



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar

Biomérnök Bsc képzés

**Vad aestivum fajták és fajtajelöltek rost- és rövid láncú  
szénhidrát-összetételének összehasonlító vizsgálata**

Szerző:

Szajkó Milda Blanka, IV. évfolyam (BSc)

Témavezetők:

Dr. Tömösközi Sándor, egyetemi docens

Juhászné Szentmiklóssy Marietta Klaudia, doktorandusz

Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

Gabonatudományi és Élelmiszerminőség Kutatócsoport



Lezárva: 2023. 01. 06.

# Tartalomjegyzék

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Rövidítések jegyzéke.....                                                  | 4  |
| Köszönetnyilvánítás .....                                                  | 5  |
| 1 Bevezetés.....                                                           | 6  |
| 2 Szakirodalmi áttekintés .....                                            | 7  |
| 2.1 A búza szemtermésének felépítése .....                                 | 8  |
| 2.2 A búza szénhidráttartalma .....                                        | 10 |
| 2.2.1 Keményítő .....                                                      | 11 |
| 2.2.2 Nem keményítő szénhidrátok és rostalkotók.....                       | 13 |
| 2.2.2.1 Cellulóz, hemicellulóz, lignin .....                               | 14 |
| 2.2.2.2 $\beta$ -glükán .....                                              | 14 |
| 2.2.2.3 Arabinoxilánok .....                                               | 15 |
| 2.2.3 Rövid láncú szénhidrátok .....                                       | 18 |
| 2.2.3.1 Fermentálható rövidláncú szénhidrátok .....                        | 20 |
| 3 Anyagok és módszerek.....                                                | 22 |
| 3.1 A vizsgált minták.....                                                 | 22 |
| 3.2 Anyagok és eszközök .....                                              | 23 |
| 3.2.1 Gázkromatográfiához használt anyagok .....                           | 23 |
| 3.2.2 Folyadékkromatográfiához használt anyagok .....                      | 23 |
| 3.2.3 Műszerek .....                                                       | 24 |
| 3.2.4 Eszközök .....                                                       | 24 |
| 3.3 Arabinoxilán-tartalom meghatározása gázkromatográfiás módszerrel ..... | 24 |
| 3.3.1 Mintaelőkészítés.....                                                | 24 |
| 3.3.2 A mérés paraméterei.....                                             | 26 |
| 3.3.3 Eredmények kiértékelése.....                                         | 26 |
| 3.4 Rövid láncú szénhidrátok vizsgálata folyadékkromatográfiával .....     | 28 |
| 3.4.1 Mintaelőkészítés.....                                                | 28 |
| 3.4.2 Mérés paraméterei .....                                              | 28 |
| 3.4.3 Eredmények kiértékelése.....                                         | 29 |
| 3.5 Eredmények statisztikai értékelése .....                               | 29 |
| 4 Eredmények és értékelésük .....                                          | 30 |
| 4.1 Arabinoxilán-tartalom mérésének eredménye és értékelése.....           | 30 |

|         |                                                                                   |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.1   | Teljes őrlemény minták eredményei .....                                           | 30 |
| 4.1.1.1 | Teljes arabinoxilán-tartalom .....                                                | 30 |
| 4.1.1.2 | Vízoldható arabinoxilán-tartalom .....                                            | 31 |
| 4.1.1.3 | Vízoldhatatlan arabinoxilán-tartalom .....                                        | 32 |
| 4.1.1.4 | Arabinóz/xilóz arány .....                                                        | 33 |
| 4.1.1.5 | A mért paraméterek között levő kapcsolat elemzése .....                           | 34 |
| 4.1.2   | Liszt minták eredményei .....                                                     | 35 |
| 4.1.2.1 | Teljes arabinoxilán-tartalom .....                                                | 35 |
| 4.1.2.2 | Vízoldható arabinoxilán-tartalom .....                                            | 36 |
| 4.1.2.3 | Vízoldhatatlan arabinoxilán-tartalom .....                                        | 37 |
| 4.1.2.4 | Arabinóz/xilóz arány .....                                                        | 38 |
| 4.1.2.5 | A mért paraméterek között levő kapcsolat elemzése .....                           | 39 |
| 4.1.3   | Teljes őrlemények és lisztek összehasonlítása .....                               | 40 |
| 4.2     | Rövid láncú szénhidrátok vizsgálatának eredményei .....                           | 43 |
| 4.2.1   | Teljes őrlemény minták eredményei .....                                           | 44 |
| 4.2.1.1 | A komponensek összehasonlítása és a köztük levő kapcsolat elemzése ....           | 47 |
| 4.2.2   | Liszt minták eredményei .....                                                     | 48 |
| 4.2.2.1 | A komponensek összehasonlítása és a köztük levő kapcsolat elemzése ....           | 51 |
| 4.2.3   | Teljes őrlemények és lisztek összehasonlítása .....                               | 52 |
| 4.3     | Arabinoxilán-tartalom és rövid láncú szénhidrát-összetétel összehasonlítása ..... | 54 |
| 5       | Összefoglaló .....                                                                | 58 |
| 6       | Irodalomjegyzék .....                                                             | 59 |
|         | Függelék .....                                                                    | 65 |

## Rövidítések jegyzéke

AX: arabinoxilán

A/X: arabinóz: xilóz arány

ELSD: evaporative light scattering detector; elpárologtatásos fényszóródás detektor

FODMAP: fermentable oligosaccharides, disaccharids, monosaccharids and polyols;  
fermentálható oligoszacharidok, diszacharidok, monoszacharidok és cukoralkoholok

FID: flame ionization detector; lángionizációs detektor

GC: gas chromatography; gázkromatográfia

HPLC: high performance liquid chromatography; nagy teljesítményű folyadékkromatográfia

IDF: insoluble dietary fiber; vízoldhatatlan ételmi rost

RDS: rapidly digestible starch; gyorsan emészthető keményítő

RS: resistant starch; rezisztens keményítő

SDF: soluble dietary fiber; vízoldható ételmi rost

SDI: starch digestion index; keményítő emészthetőségi index

SDS: slowly digestible starch; lassan emészthető keményítő

TDF: total dietary fiber; összes ételmi rost

TS: total starch; összes keményítőtartalom

TOTAX: total arabinoxylan content; teljes arabinoxilán-tartalom

TOT-A/X: teljes arabinoxilán-tartalom arabinóz/xilóz aránya

WEAX: water extractable arabinoxylans; vízoldható arabinoxilánok

WE-A/X: vízoldható arabinoxilánok arabinóz/xilóz aránya

WUAX: water unextractable arabinoxylans; vízoldhatatlan arabinoxilánok

## Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom a témavezetőmnek, Dr. Tömösközi Sándornak, hogy lehetővé tette a kutatócsoportba való bekapcsolódásomat, és tudásával készségesen segítette a munkámat. Köszönöm a konzulensemnek, Juhászné Szentmiklóssy Mariettának a folyamatos szakmai és lelki támogatást.

Munkám kapcsolódik „A tönkölybúzában rejlő genetikai, összetételi és feldolgozóipari lehetőségek feltárása” című OTKA 135211 és TKP2021 pályázati programok, valamint a BME-EGA-02 és a BME TKP-BIO 2020 projekt célkitűzéseinek megvalósításához.

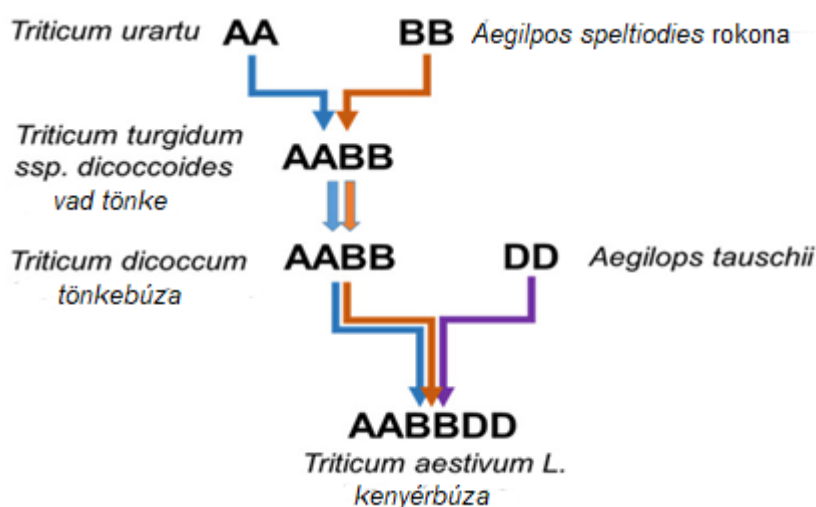
# 1 Bevezetés

A búza termesztésének kezdete egyidős az emberi társadalmak letelepedésével. Azonban igazi áttörést a 19. század második fele jelentett a gépesítésnek, az agrokémia előretörésének és a fajtanemesítés eredményeinek megjelenésének köszönhetően. A búzatermesztés végül a 20. században teljesedett ki. A 20. század második felétől kezdve a búzanemesítés középpontjába a termés hozam növelése mellett a betakaríthatóság, a biotikus és abiotikus stresszel szembeni viselkedés került. Az 1970-es és 1980-as években egyre nagyobb teret nyert a technológiai tulajdonságok javítása is, mint például a malmai feldolgozhatóság, a szemkeménység vagy a sikértartalom- és minőség (Antal, 2005; Tremmel-Bede et al., 2017). A 20. század végére már előtérbe kerültek a táplálkozási szempontok is, így például a bioaktív összetevők és a rostok mennyisége és minősége a gabonákban. Az elmúlt évtizedekben a táplálkozási szempontból előnyösebb gabonák iránti igény növekedését a nemesítők is felismerték, így napjainkban a tápérték és a technológia együttes fejlesztése, az ennek megfelelő szelekció és nemesítés zajlik. Az új fajták nemesítése mellett előtérbe került a régebbi, nem nemesített fajták vizsgálata és táplálkozási értékének meghatározása. Ennek egyik oka, hogy az évtizedek alatt kialakult és továbbfejlesztett vizsgálati módszerekkel ezeknek a gabonaféléknek a komplex minősítése nem történt meg. Ilyen vizsgálandó szempontok például a termesztési viszonyok, agrotechnikai teljesítmény, hozam, rezisztencia, genetika, makrokomponens-összetétel, komplex technológiai viselkedés, rostösszetétel stb. Ezeknek a tulajdonságoknak a feltérképezése után dönthető el, hogy mely régi búzafajták, tájfajták termesztésével, illetve nemesítésben való felhasználásával érdemes foglalkozni. Munkám során vad *aestivum* fajtákkal dolgoztam. Ezek közé több alfajhoz tartozó búzafajták sorolhatók, mintáim nagy része *Triticum aestivum* ssp. *compactum* volt, de egy *Triticum aestivum* ssp. *macha* és egy *Triticum aestivum* ssp. *sphaerococcum* is rendelkezésre állt. Ezen búzafajták összetételére vonatkozóan kevés információ áll rendelkezésre a szakirodalomban. A munkám célja a búza fő rostalkotó komponenseinek, az arabinoxilánoknak, valamint a rövid láncú szénhidrátoknak, ezen belül az egyes fogyasztók számára egészségügyileg hátrányos fermentálható szénhidrátoknak (FODMAP) mennyiségi meghatározása és változékonyságuk vizsgálata nemesítő intézetből származó vad *aestivum* fajtákban és fajtajelöltekben.

## 2 Szakirodalmi áttekintés

A búza a Zárvatermők (*Angiospermatophyta*) törzsébe, az Egyszikűek (*Monocotyledonopsida*) osztályába, a Liliomalkatúak (*Liliidea*) alosztályába, a Pázsitfűvek (*Poales=Glumiflorae*) rendjébe, a Pázsitfűfélék (*Poaceae = Gramineae*) családjába, a Perjefélék alcsaládjába (*Pooideae = Festucoideae*) és a búza (*Triticum*) nemzetségbe tartozik. A *Triticum* nemzetség valamennyi faja esetében az alap kromoszómaszám hét, és különböző ploid szintű sorozatokat alkotnak. A diploid fajok 14, a tetraploid fajok 28, a hexaploid fajok pedig 42 kromoszómával rendelkeznek (Antal, 2005; Bálint et al., 2000). A *Triticum aestivum* (lágy búza vagy kenyérbúza) hexaploid faj, genetikailag AABBDD növényként írható le (Arendt & Zannini, 2013). Jelenleg a *Triticum aestivum* hat alfaját tartják számon: *Triticum aestivum* ssp. *aestivum*, *Triticum aestivum* ssp. *spelta*, *Triticum aestivum* ssp. *vavilovi*, *Triticum aestivum* ssp. *macha*, *Triticum aestivum* ssp. *compactum* és *Triticum aestivum* ssp. *sphaerococcum* (Cheng et al. 2020).

A hexaploid búza körülbelül 8000-10 000 évvel ezelőtt keletkezett mai tudásunk szerint a tetraploid tönkebúza és a diploid *Aegilops tauschii* nevű vadon termő kecskefű hibridizációjával (1. ábra). Az emberi vándorlással együtt terjedt el származási helyéről, Törökországból, Közép-Ázsián keresztül Közép- és Dél-Európa nagy részébe. A klubbúza (*Triticum aestivum* ssp. *compactum*) a 2D kromoszómán levő „C” gén mutációjával jött létre, és kereskedelmi forgalomba csak Észak-Amerika nyugati részén termesztik (Campbell, 2022). Az indiai törpebúza (*Triticum aestivum* ssp. *sphaerococcum*) egy Pakisztánban őshonos tájfajta (Cheng et al., 2020).



1. ábra: Hexaploid búza kialakulása (Brewster et al., 2019)

A búza önmegtermékenyülő, egynyári, egyszer termő növény. A közönséges búza 80-160 cm magasra nő, bojtos gyökérrendszerrel rendelkezik. Szára a búzaszalma, amely szártagokból és szárcsomókból áll, az utóbbiból eredő levélhüvelyeken alakul ki a levélzet. Virágzata a kalász, botanikai szempontból füzéres füzér (2. ábra). A füzérvirágzat tengelyének (kalászorsó) kiszögellésein az ún. kalász padkákon további rövid füzérkéek (kalászkák) sorakoznak, ezeken belül helyezkednek el a hím és női virágok, egy kalászkán belül 3-5 virág. A kalászkákat 2-2 pelyvlevél védi. A búzának szemtermése van, melyben egyetlen mag található, aminek a maghéja a terméshéjjal összenőtt (Hidvégi, 2007). A klubbúzára rövid, tömör, általában 8 cm-nél rövidebb kalász jellemző. Egy kaláson 15-16 kalászka helyezkedik el, melyekben jellemzően 5 virág van. A klubbúza magassága fajtánként eltérő, szára általában merev és erős (Campbell, 2022; Bayles et al., 1954). Az indiai törpebúzát is rövid, sűrű kalász jellemzi, a kifejlett növény féltörpe termetű, rövid merev szárral és egyenes zászlós levéllel rendelkezik (Cheng et al., 2020).



2. ábra: Búza alfajok kalászainak megjelenésében mutatkozó különbségek (Kan et al., 2015)  
a, *T. aestivum* ssp. *aestivum* (kenyérbúza); b, *T. aestivum* ssp. *sphaerococcum* (indiai törpebúza); c, *T. aestivum* ssp. *compactum* (klubbúza); d, *T. aestivum* ssp. *spelta* (tönkölybúza); e, *T. aestivum* ssp. *macha* (6x: macsabúza)

## 2.1 A búza szemtermésének felépítése

A búzaszem átlagosan 2,5-3,0 mm vastag, 3,0-3,5 mm széles és 6,0-7,0 mm hosszú. A búzaszemek átlagos tömege 30-40 mg. A teljes szem szárazanyag-tartalmának 2-3 %-át a csíra, 13-17 %-át a korpa és 80-85 %-át a lisztes endospermium teszi ki. A búzaszem (3. ábra) ovális alakú, egyik végén a csíra, másik végén ecetszerű szőrcsomó, szakáll található. A csírával ellentétben, hasi oldalon egy hosszanti ránc, barázda fut végig, a hátoldalon a szem lekerekített.

