FRAP TPC módszer egymással jól korrelál, addig a TEAC módszer ezektől lényegesen elkülönül. A PCA elemzést figyelembe véve az Alakor Bio sör antioxidáns kapacitás szempontból nem mutat nagy különbséget a többi világos sörökhöz képest.
 - megállapítottam, hogy az alakor ásványianyag tartalma sok esetben többszörösen meghaladja a sörárpáét. Az alakor hántolása során csekély mennyiségű ásványianyag veszteség keletkezik. Az Alakor Bio sör K, Na, Mg tartalma magasabb a szakirodalmi adatokhoz képest, a kálium a nátriumhoz képest közel tízszeres mennyiségben van jelen,
 - Az Alakor Bio sör vitamin tartalom szempontjából a nikotinamid tartalma számottevően meghaladja a többi vizsgált sörökét, míg tiamin tartalma csak a különleges malátából készült sörök esetén marad alul.

7 ÖSSZEFOGLALÁS

Az egészséges táplálkozás egyik fő komponense az ökológiai gazdálkodásból származó alapanyag. Azok a nemkívánatos vegyi anyagok szervezetünkbe való beviteli mennyisége csökkenthető a bio élelmiszerek használatával, melyeket nap mint nap beviszünk. A fokozott külső hatásoknak kitett szervezetünk egészségének megőrzésére nem elég csak vegyszermentes élelmiszerek fogyasztása, hanem olyan élelmiszereket is előtérbe kell helyezni, melyek komponensei egészségvédő hatással bírnak.

A bio sörök egyre jobban elterjednek a világon, de még mindig kis mennyiségben kaphatóak. Számos söripari alapanyag kísérlet mellett, az alakor búza (*Triticum monococcum* L.) még mindig háttérbe szorul, és kevés tudományos kutatásban foglalkoznak az alakor búza söripari felhasználhatóságával.

Az alakor, mint lehetséges söripari alapanyag feltérképezése. A malátakészítés optimalizálása. Antioxidáns kapacitásának meghatározása

A kutatásom fő irányvonala az Alakor Bio sör technológiájának kidolgozása volt. Ahhoz, hogy az alakorból sört állíthassak elő tudományos módszerekkel támasztottam alá az alakor söripari alkalmazhatóságát. Megállapítottam, hogy az alakor a beltartalmi komponenseit illetően hasonlít az árpára, szemmérete azonban kisebb annál. Az alakort lazán veszi körül a pelyva, aminek aránya a szemhez képest 30 %. A vizsgálat során meghatároztam az alakor keményítő amilóz-amilopektin arányt (15/85), meghatároztam a keményítő elcsirizedési hőmérsékletét (83 °C) és a keményítőt bontó β -amiláz enzim hőfok optimumát (65 °C). Az alakor keményítő magas elcsirizedési hőmérséklete miatt szükség volt a cefrézési technológia módosítására.

Kidolgoztam az alakor malátázási technológiáját. Az alakor maláta beltartalmi értékeit vizsgálva, meghatároztam annak malátázási eljárását. A malátázási paraméterek változtatásával és a kapott maláták beltartalmi eredményeik alapján felületoptimalizációs statisztikai optimalizációs módszer segítségével meghatároztam az alakor optimális malátázását leíró képleteket. A kapott leíró képletek alapján, az alakor optimális malátázása 22 °C-os hőmérsékleten történő áztatás és csíráztatás, a csíráztatás hosszát 5 napban határoztam meg, és a csírázás végén 45%-os nedvességtartalmat kell elérni. Az optimális malátázás során kapott maláta beltartalmi paraméterei (16. táblázat) elfogadhatók a sörgyártásra.

Négy különböző módszerrel (TPC, FRAP, DPPH, TEAC) meghatároztam az alakor, a sörárpa és egyéb, potenciális söripari alapanyagként szolgáló gabonák antioxidáns kapacitását. Ahhoz, hogy a lehető legtöbb antioxidánst kimutathassam, adaptálnom kellett Pérez-Jiménez et al. (2006) módszerét, mely egy vizes és egy savas kivonatolást foglal magába. A vizsgálat során arra a következtetésre jutottam, hogy az extrakció második szakaszában az összes antioxidáns kapacitás alapjául szolgáló komponensek mintegy kétharmadát a savas extrakció során sikerült kinyernem. Továbbá megállapítottam, hogy az alakor antioxidáns kapacitása minden esetben alacsonyabb az árpáénál. A malátázás során antioxidáns kapacitás növekedést figyelhettem meg. Az alakor maláta a DPPH és a TEAC gyökmegekötésen alapuló antioxidáns kapacitás meghatározó módszer esetében kimagasló eredménnyel rendelkezett a többi búzával szemben.

Összegzésként megállapítható, hogy a négy különböző antioxidáns kapacitás meghatározási módszer mindegyikében a bio árpa rendelkezett a legmagasabb értékkel. A búzák közül az alakor állt az első helyen az antioxidáns kapacitást tekintve, kivétel a FRAP módszer esetében, ahol egy búzaminta esetében mértem nagyobb vasredukáló képességet.

Sörlé és sör előállítása malátázatlan és malátázott alakorból

Sikeres malátázási technológiámat sajnos nem lehetett a továbbiakban hasznosítani, mert ahhoz, hogy az alakor sört kisüzemi sörfőzdében elkészíthessem, kis mennyiségben kellett volna a malátát előállítani, ami Magyarországon lehetetlen. Ebből a megfontolásból döntöttem a malátázatlan alakor felhasználása mellett. A cefrőzésnél az alakor keményítő magas csirizedési hőmérséklete miatt a malátázatlan alapanyagot dekokciós cefréléssel kell feltárni. Az őrlemény összetételénél a nagy, 50%-ot meghaladó alakor hányadra törekedtem. A kísérlet során a hántolt alakort a magasabb extrakttartalom miatt, a hántolatlant pedig a cefreszűrés megkönnyítésére használtam. Az alapanyag-összetétel optimalizálására és az enzimek mennyiségének beállításra laboratóriumi cefrélési kísérleteket hajtottam végre. Mivel laboratóriumi körülmények között nem modellezhető megfelelően a sörfőzés összes lépése (sörszűrés, komlóforralás, whirlpoolozás, erjesztés, ászokolás), ezért a legjobb laboratóriumi cefrélési eljárást átültettem félüzemi körülményekre. Az így kapott sör 51% hántolt és hántoltalan alakorból készült, mely paraméterei egy piacképes sörnek felelnek meg.

Az alapanyag antioxidáns kapacitását alapul véve, meghatároztam a sörfőzés lépéseinek hatását az antioxidáns kapacitásra. A legtöbb polifenol a színsörlében volt, ám ez a máslással igencsak lecsökkent, feltehetően a jelentős hígulásnak köszönhetően. A sörfőzés során az

antioxidáns kapacitás nagyobb ingadozást mutatott a FRAP és a TPC módszerek esetében, viszont a DPPH és a TEAC módszer esetén ez nem jelenthető ki.

Potenciális egészségvédő hatású komponensek vizsgálata a késztermékben

Az ipari léptékben elkészült késztermék antioxidáns kapacitását összehasonlítottam más, a magyar piacon fellelhető sörökével. Ezek különböző alapanyag összetételűek, különböző alkohol tartalmúak és különböző komlózású sörök voltak.

A TPC módszer eredményeit tekintve megállapítható, hogy a Dreher alkoholmentes esetén detektáltam a legkisebb értékeket. Átlagosnál magasabb értéket mutatott a Dreher Bak, a Ksiazece és a Bernard, amelyeknél ez a maláta összetétellel, magasabb extrakt-tartalommal és egyéb anyagok hozzáadásával magyarázható. A világos sörök kategóriájában a Gniewosz és a Budweiser után, amelyek magasabb extrakt-tartalommal rendelkeznek, az egyik kiemelendő értékkel az Alakor Bio sör rendelkezett. Külön érdekesség, hogy antioxidáns tartalma olyannyira magas, hogy a barna sörök közül a Wells Bombardie-t is felülmúlta. A FRAP módszer esetén hasonló következtetésekre jutottam, mint az előzőekben. Az Alakor Bio sör a világos, átlagos extrakt-tartalommal rendelkező sörök között kiemelkedő eredményt mutatott. A DPPH módszer esetén kimagasló értékeket a Fuller's IPA esetén kaptam, amely extra mennyiségű komlót tartalmaz, valamint az aszalt csipkebogyóval kiegészített Ksiazece sörnél tapasztaltam. Kijelenthető, hogy ez a módszer leginkább a komlóban fellelhető vegyületeknek kedvezett. A TEAC módszer esetén kiugró értéket nem mértünk. Azonban az nem hagyható figyelmen kívül, hogy az egyik legmagasabb antioxidáns kapacitást az Alakor Bio sörnél mértem.

Összességében kijelenthetem, hogy az Alakor Bio sör a világos sörökkel azonos vagy azoknál nagyobb antioxidáns kapacitással rendelkezett, köszönhetően az alapanyag nagy antioxidáns kapacitásának.

A statisztikai komponens analízis segítségével (PCA-BiPlot) megerősítést nyertek a szakirodalmi adatok, mely szerint a különféle sörök antioxidáns kapacitásuk szempontjából külön csoportokba rendezhetők a felhasznált összetevők és az alkalmazott technológiák alapján. Az említett statisztikai analízis alapján kijelenthetem, hogy a Dreher Bak és a Bernard minták kiemelkedő szabadgyök-elimináló képességgel rendelkeznek, míg a Gösser Zitroné, a Hoegaarden, a Carlsberg és a Dreher alkoholmentes sörök szerény értékeket mutattak. A Corona Extra, a Zywiec Premium, a Tyskie és a Dreher Classic sörök szintén szerény értékeket mutattak. A többi sör egymáshoz viszonylag közel helyezkedtek el a redukált faktor térben, így közöttük nagy különbség nem mutatkozott. Az egyes alkalmazott módszerek közötti kapcsolatra jellemző, hogy míg a DPPH, FRAP TPC módszer egymással jól korrelál (kicsi az ezeket reprezentáló vektorok által bezárt szög), addig a TEAC módszer ezektől lényegesen elkülönül. A PCA elemzést figyelembe véve, az Alakor Bio sör antioxidáns kapacitás szempontból nem mutat nagy

különbséget a világos sörökhöz képest, ellenben szignifikáns különbség mutatható ki más búzasörrel szemben.

Az ásványianyag tartalom vizsgálat során megvizsgáltam a sörfőzésre használt víz ásványi anyag tartalmát, hogy kizárhassam a sörfőző víz hatását a késztermékre. A víz elenyésző ásványianyag tartalma bebizonyította, hogy a használt sörfőző víz kis mértékben befolyásolta a végtermék ásványi anyag összetételét. Az alakor szem és a pelyva ásványianyag tartalmát vizsgálva, megállapítottam, hogy a hántolás során a pelyva eltávolításával a legnagyobb mennyiségben a réz és a nátrium mennyisége csökken, ez azonban, ha figyelembe vesszük a mag/pelyva 30 %-os arányát, nem számottevő. Az árpára vonatkoztatott szakirodalmi adattal összehasonlítva, az alakor több mint tízszeres mennyiségű kalciumot, vasat, mangánt és nátriumot tartalmazott, de a kálium, magnézium és foszfor tartalma is többszöröse volt az árpához viszonyítva.

Miután az egyik célkitűzésemnek megfelelően sikerült félüzemi körülmények között a piaci elvárásoknak megfelelő sört előállítanom, és léptéknöveléssel üzemi körülmények között piacra kész terméket gyártani, megvizsgáltam ezek ásványianyag tartalmát és összevettem a szakirodalmi adatokkal. Az eredmények alapján elmondható, hogy a félüzemi sör kálium tartalma a legnagyobb, ezt követi kis különbséggel az üzemi sör kálium koncentrációja, majd a hazai sörök átlag értéke következik, amely majdnem csak a fele a félüzemi minta kálium tartalmának. A félüzemi minta foszfor tartalma szinte azonos értéket mutat az üzemi sörrel, amely adatok a hazai sörök átlag értékének hozzávetőleg csak kétharmada. Az alakor búza kalcium tartalma több mint tízszerese az árpának. A sörfőzési kísérletek során az üzemi mintákban alacsonyabb kalcium tartalommal szembesültünk, ami a vízkezelési technológiának köszönhető. A magnézium esetén mindkét mintám meghaladta az irodalmi átlag értékeket.

Az alakor sör egészségvédő hatásának bizonyítása céljából megvizsgáltam a késztermék vitamin tartalmát, és összehasonlítottam más, a magyar piacon fellelhető sörökkel. A vizsgált vitaminok a malátából, jelen esetben az alakorból és az élesztő tevékenységének köszönhetően kerülnek a sörbe. Számos vitamin koncentrációját vizsgáltam a különféle sörökben, de detektálható értékeket csak a tiamin és a nikotinsavamid esetében kaptam. A kísérlet során az IPA típusú sör rendelkezett a legnagyobb mennyiségű vitaminnal, mely a magasabb alapanyag mennyiségnek köszönhető. Az Alakor Bio sör vitamin tartalom szempontjából a nikotinamid tartalma számottevően meghaladja a többi vizsgált sörökét, míg tiamin tartalma csak a különleges malátából készült sörök esetén marad alul.