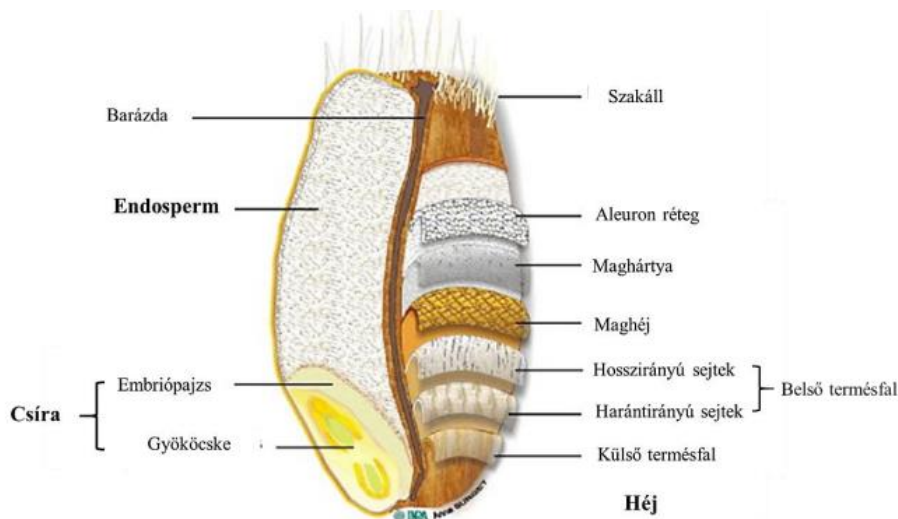
A termés színe a világos barnássárgától a vörösbarnáig változik fajtától függően (Arendt & Zannini, 2013). Mivel a szemtermés alakja, nagysága, színe, valamint a barázda és szakáll jellege is fajonként különböző lehet, ezért ezek a tulajdonságok mind segítséget jelenthetnek az egyes fajok beazonosításánál (Grundas & Wrigley, 2015). A klubbúza kifejlett magja jellegzetes, púpos alakú. A szemtermés kb. 10%-kal kisebb, mint a közönséges búzáé, de a kalászban akár 20%-kal több mag lehet, ezért a klubbúza elérheti a közönséges búza terméshozamát (Campbell, 2022). A törpebúzát félgömb alakú szemek jellemzik sekély barázdával (Cheng et al., 2020).

A búza termése kariopszis, azaz a termésfal és a maghéj szoros egyesülése következtében nem választható szét termésre és magra. A búzaszem három fő részből áll: a héjből (13-17% szárazanyagra vonatkoztatva), az endosperméből (80-85% sz.a.) és a csírából (2-3% sz.a.). Az 1. táblázat a búzaszem makrokomponens összetételét szemlélteti a szem különböző részeiben.

|                        | <b>Teljes mag</b> | <b>Magbelső</b> | <b>Héj</b> | <b>Csíra</b> |
|------------------------|-------------------|-----------------|------------|--------------|
| <b>Fehérjék</b>        | 16                | 13              | 15         | 22           |
| <b>Zsírok</b>          | 2                 | 1,5             | 5          | 7            |
| <b>Szénhidrátok</b>    | 68                | 82              | 16         | 40           |
| <b>Élelmi rostok</b>   | 11                | 1,5             | 53         | 25           |
| <b>Ásványi anyagok</b> | 1,8               | 0,5             | 7,2        | 4,5          |
| <b>Egyéb</b>           | 1,2               | 0,5             | 2,8        | 1,5          |

1. táblázat: A búzaszem és főbb részeinek átlagos makrokomponens-összetétele (szárazanyag%) (Belderok et al., 2000)

A héj, amely az egész magot körülveszi több rétegből áll. Ezek kívülről befele haladva a külső termésfal (epikarpium), a belső termésfal (endokarpium), a maghéj (testa) és maghártya. A külső perikarpium halvány hártyás megjelenésű, könnyen leválik. A belső perikarpiumot haránt- és hosszirányú sejtek alkotják, amelyek nem fedik be teljesen a magot. A terméshéj élelmi rostokban gazdag. A maghéj és a maghártya alatt található az egy sejtrétegből álló aleuron réteg és a keményítőtartalmú liszttest. Az endospermium keményítőtartalma magas, és tartalmazza azokat a tartaléktápanyagokat, amelyek a magonc növekedéséhez szükségesek. Az aleuron réteg fehérjékben és enzimekben gazdag, amelyek létfontosságú szerepet játszanak a csírázási folyamatban (Arendt & Zannini, 2013; Belderok et al., 2000).



3. ábra: A búza szemtermésének felépítése (Németh, 2019)

A klubbúzát a liszt minősége miatt értékeli nagyra. A korpa tisztábban válik le az endospermről, mint más búzafajtáknál. Gyenge sikérminőség, alacsony vízfelvétel és magas liszthozam jellemzi. Emiatt finom textúrájú sütemények készítésére kiválóan alkalmas (Campbell, 2022).

## 2.2 A búza szénhidráttartalma

A búzaszem különböző részeiben az egyes szénhidrátkomponensek mennyisége nagyon különböző. A szénhidrátok megoszlását a szemtermés egyes frakcióiban a 2.táblázat szemlélteti.

|                  | Pentozánok és hemicellulóz | Cellulóz | Keményítő | Cukrok |
|------------------|----------------------------|----------|-----------|--------|
| <b>Korpa</b>     | 43,1                       | 35,2     | 14,1      | 7,6    |
| <b>Endosperm</b> | 2,4                        | 0,3      | 95,8      | 1,5    |
| <b>Csíra</b>     | 15,3                       | 16,8     | 31,5      | 36,4   |

2. táblázat: Szénhidrátok megoszlása a búzaszemben (szárazanyag%) (Arendt & Zannini, 2013)

A táblázat alapján látható, hogy a pentozánok, a hemicellulóz és a cellulóz leginkább a héjrészekben vannak jelen. A keményítő a búzaszemben legnagyobb mennyiségben előforduló szénhidrát, amelynek nagy része a magbelsőben (endospermiumban) raktározódik. A cukrok elsősorban a csíraban találhatók, a szemtermés szénhidráttartalmának legkisebb hányadát teszik ki.

A vad aestivumok összetételére vonatkozóan nem találtam információt a szakirodalomban.

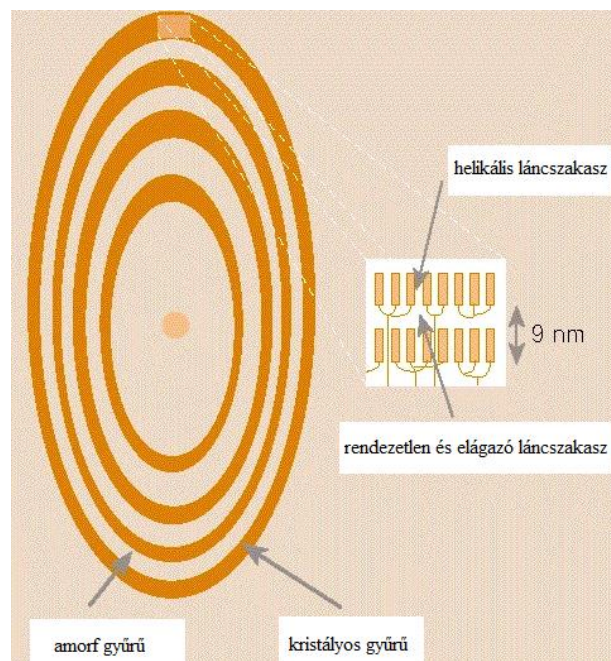
### 2.2.1 Keményítő

A keményítőszemcsék oldhatatlan, de biológiailag könnyen lebomló tartalék szénhidrátok a magasabb rendű növényekben. A gabonafélék magjában különösen sok keményítő van (kb. 70% szárazanyagtartalomra vonatkoztatva), a búzaszem kb. 85% sz.a. szénhidrátot tartalmaz, amelyből 80% sz.a. keményítő, ami csak az endospermiumban található. A keményítő  $\alpha$ -D-glükóz egységekből felépülő homopolimer, amely nem egységes szerkezetű, hanem amilóz és amilopektin keveréke (Arendt & Zannini, 2013; Hannah et al., 2008; Salgó, 2000).

Az amilóz helikális szerkezetű, lineáris polimer, melyben a glükózegységek  $\alpha$ -1,4-glikozidos kötésekkel kapcsolódnak egymáshoz. Ma már ismert, hogy az amilóz korlátozott mennyiségben tartalmaz elágazásokat is. Az amilopektin elágazó polimer, amiben az  $\alpha$ -1,4-glikozidos kötések mellett az elágazási pontokban  $\alpha$ -1,6-glikozidos kötésekkel kapcsolódnak a glükóz molekulák. Az amilopektinben az elágazó kötések aránya kb. 5% (Hannah et al., 2008; Jaksics et al., 2020).

A búza keményítőösszetétel alapján három fő csoportba sorolható. A normál, *Triticum aestivum* L. búzában a keményítő 25-28% amilózt tartalmaz. Az alacsony amilóztartalmú búza, más néven waxy búza keményítőjében csak 0-2% amilóz található. A magas amilóztartalmú búza esetében az amilóztartalom 40-50% (Jaksics et al., 2020).

A keményítő különböző méretű, különálló szemcsék formájában szintetizálódik az amiloplasztokban. A keményítőszemcsék különböző méretűek és alakúak a szemek fejlődése során. A búzakeményítő szemcséi nagy (A, átlagos átmérő: 23-28  $\mu$ m), közepes (B, átlagos átmérő: 9-11  $\mu$ m) és kis (C, átlagos átmérő: 2-3  $\mu$ m) méretűek lehetnek. A nagy szemcsék lencse, a közepes és kis szemcsék pedig gömb vagy ovális, szabálytalan vagy kocka alakúak (Shevkani et al., 2016). A keményítőszemcsék alternáló amorf amilóz és kristályos amilopektin gyűrűkben nőnek (4. ábra). Az amilopektin kristályok kettős hélixekből épülnek fel, amelyek sugárirányban helyezkednek el a szemcsében, így a kristályok a felszínhez képest érintőlegesen helyezkednek el (Calvert, 1997). A különböző méretű szemcsék összetételükben is különböznek: az A-típusú szemcsék magasabb amilóz-tartalommal rendelkeznek, mint a B-típusúak. A viaszos keményítő szerkezete alapvetően hasonló a normál búzakeményítőéhez, de kevesebb B-típusú szemcsét tartalmaz, nagyobb szemcseátmérőjű és kristályosabb szerkezetű, mint a hagyományos keményítő. A magas amilóz tartalmú keményítő kristályossága alacsonyabb, mint a normál vagy viaszos búzakeményítőé (Jaksics et al., 2020).



4. ábra: A keményítőszemcsze felépítésének sematikus ábrája (Calvert, 1997)

A keményítő mechanikai stabilitásának és lebonthatóságának az egyensúlya az amilóz és amilopektin szerkezetének és a szemcsében az amorf és kristályos zónák elrendeződésének köszönhető (Calvert, 1997). A funkcionális tulajdonságai a vízzel való hőmérsékletfüggő kölcsönhatásokhoz köthetők. Melegítéskor víz jelenlétében a keményítő csirizesedik, a szemcsék megduzzadnak, a H-kötések felbomlása révén a kristályszerkezetét irreverzibilisen elveszti. A megduzzadt szemcsék amilopektinben gazdagok, az amilóz a szemcsék közé kidiffundálva folytonos fázist alkot. A pasztásodás általában a viszkozitás változását jellemzi közvetlenül a csirizesedés előtt, alatt és után. További melegítéskor a duzzadás folytatódik, az amilóz és az amilopektin egy része kilúgozódik a szemcsékből, viszkózus szuszpenziót eredményezve. Ahogy a rendszer lehűl, a keményítő-polimer-víz hidrogénkötések helyébe polimer-polimer hidrogénkötések lépnek, ezzel kialakítva a gélhálózatot (retrogradáció). Ezeket a folyamatokat befolyásolja a keményítő szerkezeti változatossága, valamint őrlés során a keményítőben okozott károsodás, amelyek fontos tényezői a búza végfelhasználási funkcionalitásának (Arendt & Zannini, 2013; Fredriksson, 1998).

A keményítő emészthetőség alapján három csoportba sorolható: gyorsan emészthető keményítő (RDS), lassan emészthető keményítő (SDS) és a rezisztens keményítő (RS). A rezisztens keményítő az ember számára nem emészthető, az élelmi rostok közé tartozik. A keményítőemésztés sebessége és mértéke a keményítőemésztési indexszel (SDI) és a gyorsan elérhető glükóz (RAG) mennyiségével jellemezhető (Abdel-Aal & Rabalski, 2008; Asp, 1992). A glükóz felszívódásának sebességét a glikémiás index (GI) jellemzi (Arvidsson-Lenner,

2004). A keményítő emésztésének és felszívódásának sebessége befolyásolja az étkezésre adott metabolikus választ. A lassan emészthető és felszívódó szénhidrátok előnyösek lehetnek bizonyos anyagcserezavarok (pl. cukorbetegség, hiperlipidémia) étrendi kezelésében. Az olyan élelmiszerek, mint a hüvelyesek, a tésztafélék és a teljes kiőrlésű gabonafélék feltételezhetően rendelkeznek ezzel a hatással (Goñi, et al., 1997).

### 2.2.2 Nem keményítő szénhidrátok és rostalkotók

A búzában található nem keményítő szénhidrát összetevők jelentős része ételmi rostalkotó. Az ételmi rostok a növények ehető részei, vagy analóg szénhidrátok, amelyek ellenállóak az emésztéssel és a vékonybélben történő felszívódással szemben, viszont a vastagbélben teljesen vagy részlegesen fermentálódnak (Gebruers et al., 2008). A rostok oldhatósági tulajdonságaik alapján két csoportra oszthatók: vízoldható ételmi rostok (SDF = Soluble dietary fibre) és vízben oldhatatlan ételmi rostok (IDF = Insoluble dietary fibre). Ezek összege a teljes ételmirost-tartalom (TDF=Total dietary fibre). A búza legfontosabb ételmi rost alkotói az arabinoxilánok (AX), a  $\beta$ -glükán, a cellulóz és a nem poliszacharid lignin, amelyek mindegyike a sejtfalalkotóként található meg a szemtermésben (Arendt & Zannini, 2013).

A rostalkotók leginkább a szem külső rétegeiben, a héjban és az aleuron rétegben találhatók, melynek 30-50%-át teszik ki. A teljes búzaszem ételmirost-tartalma 13-15%, ebből oldható rosttartalom 2-4% (Bucsella, 2017).

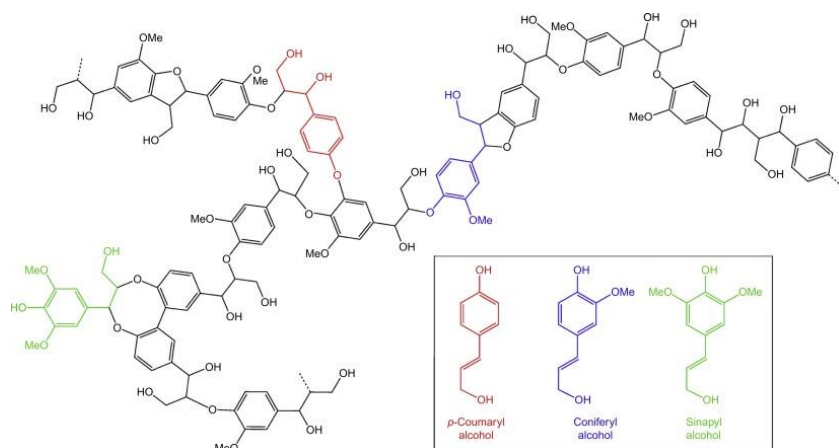
Az ételmi rostoknak számos jótékony hatásuk van a szervezetre. Iniciálják a bélmozgást, elsősorban az oldhatatlan ételmi rostok a tranzitidőt csökkentik, a széklet térfogatát, a székletürítés gyakoriságát növelik, ezáltal csökkenthetik a vastagbélrák kockázatát. Az oldható ételmi rostok könnyebben fermentálhatóak, a vastagbélben alacsonyabb pH-t és rövid szénláncú zsírsavak termelődését eredményezik, ami kedvez a bél egészségének. Az ételmi rostok pozitív hatással lehetnek koleszterin- és vércukorszintre is. A rostok hálózati szerkezete fizikai akadályt képezhet, ezáltal lassíthatja a glükóz diffúzióját, felszívódását. A viszkózus rostok késleltethetik a gyomorürülést, és növelhetik az inzulin hipoglikémiás érzékenységét. A vastagbélbe került rostok egy részéből fermentáció során keletkezett rövid szénláncú zsírsavak serkentik a jóllakottsági hormonok (glukagonszerű peptid-1 és peptid YY) kiválasztását, ezek a hormonok segítenek az inzulinszekréció növelésében és a vércukorszint szabályozásában. Emiatt a II-es típusú cukorbetegségben szenvedők számára különösen ajánlott a fokozott rostbevitel. Az elegendő rostbevitel az elhízás megelőzésében is szerepet játszhat, mivel fizikai-kémiai tulajdonságai (pl. víz- és olajmegtartó-képesség) révén késleltetheti a zsír felszívódását az ételből. Az ajánlott napi ételmi rost bevitel 30-35 g (Gebruers et al., 2008; He et al., 2022).

### 2.2.2.1 Cellulóz, hemicellulóz, lignin

A cellulóz egy glükóz homopolimer, amely a gabonaszövetek minden sejtjének falában megtalálható (Arendt & Zannini, 2013). A búzaszem cellulóztartalma kb. 1,5-3%, amely főként a terméshéjban van jelen (Andersson et al., 2013; Salgó, 2000). A cellulóz alapvázában D-glükopiranoz egységek  $\beta$ -1,4-glikozidos kötésekkel kapcsolódnak össze, lineáris makromolekulát alkotva (Fekete, 2017). A láncban cellobióz egységek ismétlődnek, a szerkezetet hidrogénkötések stabilizálják. Egy cellulózmolekula felépítésében 1000–14000 glükóz vesz részt. A kémiai szerkezetből adódóan a cellulóz vízben oldhatatlan, híg savakkal és lúgokkal szemben ellenálló, csak kevés oldószerben oldódik, az emberi szervezet sem tudja megemésztetni. A cellulóz állandó kísérőanyagai a hemicellulóz és a lignin (Csapó & Csapóné Kiss, 2003).

A hemicellulózok rövidebb láncú, könnyebben oldódó, poliszacharidok. Heteropolimerek, amelyek öt és hat szénatomos cukrokat tartalmaznak. Az általában xilózból álló gerinchez arabinóz, mannóz, galaktóz és glükóz kapcsolódhat, gyakran nagymértékben elágazó láncokat alkotva. A gabonafélékben leginkább előforduló hemicellulóz az arabinoxilán (Csapó & Csapóné Kiss, 2003; Cummings & Stephen, 2007).

A lignin nem poliszacharid sejtfaalkotó komponens, mely a sejtfa erősítésében játszik szerepet. Főként három monolignolból: p-kumarilból, koniferilből és szinapil-alkoholokból áll (5. ábra) (Gebruers et al., 2010). A búza teljes kiőrlésű lisztjének átlagos lignintartalma kb. 2%. (Gebruers et al., 2008)

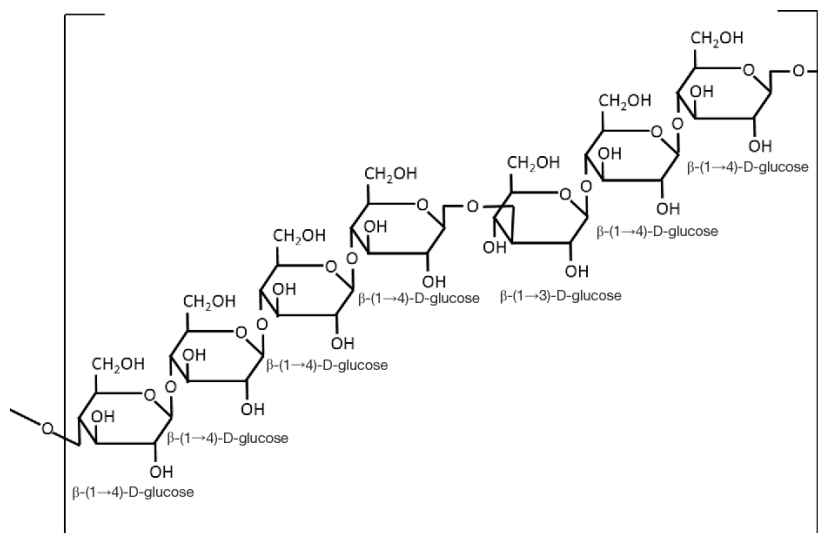


5. ábra: Lignin szerkezete (Yue et al., 2017)

### 2.2.2.2 $\beta$ -glükán

A  $\beta$ -glükán egy lineáris homopolimer, melyben a glükóz molekulák  $\beta$ -1,4-glikozidos kötésekkel kapcsolódnak egymáshoz cellotriozil és cellotetraozil egységeket létrehozva,

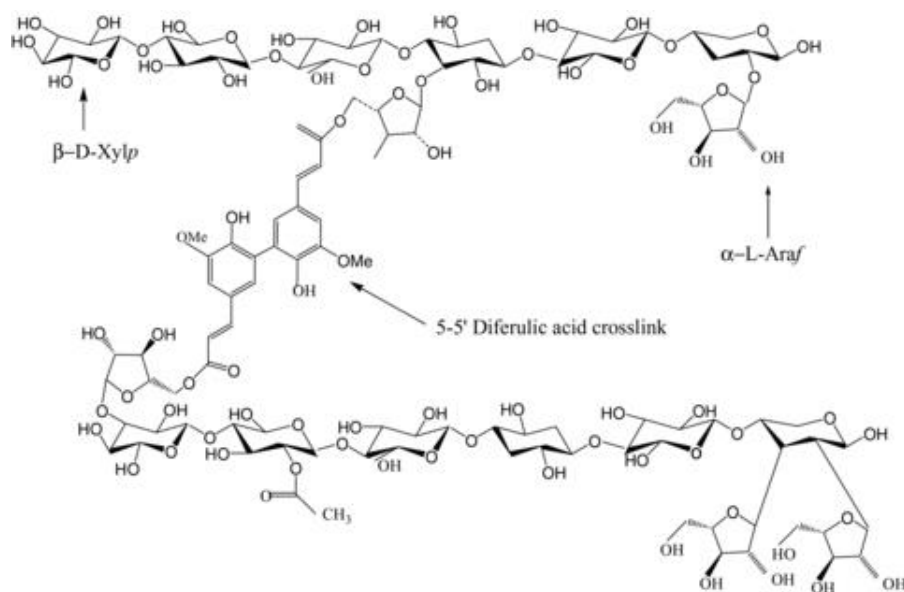
amelyeket  $\beta$ -1,3-glikozidos kötések kapcsolnak egymáshoz (6. ábra). A lánc főként cellotriozilból (58-72 %) áll, aminek az eloszlása véletlenszerű, de ezeknek az egységek ismétlődése a búza  $\beta$ -glükánokban rendezettebb konfigurációt ad, ami akár az önasszociációt is elősegítheti. Ez megmagyarázhatja a búzában található  $\beta$ -glükánok nagyobb gélesedési képességét és rosszabb oldhatóságát más gabonafélék  $\beta$ -glükánjaihoz képest. A legtöbb  $\beta$ -glükán az aleuron rétegben található (Arendt & Zannini, 2013). A búza teljes kiőrlésű lisztje átlagosan 0,50-0,95%  $\beta$ -glükánt tartalmaz (Gebruers et al., 2008). Táplálkozástani szempontból fontos, kolloidképző és nagy abszorpciós kapacitású rostkomponens (Salgó, 2000).



6. ábra:  $\beta$ -glükán kémiai szerkezete (Jacob et al., 2014)

### 2.2.2.3 Arabinoxilánok

Az arabinoxilánok heteropolimerek, amiknek alapváza  $\beta$ -1,4-glikozidos kötésekkel kapcsolódó  $\beta$ -D-xilopiranoz egységekből épül fel. A lánchoz szubsztituensként  $\alpha$ -L-arabinofuranozil-csoportok kapcsolódhatnak C(O)-2 és C(O)-3-as pozícióban. Erre vonatkozóan a szubsztituáció fokát az arabinóz-xilóz (A/X) arány jellemzi. Az  $\alpha$ -L-arabinofuranóz egységekhez észterkötéssel ferulasav- és p-kumarin-csoportok kapcsolódhatnak (7. ábra) (Török et al., 2019). A ferulasav bioaktív komponens, antioxidáns hatású fenolos vegyület, amely a szabad gyökök megkötésével csökkenti az oxidatív stresszt. Polimer molekulákhoz kapcsolódva egymással keresztkötések kialakítására képes, aminek következtében összetett szerkezet alakul ki, amely a sejtfal erősítését és egyéb komponensek megkötését segítheti elő. A xilóz vázhoz arabinofuranózon kívül egyéb szubsztituensek, például  $\alpha$ -D-glükonsav, xilopiranozil- és galaktopiranozil-csoportok is kapcsolódhatnak (Szentmiklóssy et al., 2018).



7. ábra: Az arabinoxilánok szerkezete a felurasav-szubsztituensek közötti keresztkötéssel (Sivam et al., 2010)

A teljes arabinoxilán-tartalmat (TOTAX) oldhatóság szempontjából két csoportba oszthatjuk: vízoldható (WEAX) és vízoldhatatlan arabinoxilánok (WUAX). A két csoport az A/X arányban és a polimerek lánc hosszában is különbözik, ezáltal biológiai funkcióik is eltérnek. A WEAX magasabb szubsztituációs fokkal és alacsonyabb molekulatömeggel rendelkezik, elsősorban az endospermiumban és az aleuron rétegben található meg, a magszövetek és sejtek fizikai-kémiai védelmét segíti elő. A WUAX szubsztituációs foka általában alacsonyabb, molekulatömege nagyobb. A mag külső rétegeiben található, a cellulózzal együtt a mag fizikai védelmében játszik szerepet (Szentmiklóssy et al., 2020). A búza egyes frakcióinak élelmirost- és arabinoxilán-tartalmát a 3. táblázat, az arabinóz/xilóz arányát pedig a 4. táblázat szemlélteti.

|              | Teljes őrlemény | Liszt     |           | Korpa     |           |
|--------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|              | Élelmi rost     | TOTAX     | WEAX      | TOTAX     | WEAX      |
| Őszi búza    | 11,5-18,3       | 1,35-2,75 | 0,30-1,40 | 13,2-22,1 | 0,30-0,85 |
| Tavaszi búza | 12,1-17,5       | 1,65-2,75 | 0,30-0,75 | 12,7-19,2 | 0,30-0,55 |

3. táblázat: Búza teljes őrleményének, liszt és korpa frakcióinak élelmirost- és arabinoxilán-tartalma (g/100 g szárazanyag) (Gebruers et al., 2008)

|                     | Liszt     |           | Korpa     |           |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                     | TOT-A/X   | WE-A/X    | TOT-A/X   | WE-A/X    |
| <b>Tavaszi búza</b> | 0,50-0,70 | 0,40-0,55 | 0,55-0,70 | 0,70-1,65 |
| <b>Őszi búza</b>    | 0,50-0,65 | 0,40-0,55 | 0,55-0,70 | 0,80-1,25 |

4. táblázat: Búza liszt és korpa frakcióinak arabinóz/xilóz aránya (Gebruers et al., 2008)

A búza teljes őrleményének arabinoxilán-tartalmára vonatkozó irodalmi adatokat az 5.táblázatot tartalmazza.

|                        | WEAX      | TOTAX     |
|------------------------|-----------|-----------|
| <b>Teljes őrlemény</b> | 0,33–0,99 | 5,81–12,8 |

5. táblázat: Búza teljes őrleményének WEAX- és TOTAX-tartalma (g/100 g szárazanyag) (Dornez et al., 2008; Vingola et al., 2016)

A szakirodalom szerint a Yumai 34 búzafajta rendelkezik a legmagasabb teljes és vízdíszítő arabinoxilán-tartalommal. A Yumai fehér lisztjének WEAX-tartalma 1,4%, TOTAX-tartalma pedig 2,75% (Lovegrove et al., 2020).

Az arabinoxilánok mint élelmi rostalkotók az általános rostfunkcióknak megfelelően hozzájárulnak a bélmozgás biztosításához, elősegítik a bélmozgást. A WEAX jó vízabszorpciós képessége révén befolyásolja a monomerek, a lipidek és a koleszterin felszívódását, ezáltal kedvezően befolyásolja a vércukorszintet és az inzulin választ. A WUAX gélképző tulajdonságú, képes karcinogén vegyületek megkötésére, valamint probiotikumként stimulálhatja a bélbaktériumok szaporodását, hozzájárulhat az egészséges bélflóra fenntartásához (Szentmiklóssy et al., 2018).

A táplálkozási hatások mellett az arabinoxilánok a búza technológiai tulajdonságaira is hatással vannak. Egyik előnyös tulajdonsága, hogy 15-20-szor több vizet képes felvenni, mint a saját súlya, ennek köszönhetően a magasabb arabinoxilán-tartalmú lisztből készült tészták vízfelvevő-képessége nagyobb. Az arabinoxilánok egy másik jellemzője, hogy oxidatív körülmények között, különösen savas pH-n nagy viszkozitású oldatokat képezhetnek, amit a lánc hossza és szubsztituáltsága határoz meg. A megnövelt viszkozitás módosítja a tészta viszkoeasztikus tulajdonságait, ami pozitív hatással van a kenyér tulajdonságaira. Ezzel szemben az arabinoxilánok negatív hatást is gyakorolhatnak a kenyér minőségére, mivel fizikai akadályt jelenthetnek a megfelelő gluténhálózat kialakulása során (Török et al., 2019)

A búzaszem arabinoxilán-tartalmát és annak tulajdonságait a genotípus és a környezeti feltételek befolyásolják. A monomerek mennyisége, a molekulák mérete, az arabinóz/xilóz arány, valamint a szubsztitúció mértéke és jellege jelentősen változhat. A szakirodalomban ezzel kapcsolatban előfordulnak egymásnak ellentmondó információk, de a kutatások többsége szerint a TOTAX-tartalmat inkább a környezeti tényezők (például a vízellátás), míg a WEAX-tartalmat nagyobb arányban a genetikai paraméterek befolyásolják (Gebruers et al., 2010; Török et al., 2019).

### 2.2.3 Rövid láncú szénhidrátok

A monoszacharidok a szénhidrátok alapegységei, amelyek 4-6 szénatomból állhatnak. A természetben előforduló cukrok D konfigurációjúak. A diszacharidok két monoszacharid reakciójával képződnek. Az oligoszacharidok 2–10 monoszacharid glikozidos kötással való kapcsolódása révén jönnek létre (Notheisz et al., 2008).

Az öt szénatomos monoszacharidok, azaz a pentózok közül említésre méltó a xilóz, az arabinóz és a ribóz. A **xilóz** és az **arabinóz** a természetben pentozánok építőköveiként fordulnak elő, piranóz gyűrűbe záródva. A xilóz az elfásodott növényi képletek egyik jellemző poliszacharidjának, a xilánnak az alkotórésze, ezért facukornak is nevezik. Az arabinóz megtalálható pektinben, hemicellulózban és a glikozidokban is. A **ribóz** elsősorban nukleinsavak alkotóelemeiként fordul elő, ahol furanóz gyűrűbe záródva van jelen.