Eredményeimmel az alakor búza söripari alkalmazhatóságát bizonyítottam be és az általam kifejlesztett sörkészítési technológia egy biosörrel gazdagítja a magyar söripar piaci palettáját.

8 SUMMARY

One of the main components of healthy nutrition is raw material from organic farming. The amount of intake of undesirable chemicals in our body can be reduced by the use of bio foods that are taken daily. To conserve the health of our body exposed to increased external effects, it is not enough to consume only non-chemical foods, but also foods that have a health-protective effect.

Organic beer is increasingly spread in the world, but is still available in small quantities. In addition to a number of brewing raw materials experiments, einkorn wheat (*Triticum monococcum* L.) is still relegated to the background, and little scientific research dealing with einkorn wheat beer industry usability.

Mapping einkorn wheat as possible raw material for brewing. Optimizing malt production. Determination of its antioxidant capacity.

The main guideline of my research was to develop the technology of Organic Einkorn beer. To make the beer from einkorn I supported the applicability of einkorn in brewing industry with scientific research. I have found that the nutritional composition is similar to barley, but its size is smaller than that. The einkorn is loosely surrounded by chaff, the ratio of which is 30% to the core. During the study, I determined the starch amylose-amylopectin ratios (15/85) of einkorn, and determined the gelatinization temperature of einkorn starch (83 °C) and the optimum temperature (65 °C) of the starch-degrading β -amylase enzyme. Due to the high gelatinisation temperature of einkorn starch, it was necessary to modify the mashing technology.

I have made malting trials with einkorn on a micromalting equipment. Examining the nutritional components of einkorn malt I determined the most successful malting process. By varying the malting parameters and on the results of malt nutritional characteristics, I determined the formulas describing the optimum malting parameters of einkorn using a response surface statistical method. The malting of einkorn is optimal, if it is steeped and germinated on 22°C and germination takes 5 days, and the moisture content at the end of germination is 45%. This method results an einkorn malt with acceptable parameters (table 16.) for brewing.

Four different methods (TPC, FRAP, DPPH, TEAC) were used to determine antioxidant capacity of einkorn, malting barley and other potential brewing raw material grains and then I compared to each other. In order to detect as many antioxidants as possible, I had to adapt the extraction method described by Pérez-Jiménez et al. (2006), which includes two extraction steps, an aqueous and an acidic extraction. During the study, I came to the conclusion that in the second

stage of the extraction, about two-thirds of all the components of the total antioxidant capacity were recovered during the second, acidic extraction step. In addition, it found that the antioxidant capacity of einkorn was in all case lower compared to barley. During malting, I could see an increase in antioxidant capacity. The einkorn malt had superior results in comparison with other wheat in case of DPPH and TEAC determination method.

It can be concluded that organic barley had the highest antioxidant capacity in each of the four different antioxidant capacity determination methods. Among the wheat samples the einkorn had the highest antioxidant capacity, except for the FRAP method, where a wheat sample had a higher iron-reducing capacity.

Production of wort and beer from malted and unmalted einkorn

Unfortunately, my successful malting technology could not be utilized anymore, because in order to make beer at the beginning in a small brewery, I would have had to produce small amounts of malt, which is impossible in Hungary.

From this consideration, I decided to use unmalted einkorn, but due to the high gelatinization temperature of the einkorn starch the use of decoction mashing was inevitable. In the composition of the raw materials, I was striving for more than 50% of the einkorn portion. During the experiment I used the dehulled einkorn for higher extract content, and the hulled einkorn for better filterability of the wort. Since the laboratory trials doesn't cover all the industrial brewing steps (lautering, hop boiling, whirlpooling, fermentation, aging), I have transposed the best laboratory mashing to pilot scale. The beer thus obtained contains 51% of hulled and dehulled einkorn, resulting a beer ready for the market.

Based on the antioxidant capacity of the raw material, I determined the effect of the brewing steps of antioxidant capacity. Most polyphenols were in the first wort, but this diminished greatly, probably due to the considerable dilution. During brewing, the antioxidant capacity showed a greater fluctuation in the FRAP and TPC methods, but in DPPH and TEAC, this cannot be stated.

Investigating potential health-protective components

I compared the antioxidant capacity of the finished product brewed on an industrial scale with other beers from the Hungarian market. They consist beers of a variety of ingredients, different alcoholic content and different amounts of hops.

Regarding the results of the TPC method, it can be stated that the Dreher has detected the lowest values for nonalcoholic beer. Dreher Bak, Ksiazec and Bernard were higher than the average, which is explained by the malt composition, higher extract content, and the addition of other substances. In the category of light beers, Gniewos and Budweiser, which have higher extract content, one of the highlights has Organic Einkorn Beer. Particularly interesting is its antioxidant content so high that it exceeds Wells Bombardie's brown beers. In the FRAP method, I came to similar conclusions as above. Alakor Bio beer showed outstanding results among beers with clear, average extracts. In the DPPH method, we have outstanding values for Fuller's IPA, which contains extra amounts of hops and I found Ksiazec beer with dried rose hips. It can be stated that this method is best suited for compounds found in hops.

I observed that beers with the lowest antioxidant capacity were non-alcoholic beers, the highest being the beers prepared with higher amount of colored malt or higher amounts of hops or additives rich in antioxidant compounds. In the TEAC method, no protruding values were measured. However, it cannot be ignored that one of the highest antioxidant capacity was measured at Organic Einkorn beer. Overall, I can state that Organic Einkorn beer had the same or greater antioxidant capacity as light beers thanks to the high antioxidant capacity of the raw material.

The statistical component analysis (PCA-BiPlot) has confirmed the literature that from the point of view of antioxidant capacity different beers can be grouped into separate groups based on the ingredients and the technologies. Based on the above mentioned statistical analysis, I can state that Dreher Bak and Bernard samples have outstanding free radical elimination properties, whereas Gösser Zitrone, Hoegaarden, Carlsberg and Dreher non-alcoholic beers have shown modest values. Corona Extra, Zywiec Premium, Tyskie and Dreher Classic beers also showed modest values. The other beers were relatively close to each other in the reduced factor space, so there was no significant difference between them. The relationship between the different methods used is that while the DPPH, FRAP TPC method correlates well with each other (small angle of the vectors representing them), the TEAC method is significantly separated from these. Taking into account the PCA analysis, The Organic Einkorn beer does not show much difference compared to light beers in terms of antioxidant capacity, but there is a significant difference between other wheat beers.

During the mineral content test I examined the mineral content of the water used to brew beer to exclude the effect of the brewing water on the finished product. The mineral content of the mineral water has proved that the used brewing water may have little effect on the composition of the final mineral. When examining the mineral content of einkorn seed and husk, I have found that the largest amount of copper and sodium is removed during dehulling, however, taking into account the 30% of the core / husk is not significant. Compared with the literature on barley, it contained more than ten times the amount of calcium, iron, manganese and sodium, but the content of potassium, magnesium and phosphorus was also several times the barley.

Since I was able to produce beer according to market expectations and to produce a ready-to-use product under scale, I examined their mineral content and compared it with the literature. The results show that the potassium content of the beer made on pilot plant is highest, followed by a small difference between the potassium concentration of the industrial beer and the average value of the domestic beers, which almost half of the potassium content of the beer is made on pilot plant. The phosphorus content of the beer made on pilot plant is almost identical with the industrial beer, which is about two-thirds of the average value of domestic beers. Calcium content of the einkorn is more than ten times of barley. During the brewing experiments, we encountered lower calcium content in the industrial samples, due to the water treatment technology. In the case of magnesium, both samples exceeded the literature average values.

In order to prove the impact of einkorn beer on health, I examined the vitamin content of the finished product and compared it with other beers found on the Hungarian market. The vitamins tested are originating from malt, in this case the einkorn and yeast activity. I studied a number of vitamins concentrations in different beers, but I found detectable values only for thiamin and nicotinamide. During the experiment, the IPA type of beer had the highest amount of vitamin due to the higher amount of raw material. The content of nicotinamide in Organic Einkorn beer is considerably higher than the other beers tested, while the content of thiamine remains only in the case of beers made from special malt.

With my results, I have demonstrated the applicability of einkorn wheat for the brewing process and thanks to the developed brewing technology the Organic Einkorn beer enriches the Hungarian beer palette with an organic beer, being the first one on the market.

IRODALOMJEGYZÉK

- ABDEL-AAL, E. S. M., HUCL, P., SOSULSKI, F. W., BHIRUD, P. R. (1997). Kernel, Milling and Baking Properties of Spring-Type Spelt and Einkorn Wheats. *Journal of Cereal Science*, 26(3), 363-370.
- ALHO, H., LEINONEN, J. (1999). Total antioxidant activity measured by chemiluminescence methods. *Methods Enzymol*, 299, 3-15.
- APAK, R., GÜÇLÜ, K., DEMIRATA, B., ÖZYÜREK, M., ÇELİK, S. E., BEKTAŞOĞLU, B., BERKER, K. I., ÖZYURT, D. (2007). Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, 12(7), 1496-1547.
- ARRANZ, S., CHIVA-BLANCH, G., VALDERAS-MARTÍNEZ, P., MEDINA-REMÓN, A., LAMUELA-RAVENTÓS, R. M., ESTRUCH, R. (2012). Wine, Beer, Alcohol and Polyphenols on Cardiovascular Disease and Cancer. *Nutrients*, 4(7), 759-781.
- BALL, G. F. M. (2005). *Vitamins In Foods: Analysis, Bioavailability, and Stability*: CRC Press.
- BALOGH, E. (2010): *Antioxidáns kapacitás meghatározása és ennek kialakításában szerepet játszó vegyületek vizsgálata boglyós gyümölcsök esetében. Élelmiszertudományi Doktori Iskola. Budapesti Corvinus Egyetem, PhD, p.*
- BAMFORTH, C. W. (2002). Nutritional aspects of beer—a review. *Nutrition Research*, 22(1–2), 227-237.
- BARTOLOMÉ, B., GÓMEZ-CORDOVÉS, C. (1999). Barley spent grain: release of hydroxycinnamic acids (ferulic and p-coumaric acids) by commercial enzyme preparations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(3), 435-439.
- BECKER, E. M., NISSEN, L. R., SKIBSTED, L. H. (2004). Antioxidant evaluation protocols: Food quality or health effects. *European Food Research and Technology*, 219(6), 561-571.
- BÉNDEK, G. (1986). *Söripari minőség-ellenőrzés I. Általános és kémiai módszerek*. Budapest: Söripari Kutató.
- BENZIE, I. F., STRAIN, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.
- BENZIE, I. F. F. (2000). Evolution of antioxidant defence mechanisms. *European Journal of Nutrition*, 39(2), 53-61.
- BEZERRA, M. A., SANTELLI, R. E., OLIVEIRA, E. P., VILLAR, L. S., ESCALEIRA, L. A. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76(5), 965-77.
- BLOCK, G., PATTERSON, B., SUBAR, A. (1992). Fruit, vegetables, and cancer prevention: A review of the epidemiological evidence. *Nutrition and Cancer*, 18(1), 1-29.

- BLOIS, M. S. (1958). Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. [10.1038/1811199a0]. *Nature*, 181(4617), 1199-1200.
- BORS, W., MICHEL, C., SARAN, M. (1984). Inhibition of the bleaching of the carotenoid crocin a rapid test for quantifying antioxidant activity. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism*, 796(3), 312-319.
- BOX, G. E. P., WILSON, K. B. (1951). On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 13(1), 1-45.
- BRANDOLINI, A., HIDALGO, A., MOSCARITOLO, S. (2008). Chemical composition and pasting properties of einkorn (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*) whole meal flour. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 599-609.
- BRANDOLINI, A., HIDALGO, A., PLIZZARI, L. (2010). Storage-induced changes in einkorn (*Triticum monococcum* L.) and breadwheat (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) flours. *Journal of Cereal Science*, 51(2), 205-212.
- BRANDOLINI, A., HIDALGO, A., PLIZZARI, L., ERBA, D. (2011). Impact of genetic and environmental factors on einkorn wheat (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*) polysaccharides. *Journal of Cereal Science*, 53(1), 65-72.
- BRIGGS, D. E. (1998). *Malts and Malting*: Springer.
- BRIGGS, D. E., BROOKES, P. A., STEVENS, R., BOULTON, C. A. (2004). *Brewing: Science and Practice*: Elsevier Science.
- CADENAS, E. (1989). Biochemistry of oxygen toxicity. *Annu Rev Biochem*, 58, 79-110.
- CAI, S., WANG, O., WU, W., ZHU, S., ZHOU, F., JI, B., GAO, F., ZHANG, D., LIU, J., CHENG, Q. (2011). Comparative Study of the Effects of Solid-State Fermentation with Three Filamentous Fungi on the Total Phenolics Content (TPC), Flavonoids, and Antioxidant Activities of Subfractions from Oats (*Avena sativa* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(1), 507-513.
- CAO, G., ALESSIO, H. M., CUTLER, R. G. (1993). Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine*, 14(3), 303-311.
- CARVALHO, D. O., GONÇALVES, L. M., GUIDO, L. F. (2016). Overall Antioxidant Properties of Malt and How They Are Influenced by the Individual Constituents of Barley and the Malting Process. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(5), 927-943.
- CHEVION, S., ROBERTS, M. A., CHEVION, M. (2000). The use of cyclic voltammetry for the evaluation of antioxidant capacity. *Free Radical Biology and Medicine*, 28(6), 860-870.
- CORNELLI, U. (2009). Antioxidant use in nutraceuticals. *Clinics in Dermatology*, 27(2), 175-194.
- CSAPÓ, J. C. K., ZSUZSANNA;. (2003). *Élelmiszer-kémia*: Mezőgazda kiadó.