A hexózok legfontosabb képviselői a glükóz, a mannóz, a galaktóz, a fruktóz és a szorbóz. A glükóz, a mannóz, és a galaktóz aldózok, gyűrűbe záródva piranóz szerkezetűek, míg a fruktóz és a szorbóz ketózok, gyűrűjüket csak öt szénatom alkotja, furanóz szerkezetűek. A **glükóz** a növényi asszimiláció legfontosabb terméke, amely rövid idő alatt váz- és tápanyagokká polimerizálódik. Édes ízű, köznapin néven szőlőcukornak hívják. A **mannóz** a természetben főként a nagy polimerizációs fokú mannánok építőköveiként fordul elő, amelyek előfordulnak a gabonák héjrészeiben, a tűlevelű fákban, csonthéjas magvakban, a szentjánoskenyérben és egyes összetett fehérjékben. Az emberi szervezet nehezebben hasznosítja, mint a glükózt. A **galaktóz** kötött állapotban elterjedt, megtalálható oligo- és poliszacharidokban (galaktánokban), a cerebrozidokban és a mannóz mellett egyes szénhidrátartalmú fehérjékben. Az emberi szervezetben ez a hexóz szívódik fel leggyorsabban. A **fruktózt** gyümölcscukornak is nevezik, mert a gyümölcsökben különösen elterjedt, de megtalálható csaknem minden növényi részben. Kötött formában oligo- és poliszacharidok, például a gabonákban megtalálható fruktozánok építőköve. A búzaszem monoszacharid összetételét a 6. táblázat szemlélteti (Csapó & Csapóné Kiss, 2003; Liu et. al, 2021; Salgó, 2000).

|                       | Arabinóz  | Xilóz     | Mannóz  | Galaktóz | Glükóz    |
|-----------------------|-----------|-----------|---------|----------|-----------|
| <b>Teljes szem</b>    | 2,2-2,7   | 3,0-3,8   | 0,8     | 0,6      | 62,0-64,2 |
| <b>Endosperm</b>      | 0,7-0,8   | 0,8-0,1   | 0,5-0,6 | 0,3-0,4  | 74,4-78,1 |
| <b>Aleuron réteg</b>  | 5,2-7,7   | 12,5-16,2 | 0,4     | 0,6-0,7  | 9,2-9,4   |
| <b>Köztes réteg *</b> | 11,3-11,9 | 26,5-28,2 | 0       | 1,3-1,4  | 3,1-3,7   |
| <b>Epikarpium</b>     | 24,1-25,4 | 21,2-21,5 | 0       | 1,4      | 1,4-1,6   |

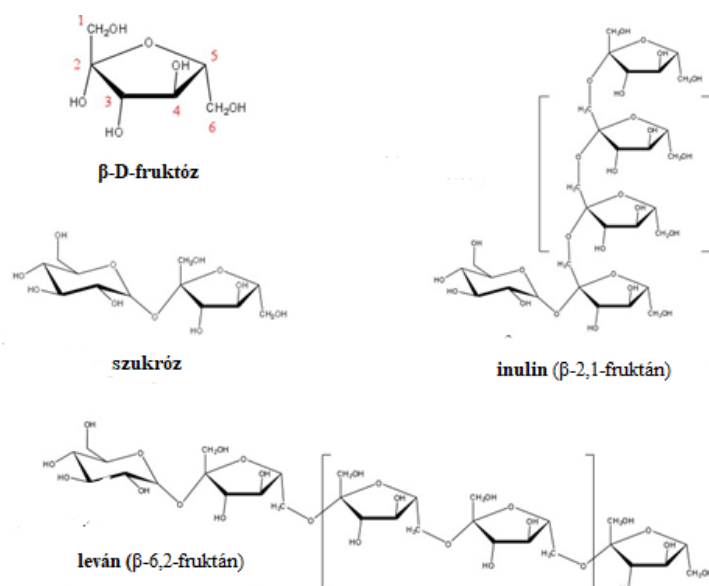
\*hialin réteg+ maghéj+ belső perikarpium

6. táblázat: Búzaszem szöveteinek cukorösszetétele két búzafajta alapján (g/ 100 g szárazanyag) (Barron et al., 2007)

A növényvilágban legelterjedtebb diszacharid, valamint az emberi táplálkozás és élelmiszerelőállítás szempontjából legjelentősebb cukor a **szacharóz**, amely egy fruktóz és egy glükóz összekapcsolódásával jön létre. A **trehalóz** és a **maltóz** is két glükózmolekulából felépülő diszacharidok, de míg a trehalózban a glükóz monomerek  $\alpha$ -1,1-glikozidos kötéssel kapcsolódnak, addig a maltózban a molekulák között  $\alpha$ -1,4-kötés van. A trehalóz a természetben szénhidrátartalékként széles körűen elterjedt. A maltóz szabadon ritkán fordul elő, de több poliszacharid (keményítő, glikogén, dextrinek) építőköve. Olyan növényi részekben mindig megtalálható, amelyekben a keményítő lebontása zajlik, például a csírában vagy zöld levelekben.

A **raffinóz** a legrégebben ismert és tanulmányozott nem redukáló triszacharid, nem édes, egy glükóz, egy fruktóz és egy galaktóz molekula alkotja (Csapó & Csapóné Kiss, 2003; Salgó, 2000).

A **fruktánok** olyan szénhidrátok, amelyek elsősorban fruktóz molekulákból épülnek fel, és a kötések többsége fruktozilfruktóz-kötés. A lineáris típusú fruktánok általában egyféle fruktozilfruktóz -kötést tartalmaznak. Az inulinban  $\beta$ -1,2-kötések, a levánban és a fleinben  $\beta$ -6,2-kötések vannak (8. ábra). A graminan típusú fruktánok mindkét kötéstípust tartalmazzák. A teljes búzaszem fruktántartalma 1-2%. A fruktánok táplálkozástanilag megosztóak, élelmi rostként és prebiotiként is funkcionálhatnak az emberi táplálkozásban, viszont az erre érzékeny fogyasztók esetében kellemetlen tüneteket válthatnak ki (Barrett et al., 2010; Haskå et al, 2008; Polgár et al., 2022).



8. ábra: Fruktánok szerkezete (Sonnenburg et al., 2010)

### 2.2.3.1 Fermentálható rövidláncú szénhidrátok

A búza kis molekulaméretű szénhidrátkomponensei között szerepelnek a FODMAP-ok, azaz a fermentálható oligoszacharidok, diszacharidok, monoszacharidok és poliolkok (cukoralkoholok). A gyomor- és bélrendszeri megbetegedések közé tartozó betegségek, mint az irritábilis bélszindróma (IBS), továbbá a gyulladásos bélbetegségek (IBD-k) olyan gyakori rendellenességek, amelyek jelentősen befolyásolják az életminőséget. A kutatások azt mutatják, hogy az alacsony FODMAP-diéta igazoltan enyhíti az IBS tüneteit, valamint az IBD-ben szenvedő betegek állapotára is pozitív hatást gyakorol (Polgár et al., 2022). Az IBS-betegek számára való jelentőségük mellett a búzából származó FODMAP-okkal kapcsolatban jelenleg is folynak kutatások, hogy súlyosbítják, vagy esetlegesen okozzák a nem cöliákias búzaérzékenységet (Ziegler et al., 2016).

A búzakészítményeket a FODMAP-ok egy fő forrásának tekintik, különösen ha a búza alapélelmiszerként nagy mennyiségben kerül fogyasztásra. A FODMAP-tartalom a korpafrakcióban a legmagasabb, ezt követi az őrlemény és a liszt (Grasgruber et al., 2020).

Az oligoszacharidok közül a fruktánok (fruktooligoszacharidok) és a galaktooligoszacharidok tartoznak ide. A **fruktánok** az egészséges szervezet számára egy bizonyos mértékig általában jól tolerálhatók, viszont IBS-sel élők esetén már kisebb mennyiségű fruktán fogyasztása után gasztrointestinális tünetek jelentkezhetnek, például puffadás, reflux, hasmenés vagy hasi fájdalom. A fruktánok enzimatis bontás híján, felszívódás nélkül haladnak végig a bélrendszeren, és a vastagbélbe érve fermentálódnak. Emellett olyan jótékony baktériumok elszaporodásához járulnak hozzá, mint a bifidobaktériumok és a laktobacillusok, ezért az

IBS/IBD-ben nem szenvedő emberek esetében a fruktánnak pozitív hatása lehet az emésztőrendszer működésére. A **galaktooligoszacharidok** is a fruktánhoz hasonló hatást válthatnak ki az arra érzékenyeknél. A diszacharidok közül ide sorolható a **laktóz** és a **trehalóz**. A laktóz bontásáért felelős laktáz enzim hiányában a laktóz vizet vonz a vékonybélbe, és emésztetlenül jut a vastagbélbe, ahol a bélbaktériumok erjesztik. Ennek következtében olyan kellemetlen tünetek jelentkezhetnek, mint a puffadás, gyomorgörcsök vagy hasmenés. A **fruktóz** felszívódása a diffúzió mellett történhet glükóztól függő transzporton keresztül is, viszont a transzportfehérje genetikai vagy kialakult hiánya következtében a fel nem szívódott fruktóz a laktózhoz hasonlóan jut a vastagbélbe, ahol szintén gázképződés mellett fermentálódik (Polgár et al., 2022). Humán vizsgálatok kimutatták, hogy az ép szervezetben a glükóz jelenléte növeli a fruktóz bélrendszeri felszívódási kapacitását (Riby et al., 1993; Shi et al., 1997). A **cukoralkoholok** (szorbitol, xilitol, maltitol, izomaltitol, mannitol és ertitol) passzív diffúzióval történő felszívódása a vékonybélben lassú és elégtelen. A cukoralkoholok természetes formában előfordulhatnak a gyümölcsökben, zöldségekben, gombákban, mesterségesen előállított cukoralkoholok az édesítőszerekben találhatók (Polgár et al., 2022).

Schmidt és munkatársai (2021) teljes kiőrlésű és fehér liszt FODMAP-tartalmára vonatkozóan végeztek kutatásokat. Az általánosan ismert FODMAP-ok, amelyeket a búzában azonosítottak a raffinóz, a nisztóz, a kesztopentóz és a fruktánokhoz tartozó nagyobb oligoszacharidok voltak. Emellett szacharózt, maltózt, fruktózt és glükózt mutattak ki a vizsgált búzákból, viszont mannitolt, szorbitolt, kesztózt, és laktózt egyik minta sem tartalmazott. A főbb komponensek mennyiségét a 7. táblázat szemlélteti (Schmidt et al., 2021).

|                                  | <b>Fruktán</b> | <b>Fruktóz</b> | <b>Raffinóz</b> | <b>Glükóz</b> | <b>Összes FODMAP</b> |
|----------------------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|----------------------|
| <b>BL55 liszt</b>                | 1,185          | 0,106          | 0,063           | 0,208         | 1,248                |
| <b>Teljes kiőrlésű búzaliszt</b> | 1,687          | 0,204          | 0,189           | 0,681         | 1,876                |

7. táblázat: BL55-ös és teljes kiőrlésű búzaliszt átlagos FODMAP-tartalma és összetétele (g/100 g szárazanyag) (Schmidt et al., 2021)

Ziegler és munkatársai (2016) különböző búzafajok teljes kiőrlésű lisztjeik FODMAP-tartalmát vizsgálták, az eredményeik az 8. táblázatban láthatók.

|                    | <b>Fruktán</b> | <b>Fruktóz</b> | <b>Raffinóz</b> | <b>Glükóz</b> |
|--------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|
| <b>Kenyérbúza</b>  | 1,568          | 0,062          | 0,214           | 0,082         |
| <b>Tönkölybúza</b> | 1,257          | 0,052          | 0,309           | 0,067         |
| <b>Durumbúza</b>   | 1,169          | 0,075          | 0,220           | 0,113         |

8. táblázat: Különböző búzafajok teljes kiőrlésű lisztjének FODMAP-tartalma (g/100g szárazanyag) (Ziegler et al. 2016)

### 3 Anyagok és módszerek

#### 3.1 A vizsgált minták

A mintáim az Eötvös Loránd Kutatási Hálózat martonvásári Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézetéből származtak. Munkám során 3 vad aestivum fajtát és 9 fajtajelöltet vizsgáltam. A Gluclub fajtából 2 különböző mintám is volt, ezek esetleges termesztési különbségéről nem kaptam információt, így külön értékeltem ki őket. Összesen 13 vad aestivum mintával dolgoztam, melyek mindegyikéből fehér liszt és teljes őrlemény is rendelkezésre állt (9. táblázat).

| Név         | Alfaj                           | Vetés ideje |
|-------------|---------------------------------|-------------|
| Big Club 43 | Triticum aestivum compactum     | Ősz         |
| MVGB321     | Triticum aestivum compactum     | Ősz         |
| MVGB323     | Triticum aestivum compactum     | Ősz         |
| MVGB324     | Triticum aestivum compactum     | Ősz         |
| MVGB356     | Triticum aestivum compactum     | Ősz         |
| MVGB583     | Triticum aestivum compactum     | Ősz         |
| MVGB357     | Triticum aestivum compactum     | Ősz         |
| MVGB322     | Triticum aestivum compactum     | Tavaszi     |
| MVGB1175    | Triticum aestivum compactum     | Tavaszi     |
| GLUCLUB/1   | Triticum aestivum compactum     | Tavaszi     |
| MVGB1071    | Triticum aestivum macha         | Tavaszi     |
| LYALLPUR    | Triticum aestivum sphaerococcum | Tavaszi     |
| GLUCLUB/2   | Triticum aestivum compactum     | Tavaszi     |

9. táblázat: Vad aestivum fajták és fajtajelöltek

A vad aestivumok eredményeit összehasonlítottam a Yumai-34-72-21 közönséges búza- és az Oberkulmer-Rotkorn tönkölybúza fajtákkal. A Yumai egy kínai búzafajta, amely arabinoxilán-tartalom szempontjából standardnek tekinthető, hiszen a szakirodalom alapján jelenleg ez a legmagasabb AX-tartalommal rendelkező búzafajta.

A minták hántolását Wintersteiger LD350 tömeg cséplőgéppel végezték 5-8 ciklusban. A ciklusok között 4 mm-es kézi rostával eltávolították a csupasz szemeket, hogy azok a következő lépés közben ne törjenek, a pelyvák magok pedig bekerültek a következő ciklusba. A fordulatszám 1100 rpm. A hántolt magok őrlése Chopin CD1 malommal történt.

## 3.2 Anyagok és eszközök

### 3.2.1 Gázkromatográfiához használt anyagok

| Standard neve | Gyártó                      |
|---------------|-----------------------------|
| D-arabinóz    | Sigma-Aldrich [10850-25G]   |
| D-xilóz       | Sigma-Aldrich [95729-25G]   |
| D-mannóz      | Sigma-Aldrich [M6020-25G]   |
| D-glükóz      | Sigma-Aldrich [G7528-250G]  |
| D-galaktóz    | Sigma-Aldrich [G0750-25G]   |
| D-ribóz       | Sigma-Aldrich [R1757-25G-A] |

10. táblázat: Gázkromatográfiához használt standardek

| Vegyszer neve               | Gyártó                               |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Triflourecetsav (TFA)       | Reanal Laborvegyszer [31940-0-70-62] |
| Ammóniaoldat (25%)          | Molar Chemicals [00890-101-384]      |
| Nátrium-borohidrát          | Aldrich Chemistry [452882-25G]       |
| Ecetsav (96%)               | Molar Chemicals [02791-101-341]      |
| N-metilimidazol             | Sigma-Aldrich [336092-1L]            |
| Ecetsavanhidrid             | Sigma-Aldrich [33214-1L]             |
| Abszolút etanol             | Molar Chemicals [02910-101-340]      |
| Brómfenolkék                | Sigma-Aldrich [B016-25G]             |
| Kálium-hidroxid (lemezes)   | Molar Chemicals [04300-101-190]      |
| Diklórmétán                 | Promochem [SO-4879-B010]             |
| Nátrium-szulfát (vízmentes) | Molar Chemicals [07420-101-190]      |
| MilliQ ioncserélt víz       |                                      |

11. táblázat: Gázkromatográfiához használt vegyszerek

### 3.2.2 Folyadékkromatográfiához használt anyagok

| Vegyszer neve         | Gyártó          |
|-----------------------|-----------------|
| Abszolút metanol      | VWR [20864.320] |
| MilliQ ioncserélt víz |                 |

12. táblázat: Folyadékkromatográfiához használt vegyszerek

### 3.2.3 Műszerek

| Műszer neve         | Gyártó, típus                     |
|---------------------|-----------------------------------|
| Analitikai mérleg   | Sartorius Ag Göttinger (15502434) |
| Vortex              | Snijders Dual press-to-mix 34525  |
| Centrifuga          | Kendro Labofuge 400R (75008162)   |
| Blokktermosztát     | Stuart SBH130D/3 (R000100862)     |
| Száritószekrény     | Heraeus T 5028                    |
| Gázkromatográf      | Perkin Elmer Clarus 500           |
| Folyadékkromatográf | Agilent 1260 Infinity II          |

13. táblázat: A mérésekhez használt műszerek

### 3.2.4 Eszközök

- automata pipetták és pipettahegyek
- 15 ml-es Falcon-csövek
- 4 és 12 ml-es hidrolizáló csövek
- 2 ml-es Eppendorf-csövek
- 2,5 ml-es fecskendők és RC fecskendőszűrők (0,22 és 0,45  $\mu\text{m}$ )
- vialok és kupakok
- főzőpoharak és mérőlombikok

## 3.3 Arabinoxilán-tartalom meghatározása gázkromatográfiás módszerrel

A méréseket Gebruers és munkatárai publikációja alapján kidolgozott mérési módszerrel végeztem, a felhasznált mintamennyiség csökkentése érdekében a Kutatócsoport munkatársai adaptálták a módszert (Gebruers et al., 2009). A gázkromatográfia mozgó fázisa gáz, illékony komponensek mérésére alkalmas. Az arabinoxilánok nem illékonyak, ezért származékképzés szükséges. A mintaelőkészítés során keletkezett alditol-acetát származék már vizsgálható gázkromatográfiás módszerrel. A detektálás lángionizációs detektorral (FID) történt, ami jelenleg a gázkromatográfiában az egyik leggyakrabban használt detektorok közé tartozik, mivel nagyon jó a felbontóképessége, magas az érzékenysége, és néhány kismolekulatömegű szénhidrát kivételével minden olyan illékony vegyületet kimutat, ami szén-tartalmaz (Gebruers et al., 2009).

### 3.3.1 Mintaelőkészítés

Először a méréshez szükséges oldatokat előkészítettem.

- 2M ammónia: 13,6 ml 25%-os ammóniaoldatot 100 ml-re egészítettem ki MilliQ-val egy mérőlombikban, fülke alatt.
- 4M TFA: 33 ml TFA-t fülke alatt 100 ml-re kiegészítettem MilliQ-val.
- 2M TFA: 4M TFA-ból és MilliQ-ból készítettem 1:1-es hígítással.
- Brómfenolkék oldat: 40 mg brómfenolkék kristályt 100 ml MilliQ-ban feloldottam.
- 7,5M KOH: 117,0 g lemezes KOH-t feloldottam MilliQ-ban fülke alatt, jeges vízfürdőben, folyamatos keverés mellett. Ezt követően mérőlombikban 250 ml-re egészítettem ki.

*Frissen elkészítendő oldatok:*

- Keverék standard: bemértem  $10 \pm 0,1$  mg arabinózt, xilózt, mannózt, glükózt és galaktózt, majd feloldottam 10 ml MilliQ vízben.
- Ribóz standard:  $25 \pm 0,25$  mg ribózt feloldottam 25 ml MilliQ vízben.
- Ammóniás  $\text{NaBH}_4$  oldat:  $1200 \pm 1$  mg  $\text{NaBH}_4$ -ot feloldottam 6 ml 2M ammóniában elszívófülke alatt.

A mintaelőkészítés a TOTAX esetében 3 fő lépésből áll: hidrolízis, redukció és acilezés. A WEAX esetében a hidrolízist egy extrakció előzi meg a vízoldható komponensek kinyerése céljából.

Extrakció (WEAX):

$1000 \pm 0,99$  mg mintát bemértem 15 ml-es centrifugacsövekbe, majd a kimért mintákhoz 5 ml 7 °C-os MilliQ-t pipettáztam. A mintákat összeráztam, majd 30 percre hűtőbe tettem, eközben 10 percenként vortexeltem őket. Ezt követően a mintákat 10 percig centrifugáltattam (4000 rpm, 4 °C).

Hidrolízis:

WEAX: Centrifugálás után a tiszta felülúszóból 1,25 ml-t pipettáztam egy 4 ml-es hidrolizáló csőbe, majd 1,25 ml TFA-t adtam hozzá és vortexeltem. A mintákat 60 percre 110 °C-os blokktermosztátba tettem, 30 percnél vortexeltem.

TOTAX: Bemértem  $35 \pm 0,25$  mg mintát 4 ml-es hidrolizálócsövekbe, majd a mintákhoz 5 ml 2M TFA-t pipettáztam és vortexeltem őket. A mintákat 60 percre 110 °C-os blokktermosztátba tettem, 30 percnél vortexeltem.

### Redukció:

1 ml hidrolizátumhoz 1 ml ribóz standardet pipettáztam, majd hozzáadtam 1 ml 25%-os ammóniát. Ezt követően 200 µl ammóniás NaBH<sub>4</sub>-oldatot adtam hozzá, majd a mintákat 30 percre 40 °C-os szárítószekrénybe tettem. Az idő letelte után 2x400 µl 96%-os ecetsavat pipettáztam a csövekbe, majd vortexeltem őket.

### Acilezés:

A redukált oldatból 0,25 ml -t pipettáztam át egy 12 ml-es Falcon-csőbe. Hideg vízfürdőben 0,25 ml N-metilimidazol, majd 2,5 ml ecetsavanhidrid-oldatot adtam hozzá, majd a mintákat 10 percig a vízfürdőben hagytam. Ezután 1 ml abszolút etanolt, 5 ml MilliQ-t, és 0,25 ml brómfenolkék-oldatot pipettáztam a csövekbe. 3 ml 7,5 M KOH-oldatot adtam a mintákhoz, hogy a pH körülbelül semleges legyen. 1 ml diklórmétán hozzáadása után vortexeltem a mintákat. A fázisok szétválása után leöntöttem a kék vizes fázist, majd a sárga szerves fázist Eppendorf-csövekbe előkészített vízmentes Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-ra pipettáztam a víznyomok eltávolítása végett. Ezután a mintákat szűkítő csöves vialokba átpipettáztam és nem gyengített kupakkal lezártam.

### 3.3.2 A mérés paramétere

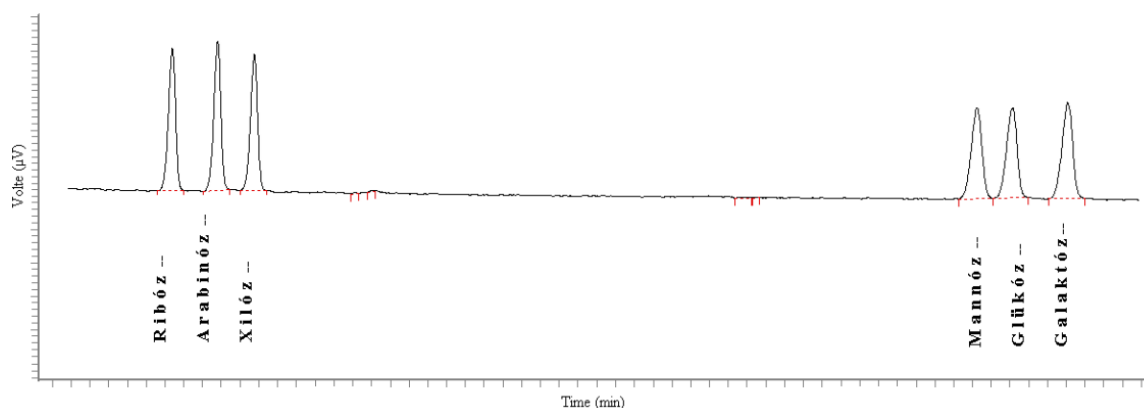
- Berendezés: Perkin Elmer Clarus 500
- Oszlop: Elite 17 kolonna, 60m x 0,25mm, 0,25 µl film
- Vivőgáz: H<sub>2</sub> (45ml/min), segédgázok: levegő (450ml/min), He
- Injektálás: 1 µl, 1:8 split arány, 300 °C
- Kémence: 250 °C, hold: 14min, equilibration time: 1min
- Detektor: FID, 300°C, attenuation: -1, offset: 5.0 mV, range: 1
- Egyéb beállítások: Bunching factor (pts): 1, Noise threshold (µV): 100

### 3.3.3 Eredmények kiértékelése

A gázkromatográfiás mérés végén az eluálódott komponensek a kromatogramon jelennek meg (9. ábra). A kromatogram minőségi és mennyiségi meghatározásra is alkalmas. A minőségi meghatározás során az egyes csúcsok retenciós ideje alapján azonosíthatók be a komponensek. A komponensek mennyisége a csúcsok alatti terület alapján számítható (Pokol et al., 2011).

Munkám során a méréshez használt standardek retenciós ideje alapján azonosítottam a csúcsokat. A monomerek növekvő retenciós idő szerint a következők: ribóz, arabinóz, xilóz,

mannóz, glükóz és galaktóz. A mennyiségi meghatározást a csúcsok alatti területek segítségével Gebruers és munkatársai publikációja alapján végeztem (Gebruers et al., 2009).



9. ábra: A keverék standard kromatogramja

A ribóz a belső standard szerepét töltötte be a mérés során, ezért ezzel korrigálni kellett a csúcsok alatti területet. A monoszacharidok mennyiségének meghatározásához szükség volt a válaszfaktor (response factor, RF) kiszámítására a keverék standardek alapján.

$$RF = \frac{\text{keverék standard bemérési tömege (mg)}}{\text{belső standard bemérési tömege (mg)}} \times \frac{\text{keverék standard csúcsterülete}}{\text{belső standard csúcsterülete}} \times CF$$

Minden monoszacharidhoz egy korrekciós faktort (correction factor, CF) tartozik, ami a savas hidrolízis során jelentkező veszteségeket kompenzálja.

$$CF = \frac{\text{nem hidrolizált monoszacharid csúcsterülete} / \text{belső standard csúcsterülete}}{\text{hidrolizált monoszacharid csúcsterülete} / \text{belső standard csúcsterülete}}$$

A korrekciós faktorok értékeit az egyes monomerekre a 14. táblázat tartalmazza.

| Monoszacharid     | Ribó z | Arabinó z | Xiló z | Mannó z | Glükó z | Galaktó z |
|-------------------|--------|-----------|--------|---------|---------|-----------|
| Korrekciós faktor | 0,92   | 0,95      | 0,89   | 0,92    | 0,94    | 0,94      |

14. táblázat: Monoszacharidok korrekciós faktorai

A monoszacharidok (MS) mintabeli koncentrációja az alábbi képlettel számítható:

$$MS[\%] = \frac{\text{monoszacharid csúcsterülete}}{\text{belső standard csúcsterülete}} \times RF \times \frac{\text{belső standard bemérési tömege (mg)}}{\text{minta bemérési tömege (mg)}} \times 100$$

Az egyes monoszacharidok koncentrációjának meghatározása után kiszámítottam az arabinoxilánok mennyiségét és az A/X arányt.

$$AX [\%] = (\text{arabinó z} [\%] + \text{xiló z} [\%]) \times 0,88$$

$$A/X [\%] = \frac{\text{arabinóz} [\%]}{\text{xilóz} [\%]}$$

A WEAX és TOTAX eredményekből kiszámítottam a WUAX mennyiségét.

$$WUAX [\%] = TOTAX [\%] - WEAX [\%]$$

### 3.4 Rövid láncú szénhidrátok vizsgálata folyadékkromatográfiával

A rövid láncú szénhidrát-összetétel vizsgálata során a monomerek és oligomerek mennyiségét folyadékkromatográfiás módszerrel határoztam meg. A mérést Jane G. Muir és munkatárai által publikált módszer alapján végeztem (Muir et al., 2009). A méréshez a pontos meghatározás érdekében két oszlop használata szükséges. A CaDuo ligandumcserélő oszlop víz eluenssel alkalmas a monoszacharidok (glükóz, galaktóz, fruktóz) és a cukoralkoholok (mannitol, xilitol és szorbitol) elválasztására. Viszont a diszacharidokat (maltóz, trehalóz, szacharóz) és a hosszabb szénláncú oligoszacharidokat (sztachióz, raffinóz) nem megfelelően választja el. Ezért ezeknek az oligomereknek a meghatározásához Carbohydrate (HILIC) oszlop szükséges, ahol a mozgófázis 82%-os acetonitril. Mindkét oszlop használatára azért van szükség, mert a Carbohydrate oszlop a monoszacharidokat és a cukoralkoholokat nem választja el megfelelően.

A kutatásom még folyamatban van, a Carbohydrate oszloppal a mérést technikai okokból még nem tudtam elvégezni.

Az extrakciót az eluenssel azonos vegyülettel végeztem, így a CaDuo oszlop esetén vízzel. A vizes extrakció előtt a mintákhoz metanolt adtam az amiláz enzim inaktiválásának érdekében, gátolva ezzel a keményítő hidrolízist (Ziegler et al., 2016).

#### 3.4.1 Mintaelőkészítés

Bemértem  $100 \pm 0,5$  mg mintát 14 ml-es hidrolizáló csövekbe, és a kimért mintákhoz 0,5 ml metanolt adtam, majd 30 percig 600 rpm-en kevertettem őket. Ezután mindegyik csőbe 9,5 ml MilliQ-t pipettáztam, majd ismét 30 percig 600 rpm-en kevertettem a mintákat. Az idő leteltével az extraktumot áttöltöttem 15 ml-es centrifugacsövekbe, és 10 percen keresztül 4000 rpm-en centrifugáltam őket. A felülúszót átszűrtem 0,22  $\mu\text{m}$ -es nylon szűrőn a HPLC vialokba, és nem gyengített kupakkal lezártam őket.