- DÁNIEL, K. (2016): *Hazai kereskedelmi forgalomban kapható sörök folsav-, polifenol-tartalmának, antioxidáns-aktivitásának és színkarakterisztikájának jellemzése. Egészségtudományi Kar. Semmelweis Egyetem, Msc, 61 p.*
- DAVIES, K. J. (2000). Oxidative stress, antioxidant defenses, and damage removal, repair, and replacement systems. *IUBMB Life*, 50(4-5), 279-89.
- DEÁK, T. (1998). *Élesztőgombák a természetben és az iparban*. Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó.
- DELANGE, R. J., GLAZER, A. N. (1989). Phycoerythrin fluorescence-based assay for peroxy radicals: a screen for biologically relevant protective agents. *Anal Biochem*, 177(2), 300-6.
- ĐORĐEVIĆ, T. M., ŠILER-MARINKOVIĆ, S. S., DIMITRIJEVIĆ-BRANKOVIĆ, S. I. (2010). Effect of fermentation on antioxidant properties of some cereals and pseudo cereals. *Food Chemistry*, 119(3), 957-963.
- ERBA, D., HIDALGO, A., BRESCIANI, J., BRANDOLINI, A. (2011). Environmental and genotypic influences on trace element and mineral concentrations in whole meal flour of einkorn (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*). *Journal of Cereal Science*, 54(2), 250-254.
- EBLINGER, H. M. (2009). *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*: Wiley.
- EUROSTAT. (2012). http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Causes_of_death_statistics/hu.
- EWING, J. F., JANERO, D. R. (1995). Microplate superoxide dismutase assay employing a nonenzymatic superoxide generator. *Anal Biochem*, 232(2), 243-8.
- FM, É.-F. F. (2013): *Magyar Élelmiszerkönyv (Codex Alimentarius Hungaricus)*, 2-702. p.
- FRANKEL, E. N., MEYER, A. S. (2000). The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(13), 1925-1941.
- FRIEDRICH, W., GALENSA, R. (2002). Identification of a new flavanol glucoside from barley (*Hordeum vulgare* L.) and malt. *European Food Research and Technology*, 214(5), 388-393.
- GARCÍA-LAFUENTE, A., GUILLAMÓN, E., VILLARES, A., ROSTAGNO, M., MARTÍNEZ, J. (2009). Flavonoids as anti-inflammatory agents: implications in cancer and cardiovascular disease. *Inflammation Research*, 58(9), 537-552.
- GERHÄUSER, C. (2005). Beer constituents as potential cancer chemopreventive agents. *European Journal of Cancer*, 41(13), 1941-1954.
- GETOFF, N. (2007). Anti-aging and aging factors in life. The role of free radicals. *Radiation Physics and Chemistry*, 76(10), 1577-1586.

- GHISELLI, A., SERAFINI, M., NATELLA, F., SCACCINI, C. (2000). Total antioxidant capacity as a tool to assess redox status: critical view and experimental data. *Free Radical Biology and Medicine*, 29(11), 1106-1114.
- GORINSTEIN, S., CASPI, A., ZEMSER, M., TRAKHTENBERG, S. (2000). Comparative contents of some phenolics in beer, red and white wines. *Nutrition Research*, 20(1), 131-139.
- GORJANOVIĆ, S. Z., NOVAKOVIĆ, M. M., POTKONJAK, N. A. I., LESKOŠEK-ČUKALOVIĆ, I., SUŽNJEVIĆ, D. Z. (2009). Application of a Novel Antioxidative Assay in Beer Analysis and Brewing Process Monitoring. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(2), 744-751.
- GUERITAT, J., LEFEUVRE-ORFILA, L., VINCENT, S., CRETUAL, A., RAVANAT, J.-L., GRATAS-DELAMARCHE, A., RANNOU-BEKONO, F., REBILLARD, A. (2014). Exercise training combined with antioxidant supplementation prevents the antiproliferative activity of their single treatment in prostate cancer through inhibition of redox adaptation. *Free Radical Biology and Medicine*, 77(0), 95-105.
- GUIDO, L. F., FORTUNATO, N. A., RODRIGUES, J. A., BARROS, A. A. (2003). Voltammetric assay for the aging of beer. *J Agric Food Chem*, 51(14), 3911-5.
- HALLIWELL, B., GUTTERIDGE, J. M. (1995). The definition and measurement of antioxidants in biological systems. *Free Radical Biology and Medicine*, 18(1), 125-126.
- HIDALGO, A., BRANDOLINI, A., POMPEI, C., PISCOZZI, R. (2006). Carotenoids and tocopherols of einkorn wheat (*Triticum monococcum* ssp. *monococcum* L.). *Journal of Cereal Science*, 44(2), 182-193.
- HUANG, D., OU, B., PRIOR, R. L. (2005). The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841-1856.
- HUR, S. J., LEE, S. Y., KIM, Y.-C., CHOI, I., KIM, G.-B. (2014). Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. *Food Chemistry*, 160(0), 346-356.
- INTERCHOPEN (2017): 2017., p.
- JONES, D. B. (1931). *Factors for converting percentages of nitrogen in foods and feeds into percentages of proteins*: U.S. Dept. of Agriculture.
- KARABÍN, M., HUDCOVÁ, T., JELÍNEK, L., DOSTÁLEK, P. (2016). Biologically Active Compounds from Hops and Prospects for Their Use. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 542-567.
- KSH (2015): p.
- KSH, É. (2017): p.
- KUNZE, W., PRATT, S., MANGER, H. J. (2004). *Technology Brewing and Malting*: VLB.
- LEE, H.-Y., PARK, J.-H., SEOK, S.-H., BAEK, M.-W., KIM, D.-J., LEE, K.-E., PAEK, K.-S., LEE, Y., PARK, J.-H. (2006). Human originated bacteria, *Lactobacillus rhamnosus* PL60, produce

conjugated linoleic acid and show anti-obesity effects in diet-induced obese mice. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1761(7), 736-744.

LIU, Q., YAO, H. (2007). Antioxidant activities of barley seeds extracts. *Food Chemistry*, 102(3), 732-737.

LIU, S., MANSON, J. E., LEE, I. M., COLE, S. R., HENNEKENS, C. H., WILLETT, W. C., BURING, J. E. (2000). Fruit and vegetable intake and risk of cardiovascular disease: the Women's Health Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(4), 922-928.

LØJE, H., MØLLER, B., LAUSTSEN, A. M., HANSEN, Å. (2003). Chemical Composition, Functional Properties and Sensory Profiling of Einkorn (*Triticum monococcum* L.). *Journal of Cereal Science*, 37(2), 231-240.

MALLETT, J. (2014). *Malt: A Practical Guide from Field to Brewhouse*: Brewers Publications.

MARTÍNEZ-TOMÉ, M., GARCÍA-CARMONA, F., MURCIA, M. A. (2001). Comparison of the antioxidant and pro-oxidant activities of broccoli amino acids with those of common food additives. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(10), 1019-1026.

MCCLEARY, B. V., MCNALLY, M., MONAGHAN, D., MUGFORD, D. C. (2002). Measurement of alpha-amylase activity in white wheat flour, milled malt, and microbial enzyme preparations, using the Ceralpha assay: collaborative study. *JAOAC Int*, 85(5), 1096-102.

MIKYŠKA, A., HRABÁK, M., HAŠKOVÁ, D., ŠROGL, J. (2002). The Role of Malt and Hop Polyphenols in Beer Quality, Flavour and Haze Stability. *Journal of the Institute of Brewing*, 108(1), 78-85.

MILLER, N. J., RICE-EVANS, C., DAVIES, M. J., GOPINATHAN, V., MILNER, A. (1993). A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clinical science (London, England: 1979)*, 84(4), 407-412.

MONTANARI, L., MAYER, H., MARCONI, O., FANTOZZI, P. (2009): 34 - *Minerals in Beer A2 - Preedy, Victor R. Beer in Health and Disease Prevention. Academic Press*, 359-365 p.

NARZISS, L., BACK, W. (2012). *Die Bierbrauerei: Band 1 - Die Technologie der Malzbereitung*: Wiley.

NAVAS DÍAZ, A., RAMOS PEINADO, M. C., TORIJAS MINGUEZ, M. C. (1998). Sol-gel horseradish peroxidase biosensor for hydrogen peroxide detection by chemiluminescence. *Analytica Chimica Acta*, 363(2-3), 221-227.

OU, B., HAMPSCH-WOODILL, M., FLANAGAN, J., DEEMER, E. K., PRIOR, R. L., HUANG, D. (2002). Novel fluorometric assay for hydroxyl radical prevention capacity using fluorescein as the probe. *J Agric Food Chem*, 50(10), 2772-7.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J., ARRANZ, S., TABERNERO, M., DÍAZ- RUBIO, M. E., SERRANO, J., GOÑI, I., SAURA-CALIXTO, F. (2008). Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant

- foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. *Food Research International*, 41(3), 274-285.
- PÉREZ-JIMÉNEZ, J., SAURA-CALIXTO, F. (2006). Effect of solvent and certain food constituents on different antioxidant capacity assays. *Food Research International*, 39(7), 791-800.
- PINKUS (2017): 2017., p.
- POKORNY, J., YANISHLIEVA, N., GORDON, M. H. (2001). *Antioxidants in Food: Practical Applications*: Taylor & Francis.
- POPOV, I. N., LEWIN, G. (1994). Photochemiluminescent detection of antiradical activity: II. Testing of nonenzymic water-soluble antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine*, 17(3), 267-271.
- POPOV, I. N., LEWIN, G. (1996). Photochemiluminescent detection of antiradical activity; IV: testing of lipid-soluble antioxidants. *Journal of biochemical and biophysical methods*, 31(1-2), 1-8.
- PREEDY, V. R. (2011). *Beer in Health and Disease Prevention*: Elsevier Science.
- PRIOR, R. L., CAO, G. (1999). In vivo total antioxidant capacity: comparison of different analytical methods. *Free Radic Biol Med*, 27(11-12), 1173-81.
- PRYOR, W. A., SQUADRITO, G. L. (1995). The chemistry of peroxynitrite: a product from the reaction of nitric oxide with superoxide. *American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology*, 268(5), L699-L722.
- RAJENDRAN, P., NANDAKUMAR, N., RENGARAJAN, T., PALANISWAMI, R., GNANADHAS, E. N., LAKSHMINARASIAH, U., GOPAS, J., NISHIGAKI, I. (2014). Antioxidants and human diseases. *Clinica Chimica Acta*, 436(0), 332-347.
- ROSZÍK, P. (2013). *Az ökológiai gazdálkodásról gazdáknak, közérthetően*. Budapest: Biokontroll Hungária Nonprofit Kft.
- SAID, T. M., KATTAL, N., SHARMA, R. K., SIKKA, S. C., THOMAS, A. J., MASCHA, E., AGARWAL, A. (2003). Enhanced chemiluminescence assay vs colorimetric assay for measurement of the total antioxidant capacity of human seminal plasma. *Journal of Andrology*, 24(5), 676-680.
- SANTOS, M., JIMÉNEZ, J. J., BARTOLOMÉ, B., GÓMEZ-CORDOVÉS, C., DEL NOZAL, M. J. (2003). Variability of brewer's spent grain within a brewery. *Food Chemistry*, 80(1), 17-21.
- SINGLETON, V. L., ROSSI, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- SÓLYOM, L. K., J. (1985). *Keményítő és keményítőipari termékek gyártása: Mezőgazdasági K.*
- STEVENS, J. F., IVANCIC, M., HSU, V. L., DEINZER, M. L. (1997). Prenylflavonoids from *Humulus lupulus*. *Phytochemistry*, 44(8), 1575-1585.