#### 3.4.2 Mérés paramétere

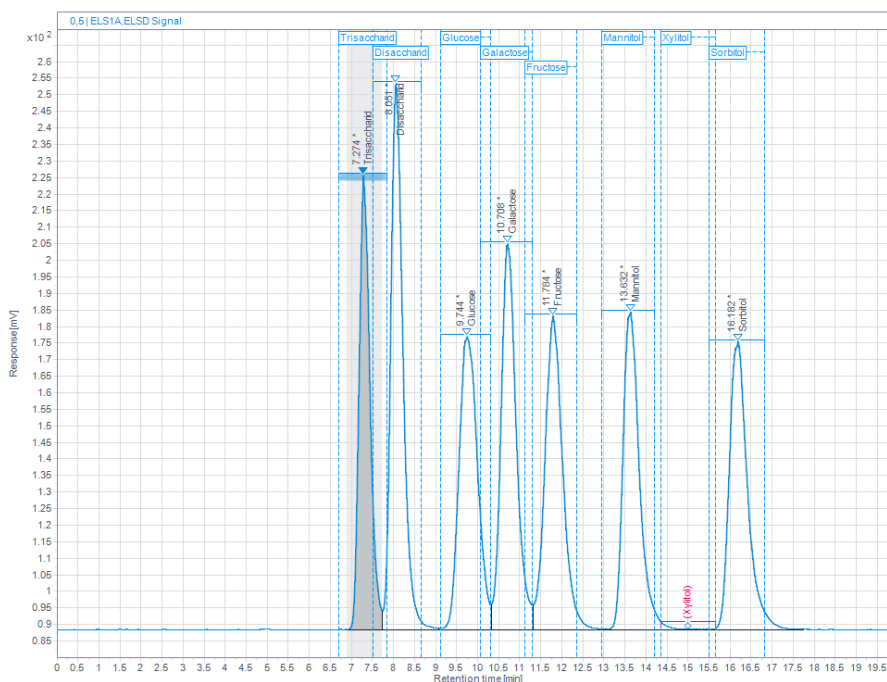
- Berendezés: Agilent 1260 Infinity II
- Oszlop: CaDuo (ligandumcserélő)
- Detektor: Agilent 1260 Infinity II ELSD detektor

- Injektálási térfogat: 20  $\mu$ l
- Mintartató hőmérséklet: 4 °C
- Áramlási sebesség: 0,6 ml/perc
- Oszlop hőmérséklet: 80 °C
- Porlasztási hőmérséklet: 80 °C
- N<sub>2</sub> áramlási sebessége: 1,6 l/perc
- Szárítási hőmérséklet: 50 °C

### 3.4.3 Eredmények kiértékelése

A folyadékkromatográfiás mérés eredményeként kapott standard kromatogram a 10. ábra látható. Az oszlopról eluálódó komponensek sorrendje: triszacharid, diszacharid, glükóz, galaktóz, fruktóz, mannóz és szorbitol.

A mennyiségi kalibrációhoz ötpontos hígítási sort használtam, a csúcs alatti területekből az OpenLab szoftver és Microsoft Excel segítségével számoltam ki a szárazanyagra vonatkoztatott koncentrációkat g/100 g szárazanyag mértékegységben.



10. ábra: A CaDuo oszlopon eluálódott standarek sorrendje

### 3.5 Eredmények statisztikai értékelése

A TIBCO Statistica 14.0.0 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, USA) szoftver segítségével korrelációanalízist és Tukey HSD tesztet (a szignifikancia szint 0,95) végeztem a teljes

őrlemények és lisztek mért értékeire. Valamint a Ward módszeres hierarchikus klaszter elemzést is alkalmaztam.

## 4 Eredmények és értékelésük

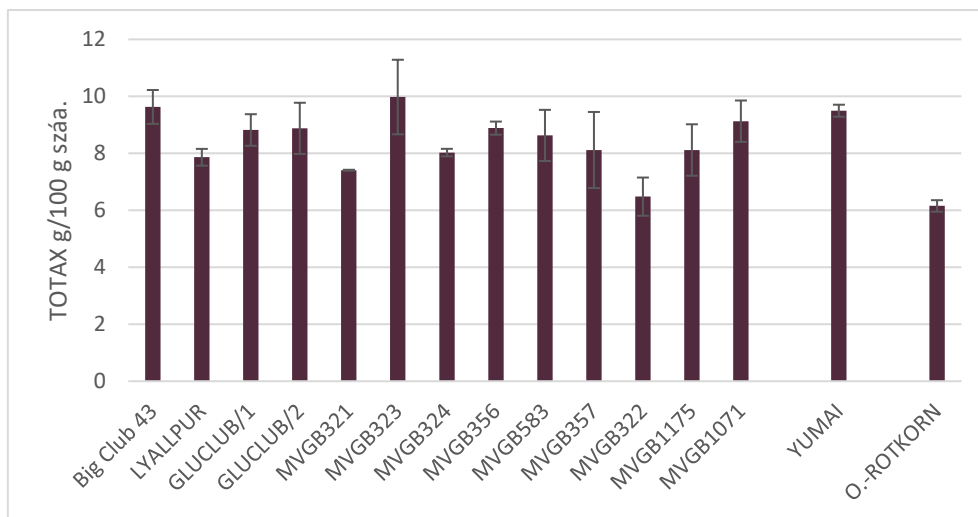
A kapott eredmények számszerű értékei a Függelék 17-20. *táblázataiban* láthatók. A Statistica szoftver Tukey HSD tesztje segítségével kialakított homológ csoportokat a Függelék 22-36. *táblázatai* tartalmazzák.

### 4.1 Arabinoxilán-tartalom mérésének eredménye és értékelése

#### 4.1.1 Teljes őrlemény minták eredményei

##### 4.1.1.1 Teljes arabinoxilán-tartalom

A vizsgált vad aestivum fajták közül a legalacsonyabb teljes arabinoxilán-tartalma a Lyallpur (7,86%), legmagasabb pedig a Big Club 43 (9,63%) fajtának van. A fajtajelöltek TOTAX-tartalma 6,48% és 9,98% közötti, vagyis szélesebb tartományban mozognak, mint a fajták. Irodalmi adatok szerint a búzák teljes őrleményeinek TOTAX-tartalma 5,81-12,8%, az általam mért minták értékei beleesnek ebbe a tartományba (Dornez et al., 2008; Vingola et al., 2016). Jól ismert a szakirodalomból és a Kutatócsoport korábbi munkáiból is, hogy a Yumai 34 kínai búzafajta rendelkezik jelenlegi tudásunk szerint a legmagasabb AX, ezen belül is a WEAX tartalommal (9,49%). Ehhez képest érdekesség, hogy méréseim alapján a vad aestivum minták közül a Big Club 43 fajtának és a MVGB323 fajtajelöltnek (9,98%) is hasonlóan magas a TOTAX értéke, de az eltérés nem szignifikáns. Az Oberkulmer-Rotkorn tönkölybúza fajta TOTAX-tartalmánál (6,15%) az összes vad aestivum mintában mért mennyiség magasabbnak bizonyult. Az eredményeket az 11. *ábra* szemlélteti.

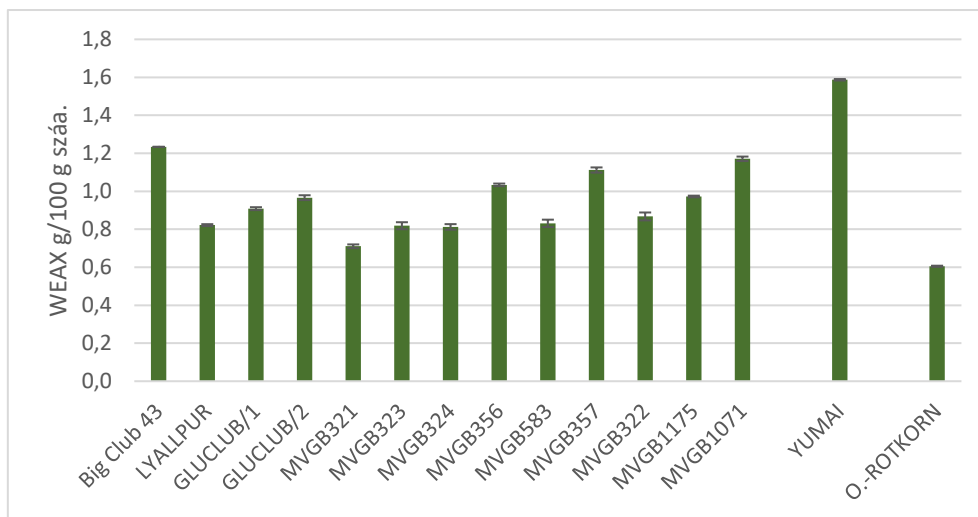


11. ábra: Teljes őrlmények TOTAX-tartalma

A Statistica szoftver Tukey tesztje 3 homológ csoportot hozott létre, ennek eredménye alapján az O.-Rotkorn szignifikánsan eltér a Yumai, a Big Club 43 és az MVGB323 mintáktól.

#### 4.1.1.2 Vízoldható arabinoxilán-tartalom

A vizsgált vad aestivum fajták közül a legalacsonyabb vízoldható arabinoxilán-tartalma a Lyallpur (0,82%), legmagasabb pedig a Big Club 43 (1,23%) fajtának van. A fajtajelöltekben mért WEAX 0,71% és 1,17% között mozog. Ezek alapján elmondható, hogy a vizsgált fajtajelöltek között nem található olyan, amelynek WEAX értéke magasabb lenne a Big Club 43-nál. Az irodalmi adatok alapján a búza teljes őrlményének WEAX-tartalma 0,33-0,99%, a mintáim között több olyan is található, amely ennél több WEAX-ot tartalmaz (Dornez et al., 2008; Vingola et al., 2016). A WEAX-tartalomban a vad aestivum minták jelentősen alulmaradnak a Yumai búzafajtához képest. A tönkölybúzához hasonlítva minden vad aestivum mintában mért WEAX-mennyiség magasabb (12. ábra).

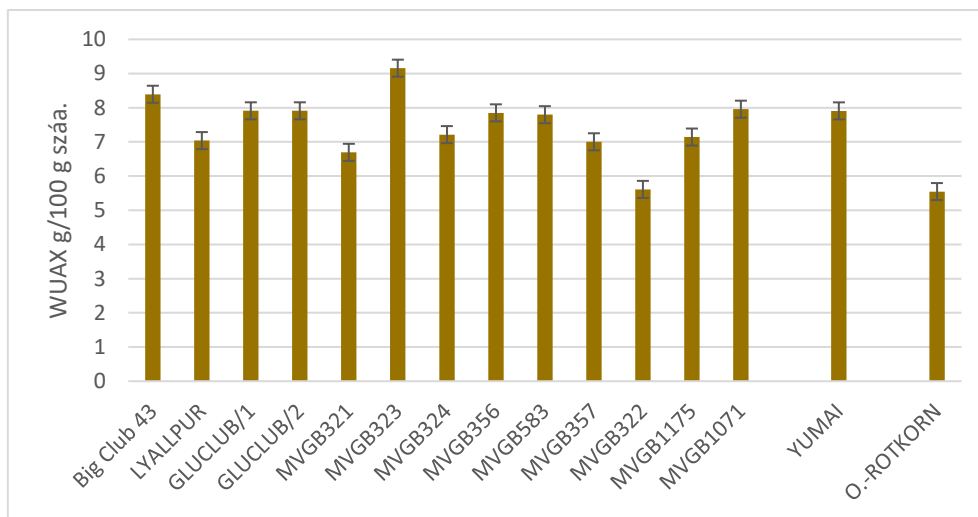


12. ábra: Teljes őrlmények WEAX-tartalma

A Tukey teszt 10 homológ csoportot állapított meg, az O.-Rotkorn, a Big Club 43 az MVGB321, -356, -357, -1071 és a Yumai szignifikánsan különböznek egymástól, és az összes többi mintától is.

#### 4.1.1.3 Vízoldhatatlan arabinoxilán-tartalom

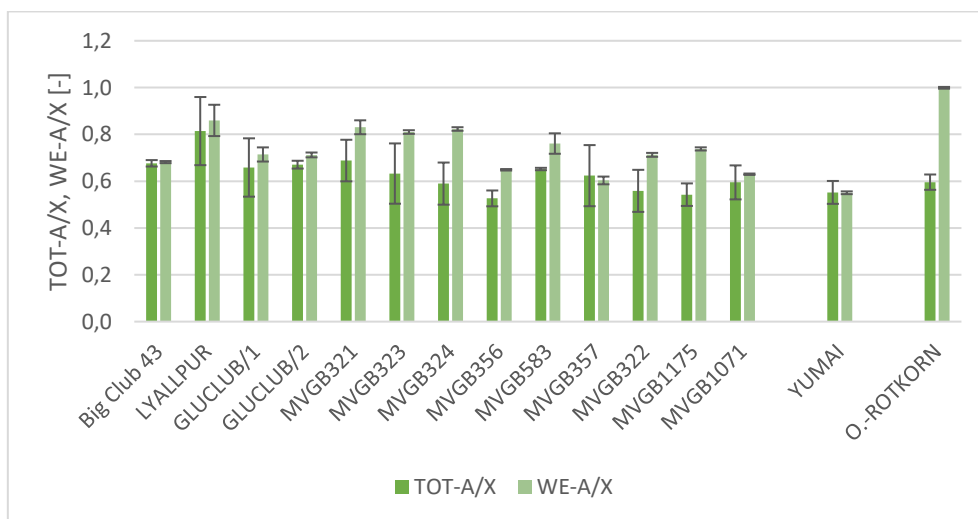
A vízoldhatatlan arabinoxilán-tartalmat (WUAX) a TOTAX és WEAX különbségeként számítottam. A vad aestivum minták esetében a kapott értékek 5,61% és 9,16% közé estek. A fajták közül a legkisebb WUAX mennyiség a Lyallpur (7,04%), a legnagyobb pedig a Big Club 43 (8,39%) fajtában található. A vad aestivum minták átlagos WUAX-tartalma (7,51%) a Yumai búzáéhoz (7,91%) hasonló, de negatív és pozitív irányban is megfigyelhetők nagyobb különbségek. Az MVGB323 fajtajelölt esetében a WUAX értéke kiemelkedően magas (9,16%), és a Big Club 43 (8,39%) is több WUAX-ot tartalmaz, mint a Yumai. A tönkölybúzánál (5,54%) minden vad aestivum mintában több WUAX található (13. ábra).



13. ábra: Teljes őrlmények WUAX-tartalma

#### 4.1.1.4 Arabinóz/xilóz arány

A vad aestivum őrlmények arabinóz/xilóz aránya a TOTAX esetében 0,53 és 0,81 között, a WEAX esetében pedig 0,60 és 0,86 között van. A fajták közül a TOT-A/X és a WE-A/X értéke is a Lyallpurnak a legmagasabb, a többi fajta eredményei hasonlóak. A Yumai búzafajta A/X aránya a TOTAX és WEAX esetében is alacsony, a vad aestivum minták többnyire magasabb értékkel rendelkeznek. Az O.-Rotkorn tönkölybúza TOT-A/X aránya a vad aestivum minták átlagos értékéhez hasonló, azonban a WE-A/X érték tekintetében kiemelkedő (14. ábra).



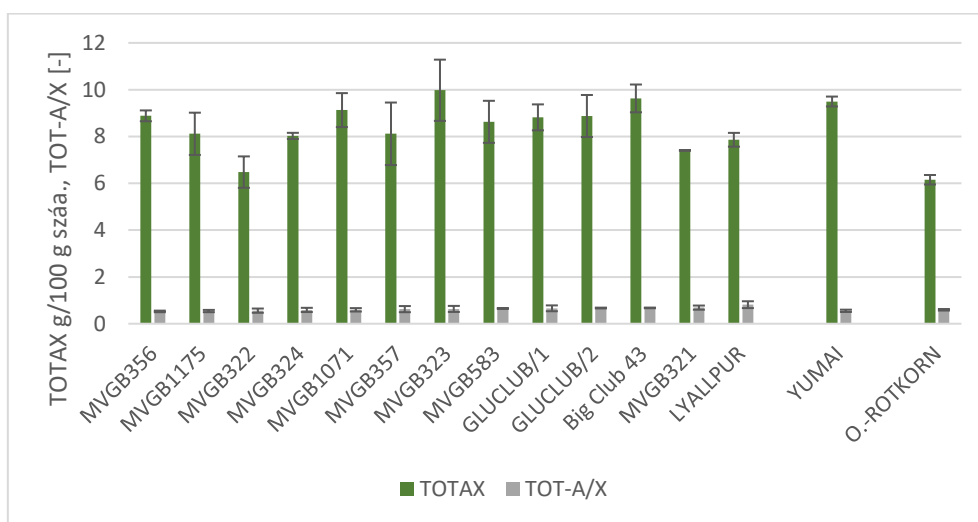
14. ábra: Teljes őrlmények arabinóz/xilóz aránya

A TOT-A/X és WE-A/X értékek változásai között egyértelmű összefüggést nem sikerült azonosítani, viszont az megállapítható, hogy a WE-A/X arány majdnem minden vad aestivum minta esetében magasabb a TOT-A/X-nál, tehát a vízoldható arabinoxilánok szubsztituáltsági foka magasabb, mint a vízoldhatatlanoké.