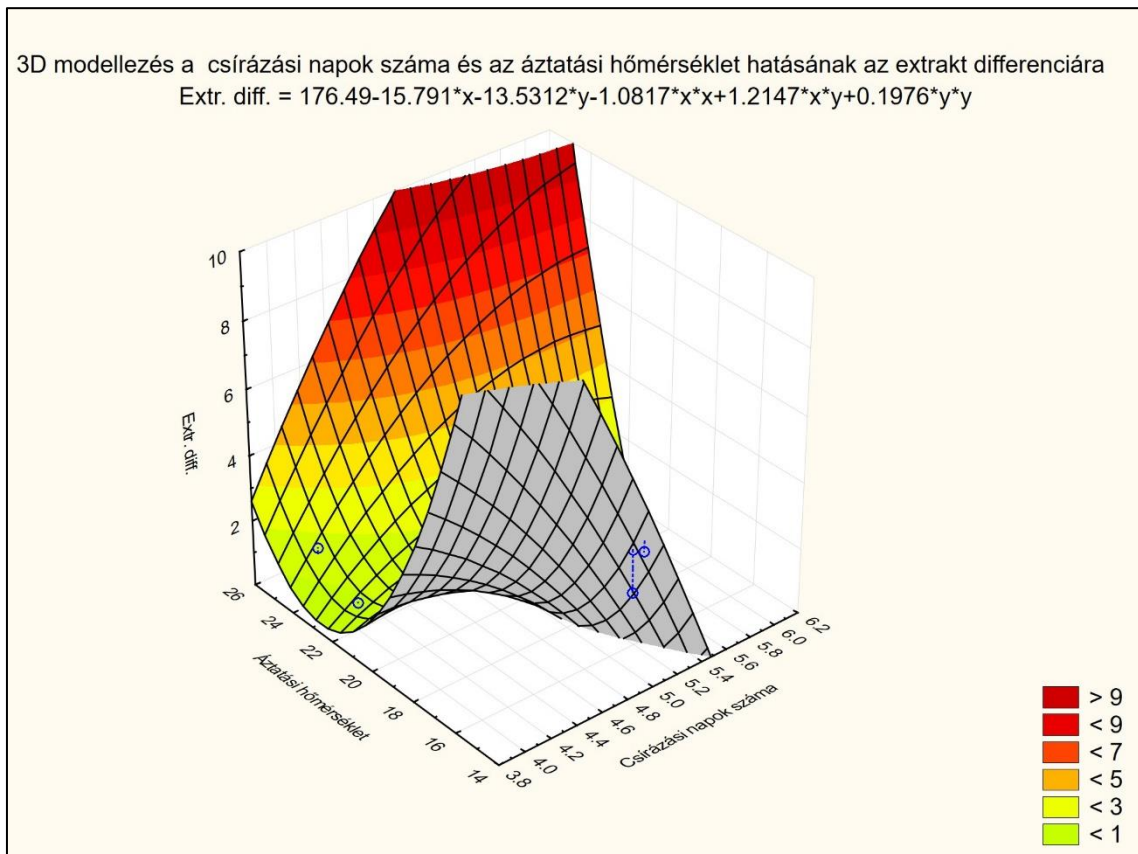
- STEVENS, J. F., PAGE, J. E. (2004). Xanthohumol and related prenylflavonoids from hops and beer: to your good health! *Phytochemistry*, 65(10), 1317-1330.
- THAVASI, V., BETTENS, R. P. A., LEONG, L. P. (2009). Temperature and Solvent Effects on Radical Scavenging Ability of Phenols. *The Journal of Physical Chemistry A*, 113(13), 3068-3077.
- TORINO, M. I., LIMÓN, R. I., MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C., MÄKINEN, S., PIHLANTO, A., VIDAL-VALVERDE, C., FRIAS, J. (2013). Antioxidant and antihypertensive properties of liquid and solid state fermented lentils. *Food Chemistry*, 136(2), 1030-1037.
- USTUNOL, Z. (2014). *Applied Food Protein Chemistry*: Wiley.
- VARGA, M., MOLNÁR, I., KOVÁCS, G. (2009). *Di-, tetra- és hexaploid triticum fajok genomjainak elemzése és azok összehasonlítása fluoreszcens in situ hibridizációval*. Hagyomány és haladás a növénynevelésben. XV. Növénynevelési Tudományos Napok, Budapest. 522-526 p.
- VECSERI, B. H. (2004): *Az ásványi anyag tartalom tanulmányozása a sörgyártás műveleti lépései során*. *Budapesti Corvinus Egyetem*, 134 p.
- VINSON, J. A., MANDARANO, M., HIRST, M., TREVITHICK, J. R., BOSE, P. (2003). Phenol Antioxidant Quantity and Quality in Foods: Beers and the Effect of Two Types of Beer on an Animal Model of Atherosclerosis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(18), 5528-5533.
- VON GADOW, A., JOUBERT, E., HANSMANN, C. F. (1997). Comparison of the antioxidant activity of aspalathin with that of other plant phenols of rooibos tea (*Aspalathus linearis*), α -tocopherol, BHT, and BHA. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(3), 632-638.
- WAYNER, D. D., BURTON, G. W., INGOLD, K. U., LOCKE, S. (1985). Quantitative measurement of the total, peroxy radical-trapping antioxidant capability of human blood plasma by controlled peroxidation. The important contribution made by plasma proteins. *FEBS Lett*, 187(1), 33-7.
- WILKINSON, F., HELMAN, W. P., ROSS, A. B. (1995). Rate Constants for the Decay and Reactions of the Lowest Electronically Excited Singlet State of Molecular Oxygen in Solution. An Expanded and Revised Compilation. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 24(2), 663-677.
- WU, X., BEECHER, G. R., HOLDEN, J. M., HAYTOWITZ, D. B., GEBHARDT, S. E., PRIOR, R. L. (2004). Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J Agric Food Chem*, 52(12), 4026-37.
- YAMAGUCHI, N., SATOH-YAMAGUCHI, K., ONO, M. (2009). In vitro evaluation of antibacterial, anticollagenase, and antioxidant activities of hop components (*Humulus lupulus*) addressing acne vulgaris. *Phytomedicine*, 16(4), 369-376.
- ZHANG, Z., LV, G., PAN, H., FAN, L., SOCCOL, C. R., PANDEY, A. (2012). Production of powerful antioxidant supplements via solid-state fermentation of wheat (*Triticum aestivum* Linn.) by *Cordyceps militaris*. *Food Technology and Biotechnology*, 50(1), 32-39.

ZULUETA, A., ESTEVE, M. J., FRÍGOLA, A. (2009). ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. *Food Chemistry*, 114(1), 310-316.

MELLÉKLETEK

M1. Az alakor malátázási paramétereinek optimalizálása statisztikai módszerrel; grafikai és algebrai értelmezése (a szöveges magyarázat az 5.1.2-es fejezetben található)

I. Az áztatási hőmérséklet és a csírázási napok hatása a maláta paraméterekre



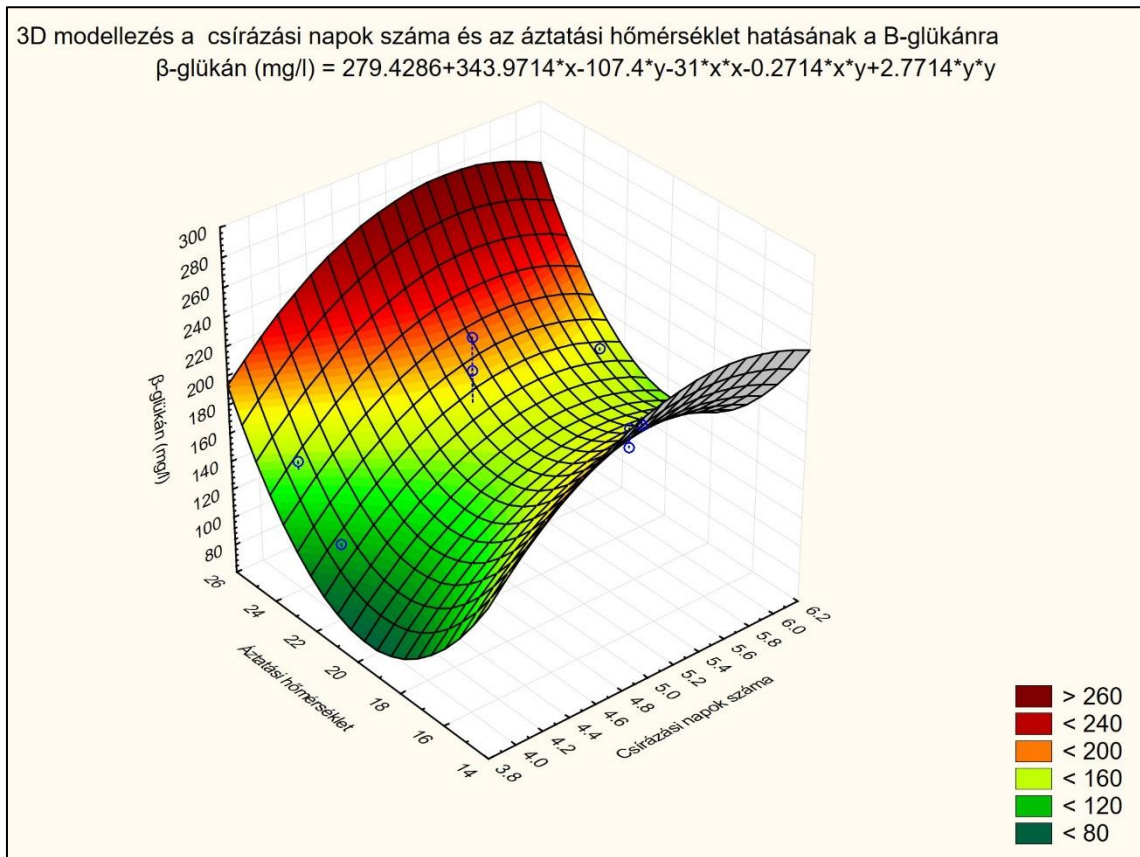
M1/35. ábra A csírázási napok száma és az áztatási hőmérséklet hatása a maláta oldottsági fokára

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{Extr. diff.} = 176 - 15,8 \cdot x - 13,5 \cdot y - 1,08 \cdot x^2 + 1,21 \cdot x \cdot y + 0,20 \cdot y^2$$

ahol az x – a csírázási napok száma,

y – áztatási hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$).



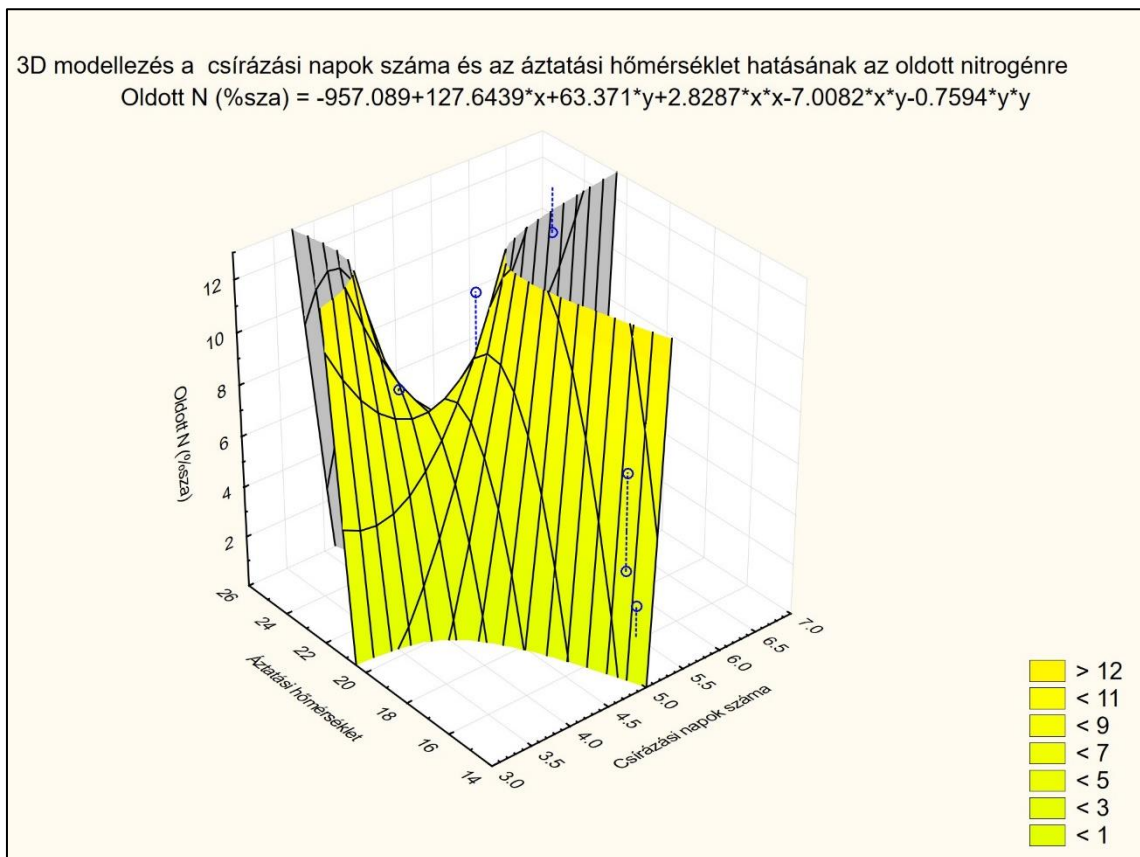
M1/36. ábra A csírázási napok száma és az áztatási hőmérséklet hatása a β -glükán tartalomra

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\beta\text{-glükán (mg/l)} = 279 + 343 * x - 107 * y - 31 * x^2 - 0,27 * x * y + 2,77 * y^2$$

ahol az x – a csírázási napok száma,

y – áztatási hőmérséklet (°C).



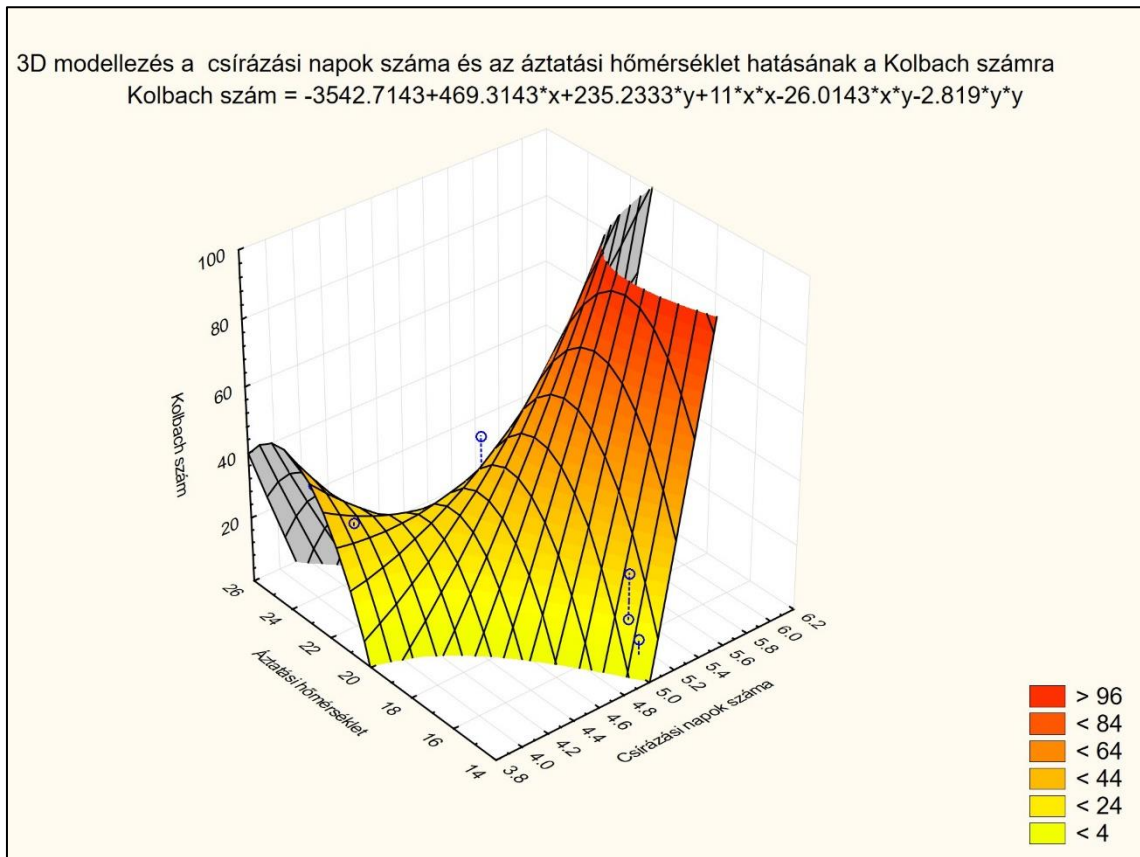
M1/37. ábra A csírázási napok száma és az áztatási hőmérséklet hatása az oldott nitrogén tartalomra

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{Oldott N (\% sz.a.)} = -957+127*x+63,4*y+2,83*x^2-7,01*x*y-0,76*y^2$$

ahol az x – a csírázási napok száma,

y – áztatási hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$).



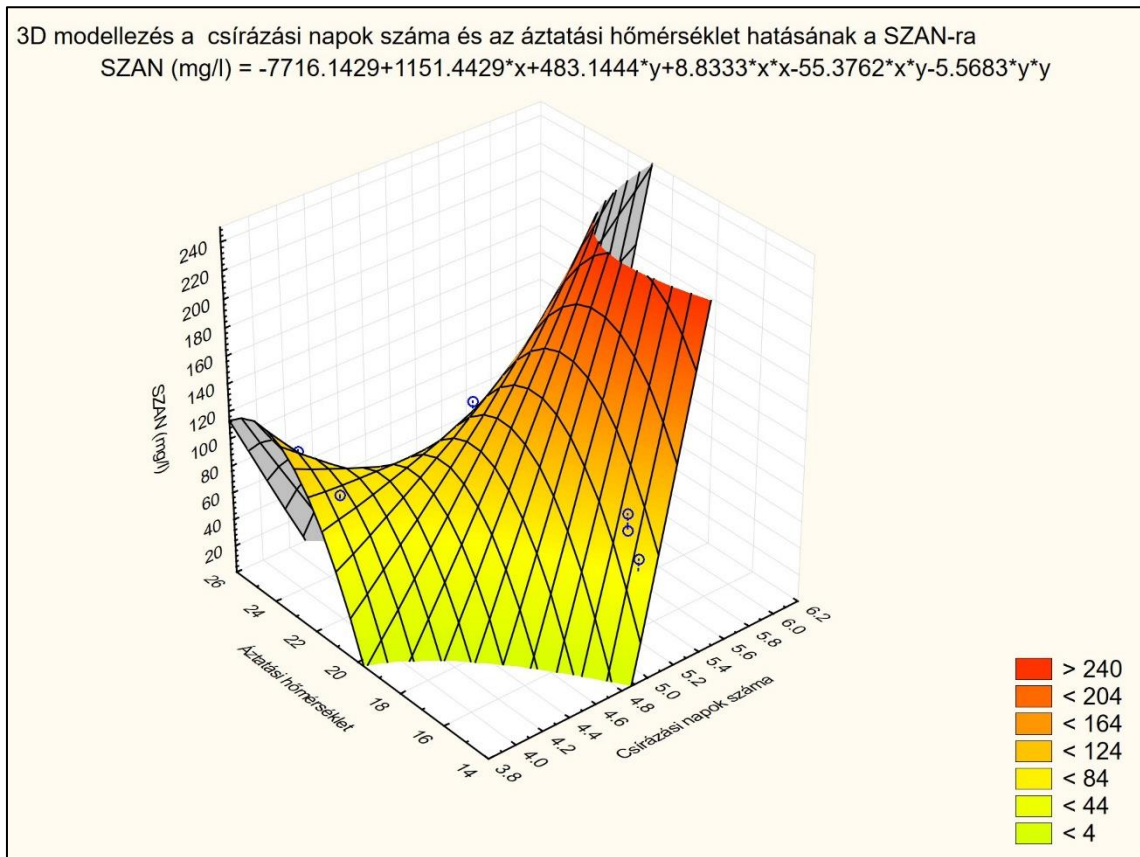
M1/38. ábra A csírázási napok száma és az áztatási hőmérséklet hatása a Kolbach indexre

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{Kolbach index} = -3542+469*x+235*y+11*x^2-26*x*y-2,82*y^2$$

ahol az x – a csírázási napok száma,

y – áztatási hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$).



M1/39. ábra A csírázási napok száma és az áztatási hőmérséklet hatása a SZAN tartalomra

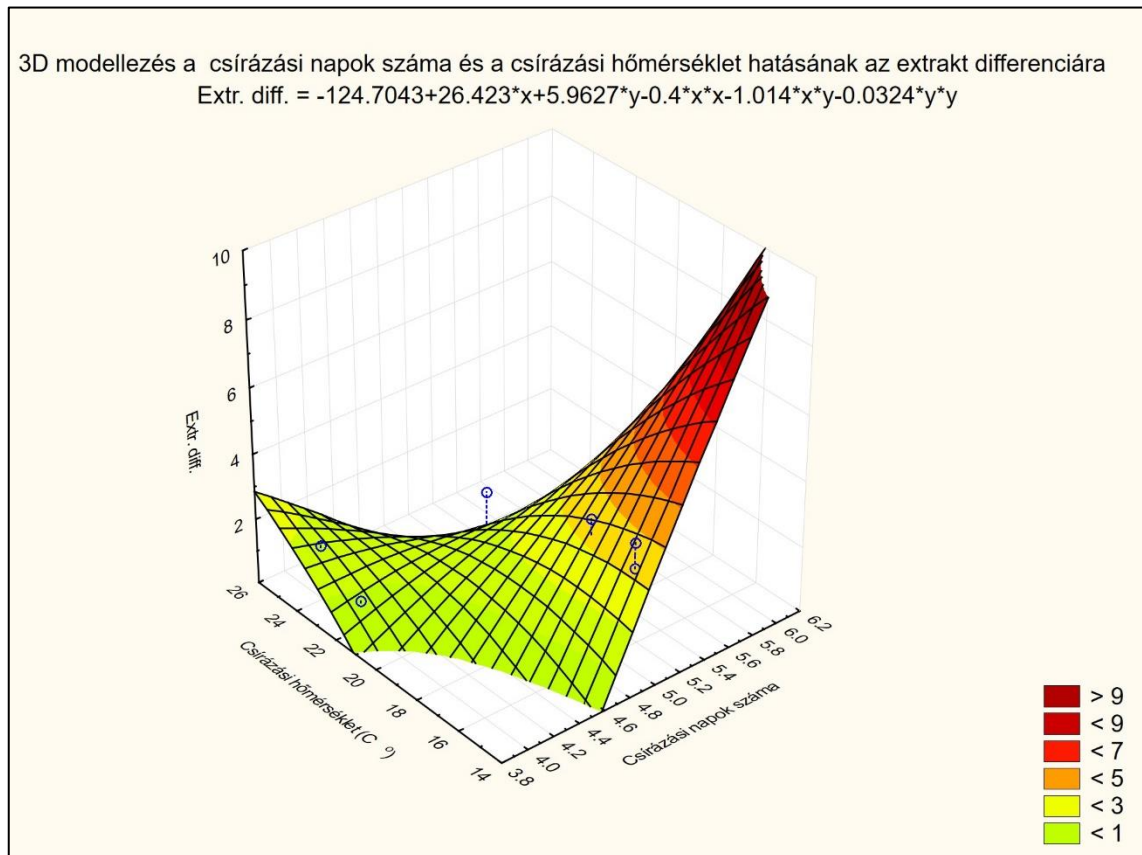
A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{SZAN (mg/l)} = -7716 + 1151 * x + 483 * y + 8,83 * x^2 - 55,4 * x * y - 5,57 * y^2$$

ahol az x – a csírázási napok száma,

y – áztatási hőmérséklet (°C).

II. A csírázási napok száma és a csírázási hőmérséklet hatása a maláta paraméterekre



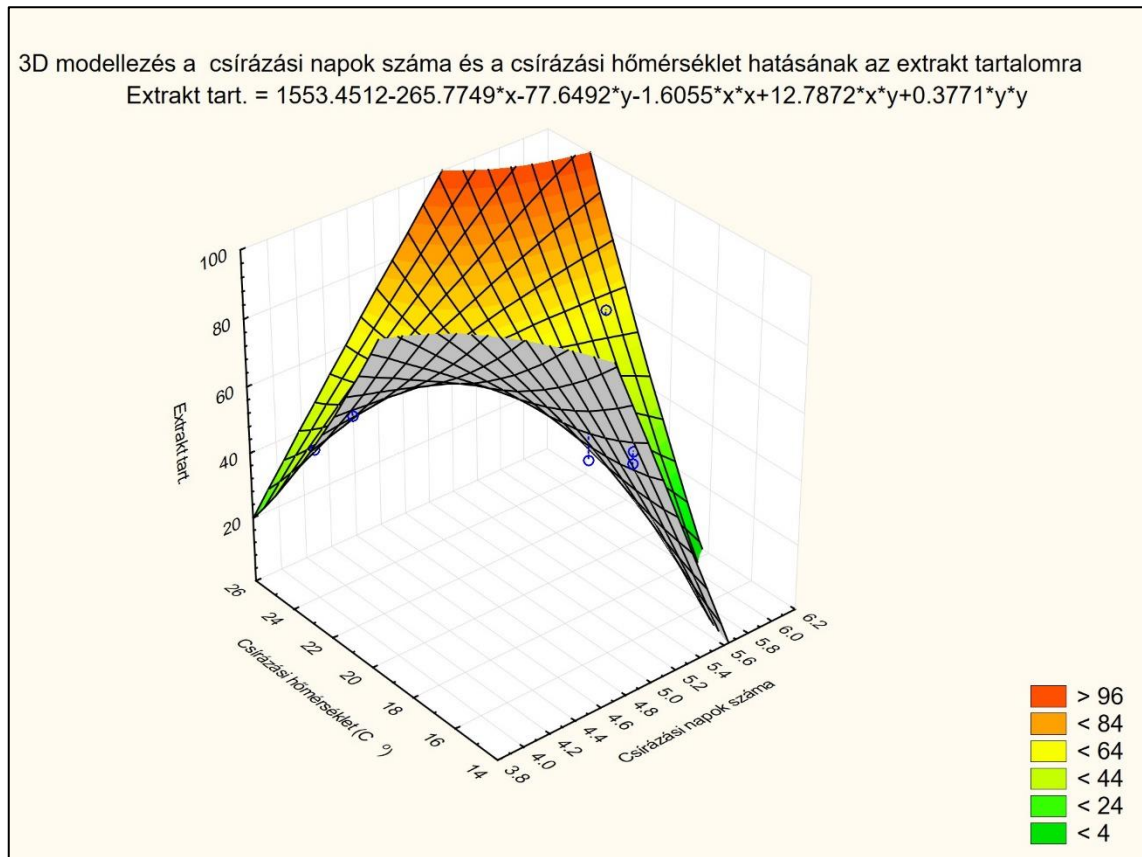
M1/40. ábra 3D felület optimalizált modell ábrázolás az extrakt differencia változásának a csírázási napok száma és a csírázási hőmérséklet függvényében

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{Extr. diff.} = -124+26,4*x+5,96*y-0,4*x^2 -1,01*x*y-0,03*y^2$$

ahol az x – a csírázási napok száma,

y – csírázási hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$).