A TOT-A/X értékek szempontjából a minták között szignifikáns eltérés nincsen. A WE-A/X esetében a Statistica 9 homolog csoportot hozott létre, az O.-Rotkorn egyedül alkot egy csoportot, szignifikánsan eltér a többi mintától.

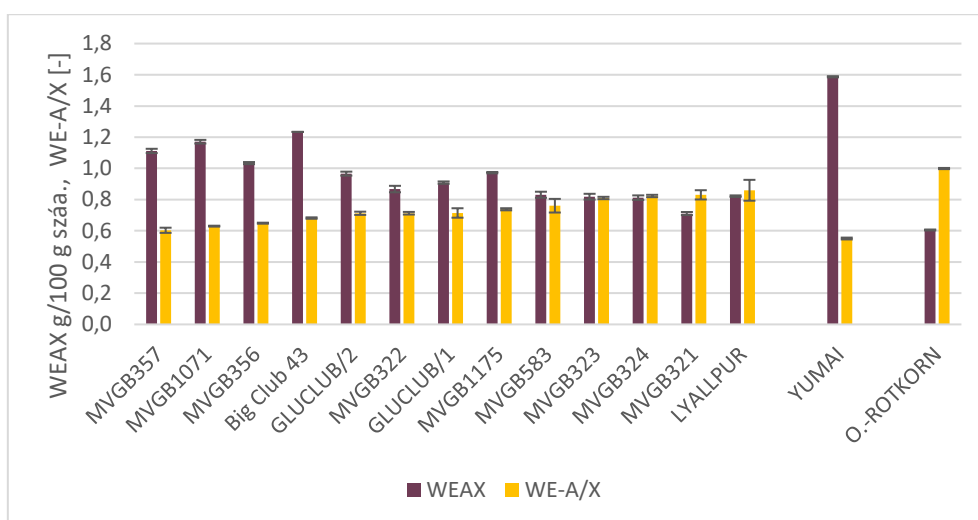
#### 4.1.1.5 A mért paraméterek között levő kapcsolat elemzése

A teljes és a vízdíszíthető arabinoxilán-tartalmat összehasonlítottam az arabinoxilánok szubsztituáltsági fokával. Az AX-tartalmakat a megfelelő A/X arányok növekvő sorrendjének függvényében rendeztem (15. ábra és 16. ábra).



15. ábra: Teljes őrlmények TOTAX-tartalma és TOT-A/X aránya (a vad aestivumok A/X arány szerint növekvő sorrendben)

A TOTAX esetében nem figyelhető meg tendencia az arabinoxilán mennyisége és szubsztituáltsága között. Mivel a magas A/X arálynak valószínűleg kedvező hatása van az emberi egészségre, ezért olyan fajta keresése a cél, amelyben nagy mennyiségű és magas szubsztituáltsági fokú arabinoxilán van. Ezen szempontok figyelembevételével a Big Club 43 lehet a legelőnyösebb táplálkozási szempontból, hiszen a magas TOTAX-tartalma mellett az A/X aránya is kedvező, azonban nem tudjuk, hogy az egyes fajták értékei között mért viszonylag kis különbségek érzékelhetők-e az egészségügyi hatás tekintetében.



16. ábra: Teljes őrlmények WEAX-tartalma és WE-A/X aránya (a vad aestivumok WE-A/X szerint növekvő sorrendben)

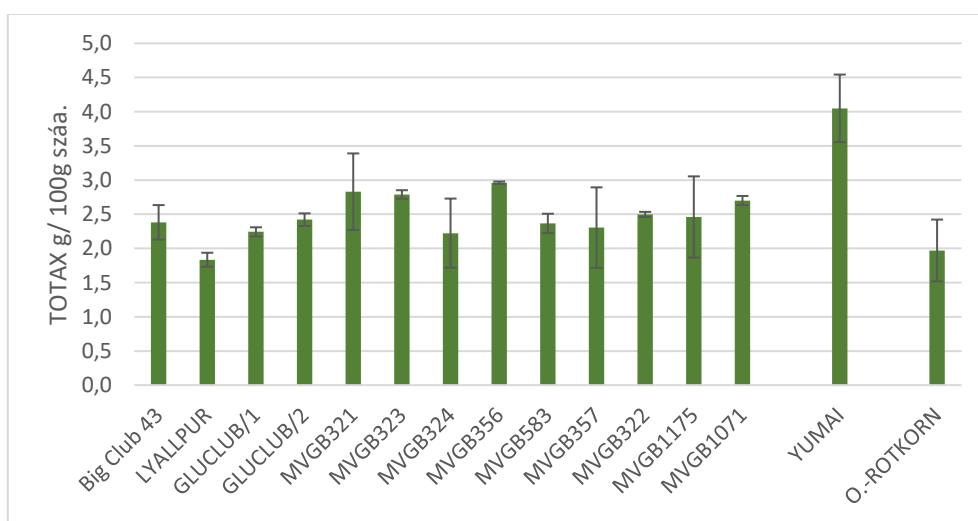
A vízzoldható arabinoxilánoknál látható tendencia a WEAX mennyisége és az A/X arány között. Megfigyelhető, hogy a nagyobb A/X arányú minták esetében jellemzőbb az alacsonyabb WEAX-tartalom. Korrelációanalízissel megállapítható, hogy a két paraméter között a korrelációs koefficiens  $-0,8258$ , ami szignifikáns összefüggést jelent. Az eredmény jól magyarázható a WEAX tulajdonságaival, alátámasztja az irodalmi és a Kutatócsoport korábbi megállapításait is azzal, hogy ez az összefüggés kiterjeszthető eddig nem vizsgált mintatípusokra is. A Yumai búzának kiemelkedő WEAX mennyisége mellett az arabinoxilánok szubsztituáltsága alacsony. Ezzel szemben az O.-Rotkorn tönkölybúza A/X aránya látványosan magas, viszont a WEAX tartalma a legkevesebb. Ez alapján ez a két fajta is beilleszthető a megfigyelt tendenciába.

#### 4.1.2 Liszt minták eredményei

##### 4.1.2.1 Teljes arabinoxilán-tartalom

A vad aestivum fajták lisztjei közül a legalacsonyabb teljes arabinoxilán-tartalma a Lyallpur (1,83%), legmagasabb pedig a Gluclub/2 (2,42%) mintának van. A fajtajelöltek TOTAX-tartalma 2,22% és 2,96% között mozog. Ez alapján megállapítható, hogy a vizsgált fajtajelöltek között vannak olyanok, amelyek a fajtáknál magasabb TOTAX-tartalommal rendelkeznek. Az irodalmi adatok alapján a búzalisztek TOTAX-tartalma 1,35-2,75%, a vizsgált mintáim többsége beleesik ebbe a tartományba, azonban vannak olyanok is, amelyek ennél magasabb értékkel rendelkeznek. Összességében az látszik, hogy a vizsgált vad aestivum minták az intervallum felső hányadába esnek, tehát viszonylag magas a lisztek TOTAX-tartalma (Gebruers et al., 2008). A szakirodalmi adatoknak szerint a Yumai liszt TOTAX-tartalma a

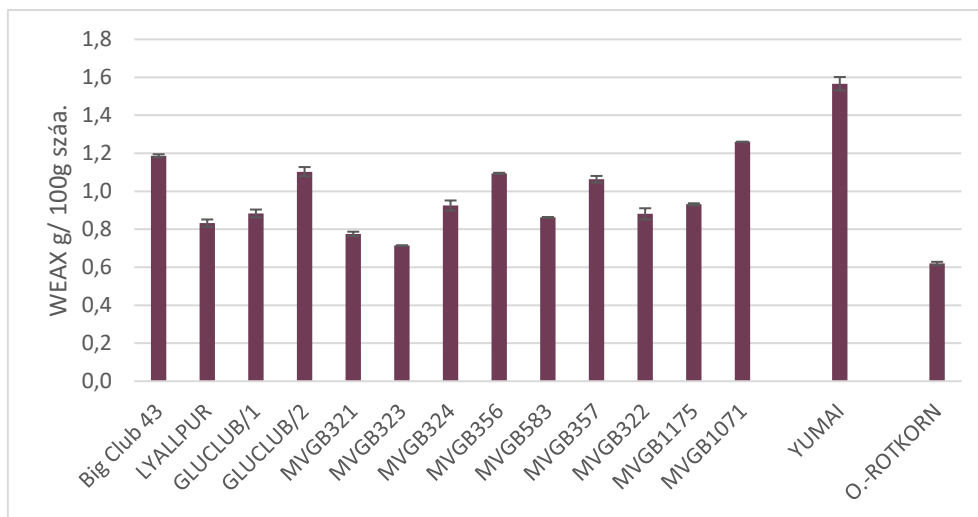
legmagasabb, ez látható az én adataim alapján is, azonban az általam mért érték (4,05%) jelentősen magasabb az irodalminál (2,75%) (Lovegrove et al., 2020). A vizsgált vad aestivum lisztekben a TOTAX mennyisége a Yumai búza és az O.-Rotkorn tönkölybúza értékei között van. Egyetlen kivétel a Lyallpur fajta, hiszen ennek a TOTAX-tartalma a tönkölybúzáénál is alacsonyabb. A Yumai liszt TOTAX-tartalma 4,05%, ami a legmagasabb TOTAX-tartalmú vad aestivum vonal (MVGB356, 2,96%) lisztjének arabinoxilán-tartalmát is messze meghaladja. A Statistica szoftver Tukey teszt szerint a Yumai négy vad aestivum vonal (MVGB321, -323, 356, -1071) kivételével szignifikánsan eltér a többi mintától. Az eredményeket a 17. ábra szemlélteti.



17. ábra: Lisztek TOTAX-tartalma

#### 4.1.2.2 Vízoldható arabinoxilán-tartalom

A vad aestivum fajták lisztjei közül a legalacsonyabb vízoldható arabinoxilán-tartalommal a Lyallpur (0,83%), legmagasabbal pedig a Big Club 43 (1,19%) rendelkezik. A fajtajelöltek WEAX-tartalma 0,71% és 1,26% között mozog. A legnagyobb WEAX mennyiséget tartalmazó vonal az MVGB1071, ami meghaladja a Big Club 43 értékét. Az irodalmi adatok szerint a búzalisztek WEAX-tartalma 0,30-1,40%, a vizsgált mintáim értékei ezen az intervallumon belül találhatók (Gebruers et al., 2008). A szakirodalomnak megfelelően a Yumai WEAX-tartalma kimagasló (1,57%), ehhez képest minden vad aestivum mintában jelentősen kevesebb WEAX található. A tönkölybúza rendelkezik a legalacsonyabb WEAX-tartalommal (0,62%) (18. ábra).

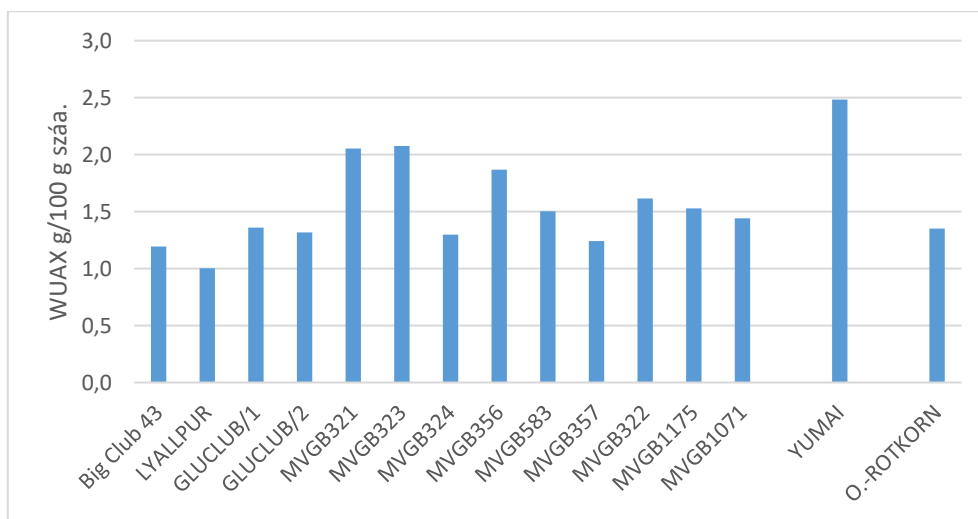


18. ábra: Lisztek WEAX-tartalma

A Statistica WEAX-tartalom alapján 9 homológ csoportba sorolta a mintákat, a Yumai, az O.-Rotkorn, a Big Club 43 és az MVGB1071 vonal egymástól és minden más mintától szignifikánsan eltérnek.

#### 4.1.2.3 Vízoldhatatlan arabinoxilán-tartalom

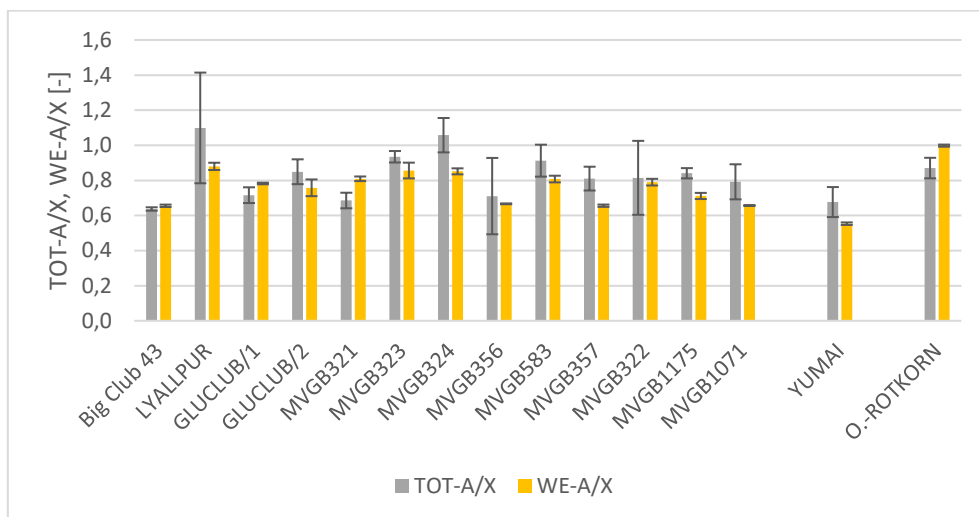
A vad aestivum fajták lisztjei közül a legmagasabb vízoldhatatlan arabinoxilán-tartalommal Gluclub/1 minta (1,36%), a legalacsonyabbal pedig a Lyallpur (1,00%) rendelkezik. A fajtajelöltek értékei 1,24% és 2,08% között mozognak. Ez alapján megállapítható, hogy a fajtajelöltek átlagos WUAX-tartalma (1,62%) magasabb, mint a vad aestivum fajtáknak (1,22%). A Yumai búzafajta WUAX-tartalma (2,48%) jelentősen nagyobb, mint a vad aestivum mintáké. Az O.-Rotkorn fajtában a WUAX mennyisége (1,35%) a vad aestivum minták átlagos értékéhez hasonló (19. ábra).



19. ábra: Lisztek WUAX-tartalma

#### 4.1.2.4 Arabinóz/xilóz arány

A vad aestivum lisztek arabinóz/xilóz aránya a TOTAX esetében 0,64 és 1,10 között, a WEAX esetében pedig 0,66 és 0,88 között mozog. A fajták közül a TOT-A/X és a WE-A/X értéke is a Lyallpurnak a legmagasabb, a legalacsonyabb a Big Club 43-nak. A Yumai búzafajta A/X aránya a TOTAX és WEAX esetében is alacsony, a vad aestivum minták többnyire magasabb értékkel rendelkeznek. Az O.-Rotkorn tönkölybúza TOT-A/X aránya a vad aestivum minták átlagos értékéhez hasonló, azonban a WE-A/X érték tekintetében kiemelkedő. A szakirodalom szerint a búzaliszt TOT-A/X aránya 0,50-0,70 között van, a WE-A/X érték pedig 0,40-0,55 között mozog (Gebruers et al., 2008). Látható, hogy a Yumai búza értékei mindkét paraméter esetében beleesnek az irodalmi intervallumba. Ezzel szemben a vad aestivum minták többsége a TOT-A/X arány esetében magasabb értékkel rendelkezik. A WE-A/X arány tekintetében pedig az összes vad aestivum minta értéke magasabb az irodalminál (20. ábra).