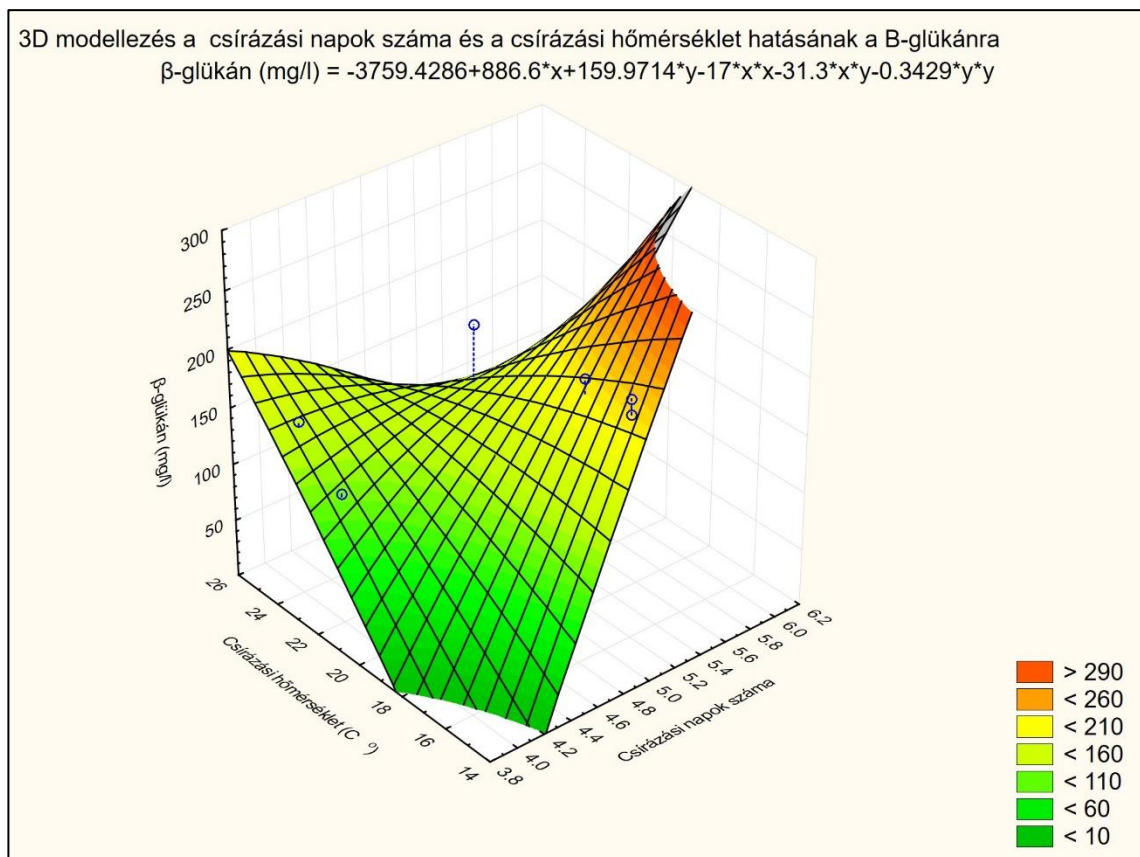
M1/41. ábra 3D felület ábrázolás az extrakt tartalom változásának a csírázási napok száma és a csírázási hőmérséklet függvényében

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{Extrakt tart.} = 1553 - 265 * x - 77,6 * y - 1,61 * x^2 + 12,8 * x * y + 0,37 * y^2$$

ahol: x - csírázási napok száma (nap)

y - csírázási hőmérséklet (°C)



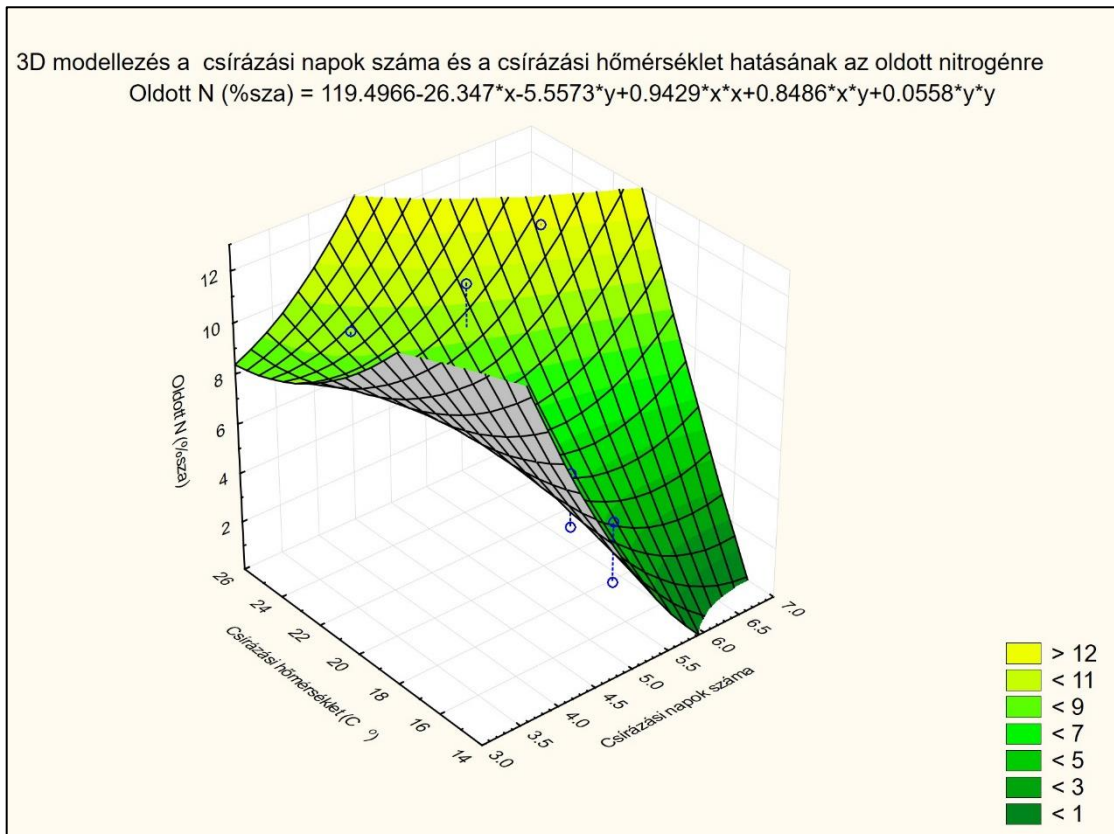
M1/42. ábra 3D felület ábrázolás a β -glükán tartalom változásának a csírázási napok száma és a csírázási hőmérséklet függvényében

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\beta - \text{glükán} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = -3759 + 886 * x + 159 * y - 17 * x^2 - 31,3 * x * y - 0,34 * y^2$$

ahol: x - csírázási napok száma (nap)

y - csírázási hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)



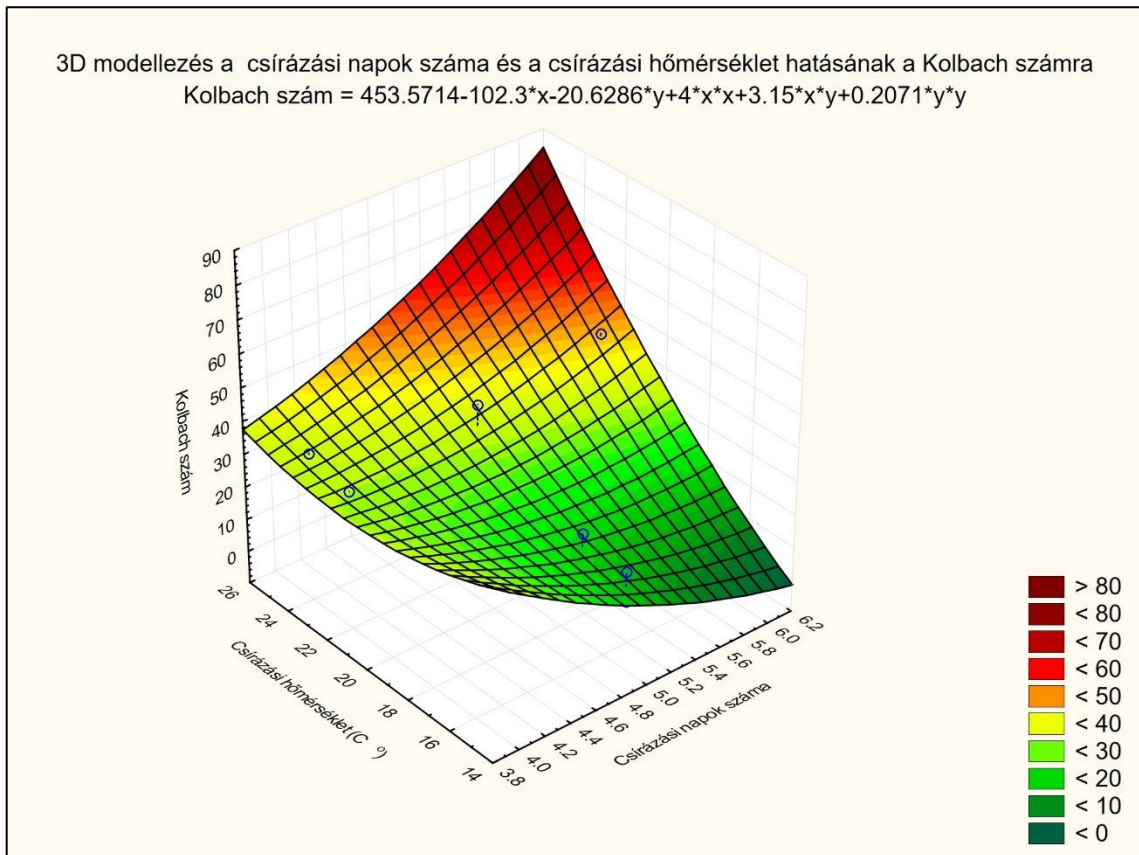
M1/43. ábra. 3D felület ábrázolás az oldott nitrogén tartalom változásának a csírázási napok száma és a csírázási hőmérséklet függvényében

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{Oldott N (\%sz. a.)} = 119 - 26,3 * x - 5,56 * y + 0,94 * x^2 + 0,85 * x * y + 0,06 * y^2$$

ahol: x - csíráztatási napok száma

y - csírázási hőmérséklet, °C



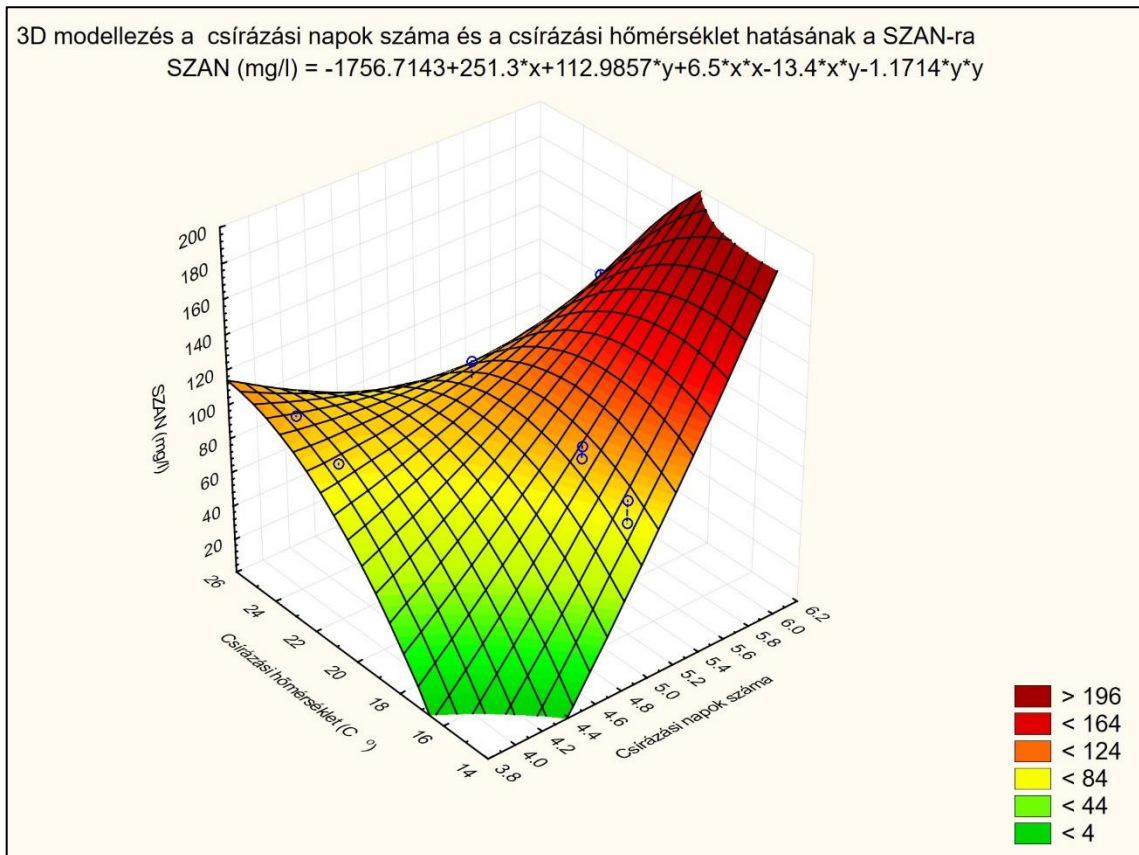
M1/44. ábra. 3D felület ábrázolás a Kolbach indexnek a csírázási napok száma és a csírázási hőmérséklet függvényében

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{Kolbach szám} = 453 - 102 * x - 20,63 * y + 4 * x^2 + 3,15 * x * y + 0,21 * y^2$$

ahol: x - csírázási napok száma

y - csírázási hőmérséklet



M1/45. ábra 3D felület ábrázolás a SZAN alakulásának esetén a csírázási hőmérséklet és a csírázási napok számának függvényében.

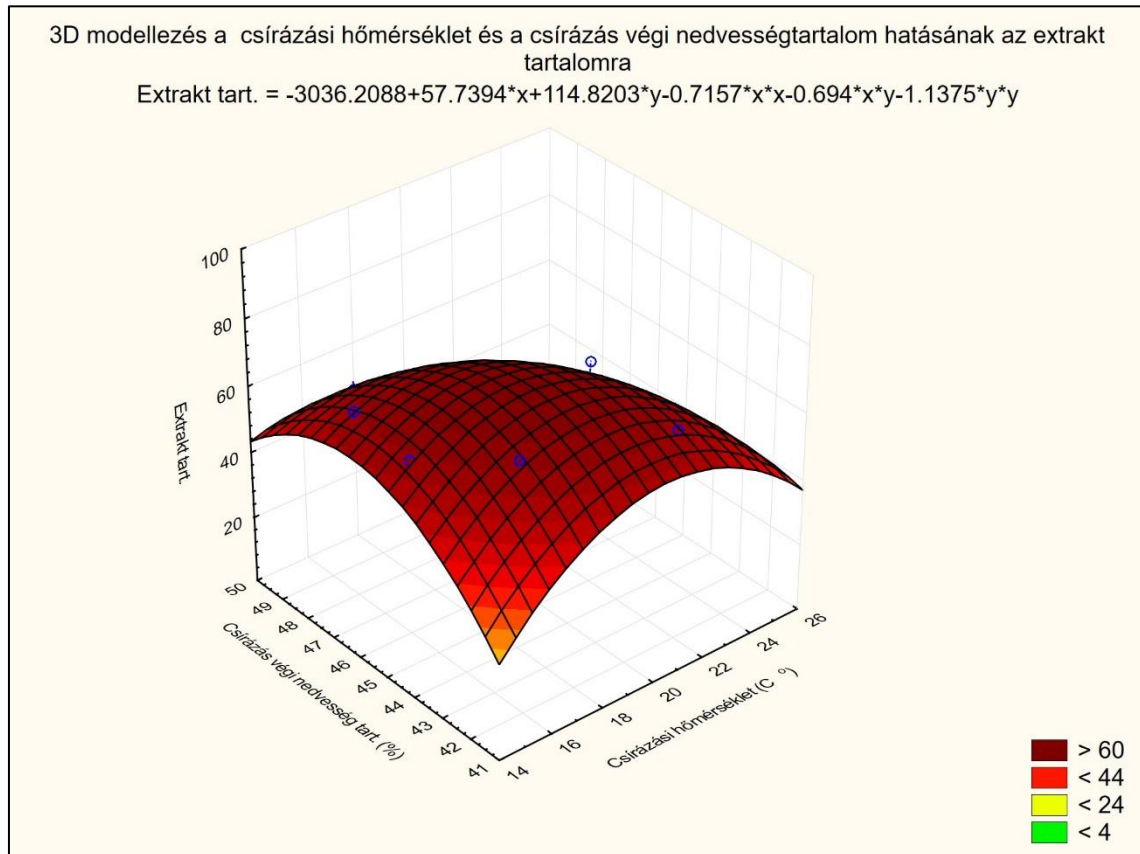
A kapott modell algebrai megfelelője:

$$SZAN (mg/l) = -1756 + 251 * x + 112 * y + 6,5 * x^2 - 13,4 * x * y - 1,17 * y^2$$

ahol: x - csírázási napok száma

y - csírázási hőmérséklet (°C)

III. A csirázási hőmérséklet és a csirázás végén mért nedvességtartalom hatása a maláta paraméterekre



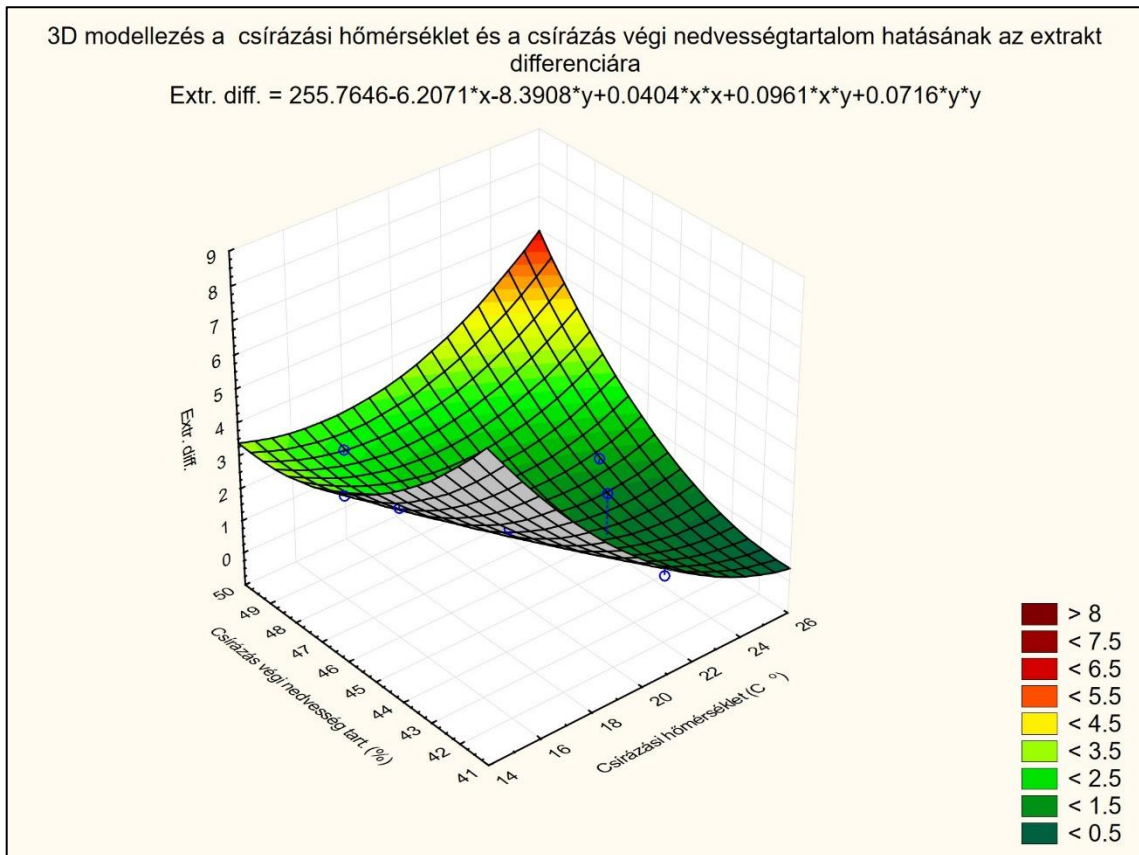
M1/46. ábra 3D felület ábrázolás az extrakt tartalom alakulásának esetén a csirázási hőmérséklet és a csirázás végi nedvességtartalom függvényében.

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{Extrakt tart.} = -3036 + 57,7 * x + 114 * y - 0,72 * x^2 - 0,69 * x * y - 1,14 * y^2$$

ahol: x - csirázási hőmérséklet (°C)

y - csirázás végi nedvességtartalom (%)



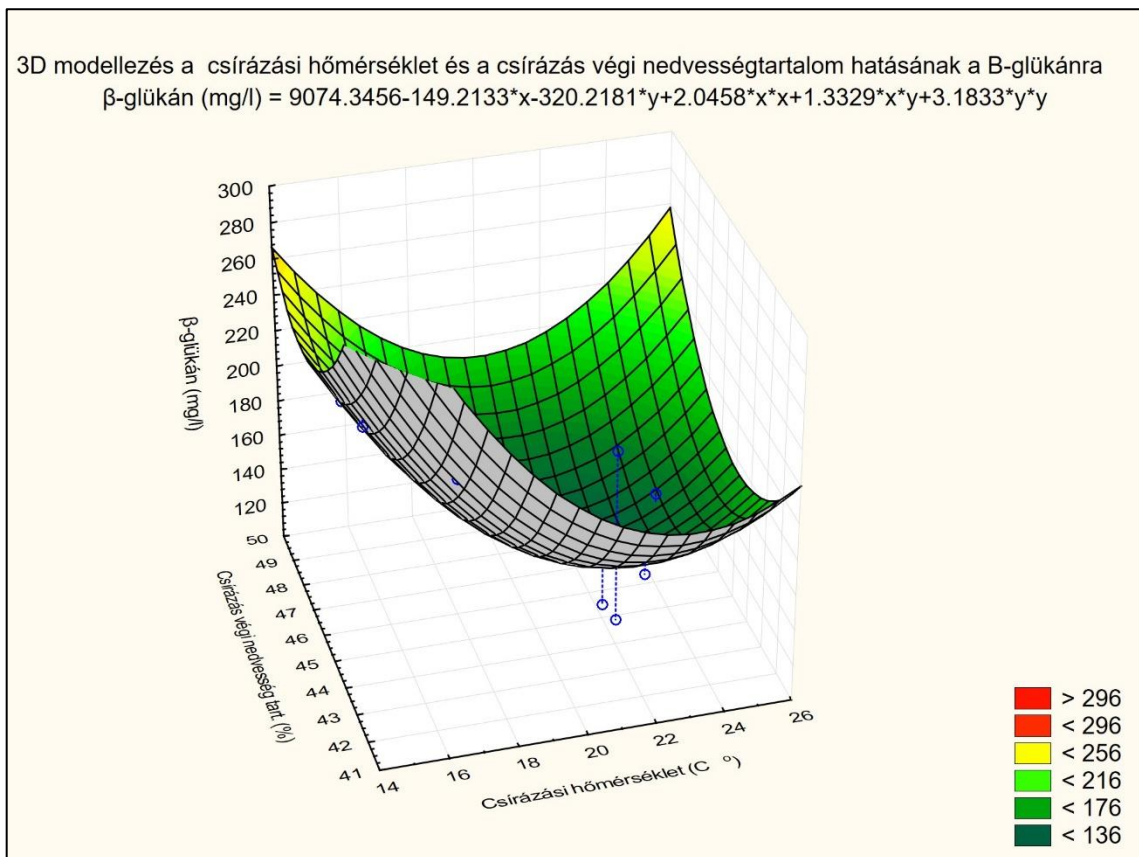
M1/47. ábra 3D felület ábrázolás az extrakt differenciának a csírázási hőmérséklet és a csírázás végi nedvességtartalom függvényében.

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{Extr. diff.} = 255 - 6,21 \cdot x - 8,39 \cdot y + 0,04 \cdot x^2 + 0,09 \cdot x \cdot y + 0,07 \cdot y^2$$

ahol: x - csírázási hőmérséklet (°C)

y – csírázás végi nedvességtartalom (%)



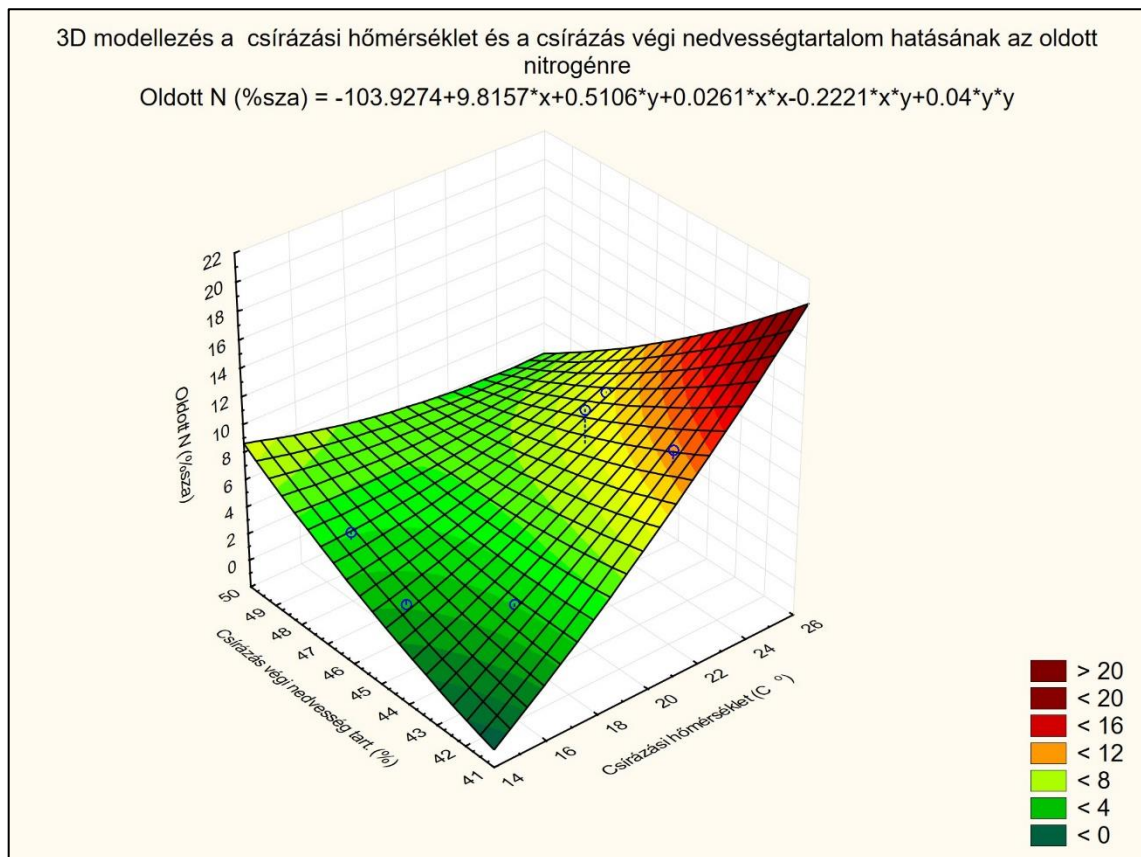
M1/48. ábra 3D felület ábrázolás a β -glükán alakulásának esetén a csírázási hőmérséklet és a csírázás végi nedvességtartalom függvényében.

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\beta\text{-glükán (mg/l)} = 9074 - 149 \cdot x - 320 \cdot y + 2,05 \cdot x^2 + 1,33 \cdot x \cdot y + 3,18 \cdot y^2$$

ahol: x - csírázási hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)

y – csírázás végi nedvességtartalom (%)



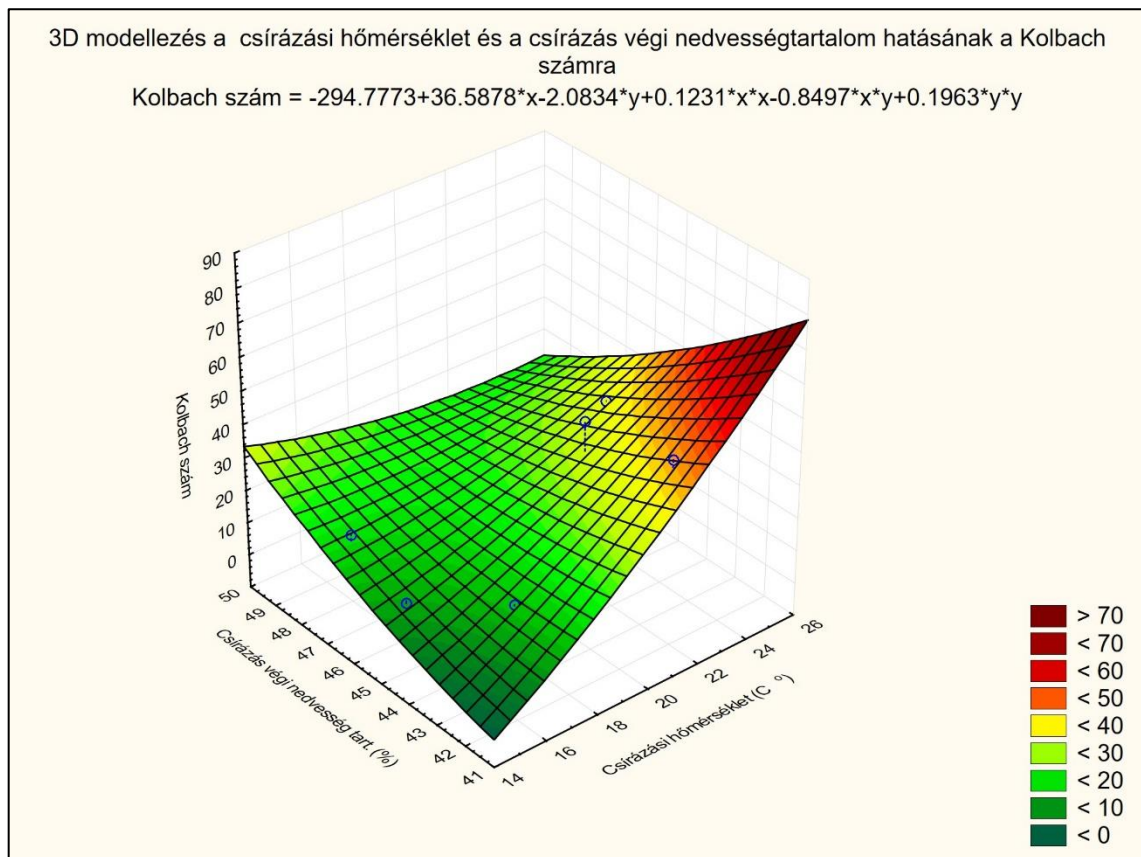
M1/49. ábra 3D felület ábrázolás az oldott nitrogén alakulásának esetén a csírázási hőmérséklet és a csírázás végi nedvességtartalom függvényében.

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{Oldott N (\% sz.a.)} = -103 + 9,82 * x + 0,51 * y + 0,03 * x^2 - 0,22 * x * y + 0,04 * y^2$$

ahol: x - csírázási hőmérséklet (°C)

y – csírázás végi nedvességtartalom (%)



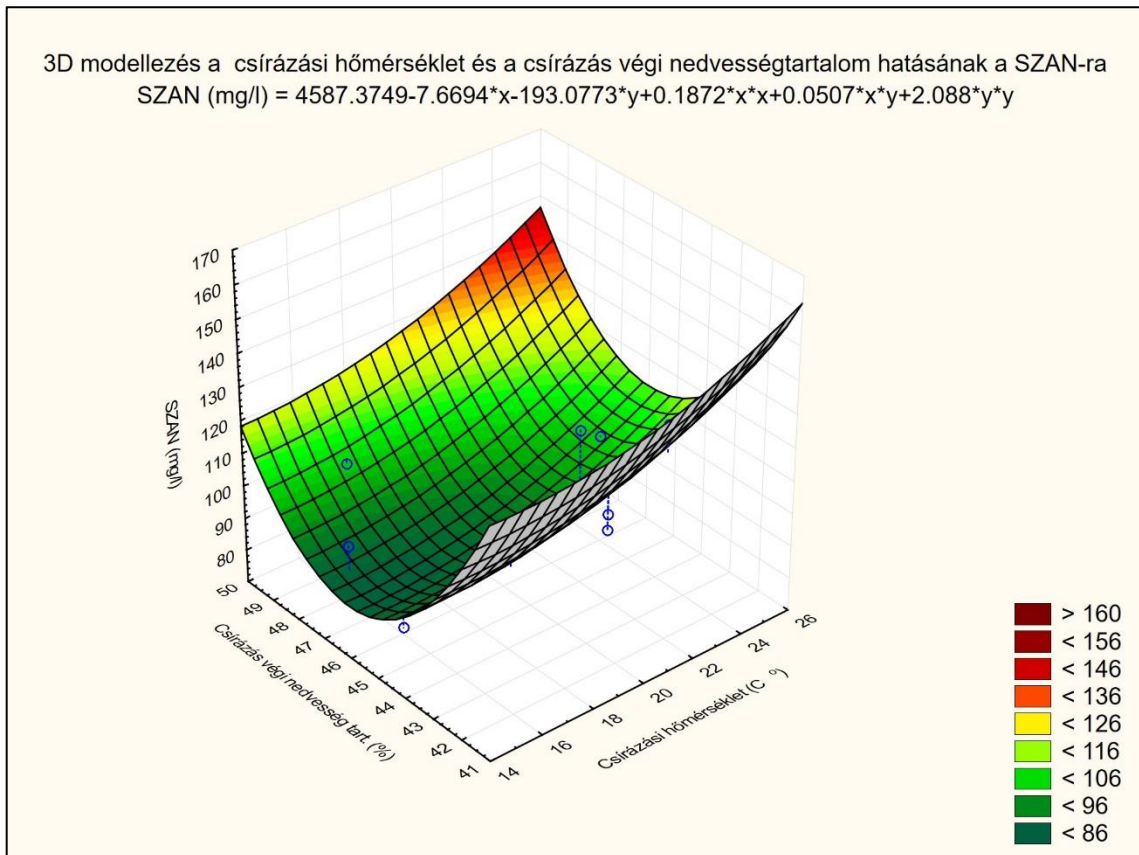
M1/50. ábra 3D felület ábrázolás a Kolbach indexnek a csírázási hőmérséklet és a csírázás végi nedvességtartalom függvényében.

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{Kolbach index} = -294 + 36,6 * x - 2,08 * y + 0,12 * x^2 - 0,85 * x * y + 0,19 * y^2$$

ahol: x - csírázási hőmérséklet (°C)

y – csírázás végi nedvességtartalom (%)



M1/51. ábra 3D felület ábrázolás a SZAN alakulásának esetén a csírázási hőmérséklet és a csírázás végi nedvességtartalom függvényében.

A kapott modell algebrai megfelelője:

$$\text{SZAN (mg/l)} = 4587 - 7,67 * x - 193 * y + 0,19 * x^2 + 0,05 * x * y + 2,09 * y^2$$

ahol: x - csírázási hőmérséklet (°C)

y – csírázás végi nedvességtartalom (%)

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Elsőként szeretném megköszönni témavezetőmnek, Hegyesné Dr. Vecseri Beáta Tanárnőnek aki munkám során nyújtott sokirányú, értékes segítséget, támogatást, biztatást, és aki nélkül most nem itt tartanék ahol tartok.

Ugyanakkor köszönet illeti a Sör- és Szeszipari Tanszék kollégáit, és pedig Dr. Kun- Farkas Gabriellát, Kiss Zsuzsannán és Dr. Kun Szilárdot a nem csak szakmai támogatásukért.

Külön köszönetet szeretnék mondani Stefanovitsé Dr. Bányai Évának, akitől a legtöbbet tanultam az antioxidánsokról.

Köszönöm doktorandusztársaimnak, Styevkó Gabriellának, Kovács Attilának és Szöllősi Attilának a mindennapi együttműködést. Csósz Attilának a gyakorlati tanácsokat, szakdolgozóimnak, valamint mindazoknak, akik közreműködtek abban, hogy ez a dolgozat megszülethessen.

Köszönöm a Boortmalt Magyarország Kft.-nek a dolgozatírásban nyújtott segítségét.

Végezetül, de nem utolsó sorban köszönöm feleségemnek a dolgozat írása során nyújtott támogatását, biztatását és türelmét, édesanyámnak és családomnak egyaránt.

A kutatás az ALKOBEER OH-00364/2008 NFÜ pályázat, a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0005 és a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2012-0023 pályázat anyagi támogatásával valósult meg.