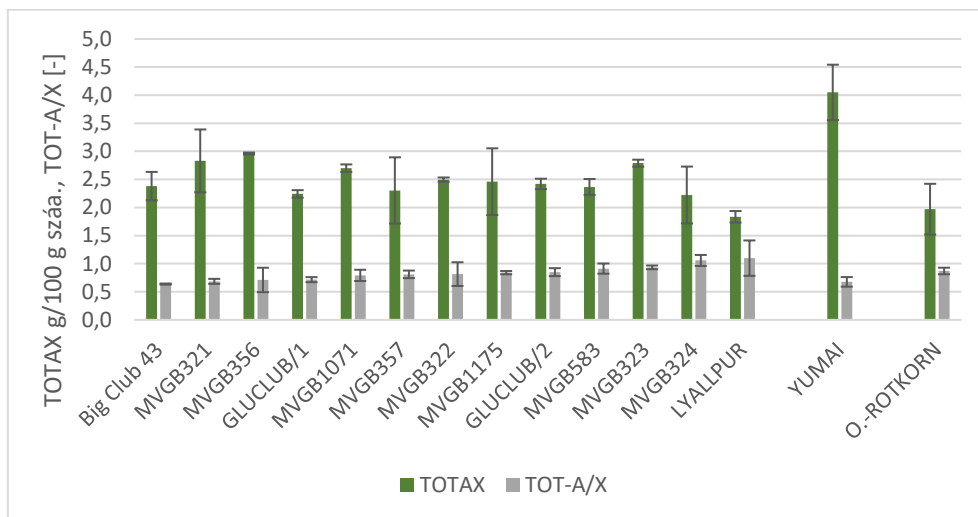
20. ábra: Lisztek arabinóz/xilóz aránya

A TOT-A/X és WE-A/X értékek változásai között nem látható tendencia, de az megfigyelhető, hogy a TOT-A/X többnyire magasabb, mint a WE-A/X. Ez azt jelenti, hogy az endospermében levő, illetve az aleuron- és héjrészekből az őrlés során a lisztbe kerülő WUAX szubsztituáltsági foka nagyobb, mint a WEAX esetében.

A TOT-A/X eredmények között nincs szignifikáns eltérés. WE-A/X arány tekintetében a Yumai és az O.-Rotkorn szignifikánsan eltérnek a vad aestivum mintáktól.

#### 4.1.2.5 A mért paraméterek között levő kapcsolat elemzése

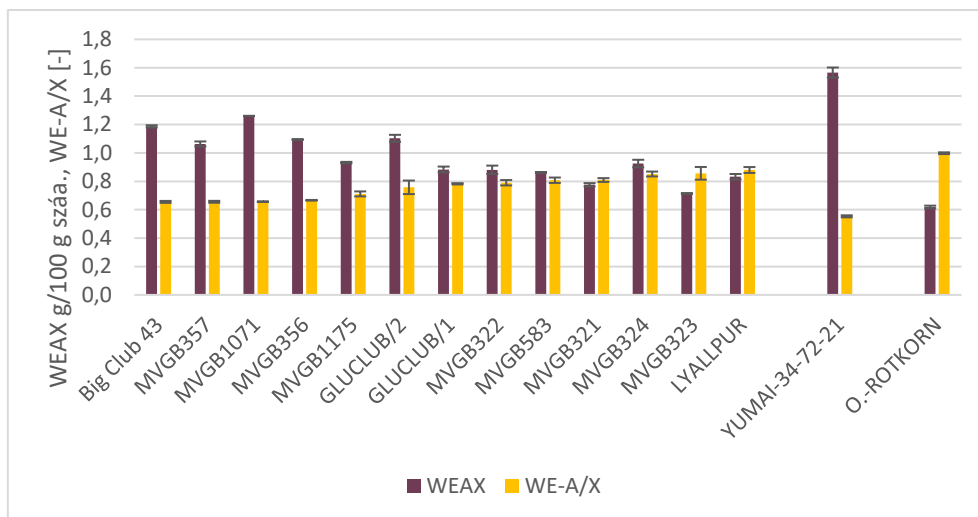
A teljes és a vízdoldható arabinoxilán-tartalom összehasonlításához az AX-tartalmakat a megfelelő A/X arányok növekvő sorrendjének függvényében rendeztem (21. ábra és 22. ábra).



21. ábra: Lisztek TOTAX-tartalma és TOT-A/X aránya (a vad aestivumok A/X arány szerint növekvő sorrendben)

A lisztek TOTAX eredményeinek esetében nem látható tendencia az arabinoxilánok mennyisége és szubsztituáltsága között. A Yumai búza TOTAX-tartalma kiemelkedően magas a vad aestivumokhoz képest, viszont a TOT-A/X aránya viszonylag alacsony, a vad aestivum minták a Big Club 43 kivételével magasabb TOT-A/X értékkel rendelkeznek.

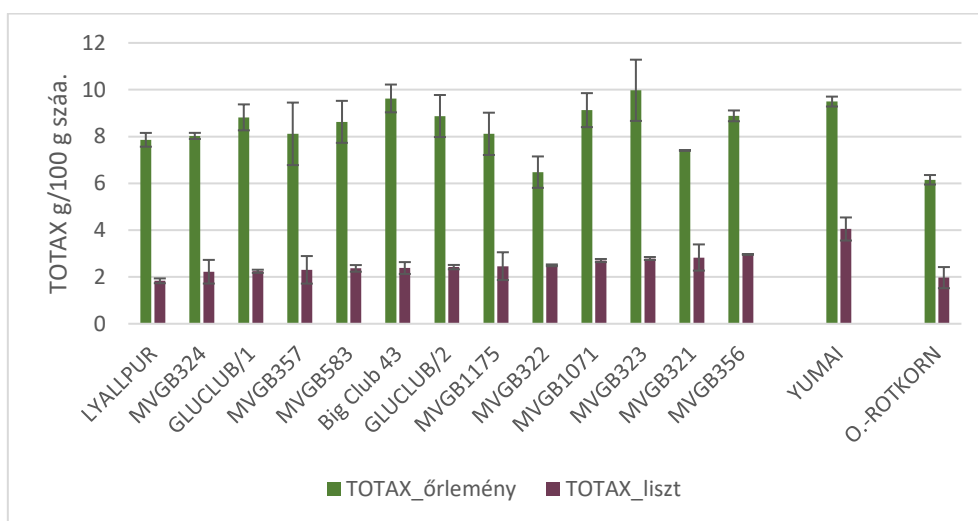
A vízdoldható arabinoxilánoknál megfigyelhető tendencia a WEAX mennyisége és az A/X aránya között, a nagyobb A/X arányú minták esetében jellemzőbb az alacsonyabb WEAX-tartalom. Korrelációanalízissel megállapítható, hogy a két paraméter között a korrelációs koefficiens -0,8913, ami egy erős korreláció, azonban a kis mintaszám miatt itt is további fajták mérésével kell igazolni az összefüggést. A Yumai búzának kiemelkedő a WEAX mennyisége, de az arabinoxilánok szubsztituáltsága alacsony. Az O.-Rotkorn tönkölybúza A/X aránya látványosan magas, viszont a WEAX tartalma a legkevesebb az összes minta közül (22. ábra).



22. ábra: Lisztek WEAX-tartalma és WE-A/X aránya (a vad aestivumok WE-A/X szerint növekvő sorrendben)

#### 4.1.3 Teljes őrlemények és lisztek összehasonlítása

A teljes őrlemény és liszt minták teljes arabinoxilán-tartalmának összehasonlításához az eredményeket a lisztek TOTAX-tartalma szerint növekvő sorrendbe rendeztem (23. ábra).

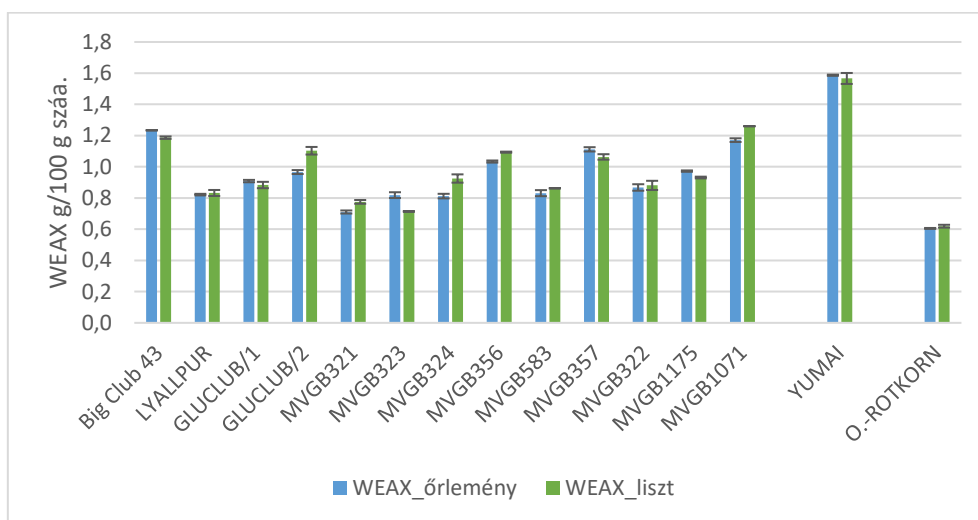


23. ábra: Teljes őrlemények és lisztek TOTAX-tartalma (a vad aestivum a lisztek TOTAX értékei szerint növekvő sorrendben)

Az eredményekből az látható, hogy a teljes őrlemények és a lisztek TOTAX-tartalma között nem azonosítható egyértelmű összefüggés. A lisztekben levő TOTAX mennyiség jelentősen alacsonyabb, mint a teljes őrleményekben. Ennek oka, hogy a vízdoldhatatlan arabinoxilánok, amelyek a szem arabinoxilán-tartalmának nagyobb részét teszik ki, elsősorban a mag külső rétegeiben fordulnak elő, ezért az őrlés során a korpafrakció elválasztásával a liszt az arabinoxilán-tartalmának jelentős részét elveszíti.

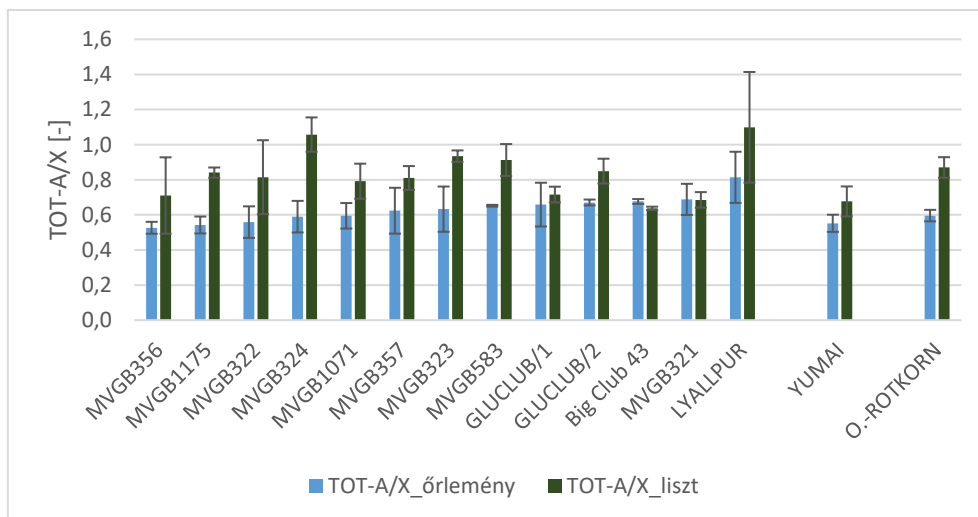
A teljes őrlemények és a lisztek vízdoldható arabinoxilán-tartalma jelentősen nem különbözik egymástól. Csak kisebb eltérések figyelhetők meg, amelyek nem egy irányba mutatnak. Ez

abból adódhat, hogy a lisztben és a korpában hasonló százalékban találhatók vízdoldható arabinoxilánok, így a héjrészek eltávolítása a vizsgált mintában levő WEAX arányát számottevően nem változtatja meg (24. ábra).



24. ábra: Teljes őrlemények és lisztek WEAX-tartalma

A teljes őrlemények és lisztek TOT-A/X arányain látható, hogy a liszt esetében többnyire magasabbak az értékek (25. ábra). Ennek lehetséges oka egyrészt, hogy a liszt TOTAX-tartalmának nagyobb hányadát teszik ki a magasabb szubsztituáltsági fokkal rendelkező vízdoldható arabinoxilánok, másrészt pedig az endospermében levő WUAX szubsztituáltsága eltérő lehet a héjrészekben találhatóétól. Tehát az eredményekből arra lehet következtetni, hogy a teljes őrlemények nagyobb arányban tartalmaznak kevésbé szubsztituált, vízben nem oldódó arabinoxilánokat. Az is megfigyelhető, hogy az lisztek esetében a TOT-A/X arányok tágabb intervallumban mozognak, mint a teljes őrleményeknél. Ebben a nagyobb változékonyságban esetlegesen szerepet játszhat az is, hogy az egyes fajtáknak eltérő őrési tulajdonságai lehetnek, ezért a lisztekbe kerülő különböző mennyiségű héjrészek, és a bennük levő más szubsztituáltsági fokú arabinoxilánok befolyásolhatják az eredményeket.



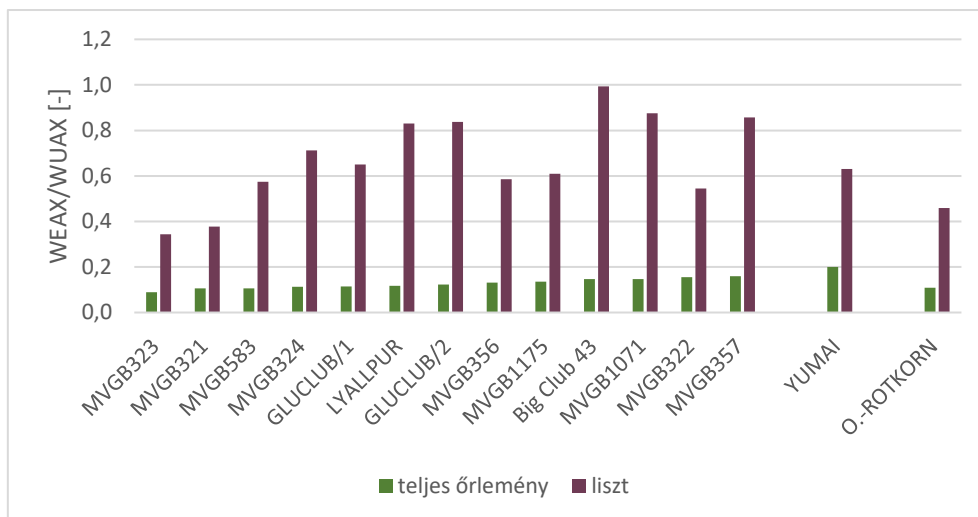
25. ábra: Teljes őrlmények és lisztek TOT-A/X aránya (vad aestivumok az őrlmények TOT-A/X értékek szerint növekvő sorrendben)

A teljes őrlmények és lisztek WEAX-tartalmának arabinóz-xilóz aránya hasonló értékeket vesz fel. Ebből arra lehet következtetni, hogy a magbelsőben és a héjrészekben található WEAX szubsztituáltsága nem különbözik jelentősen (26. ábra).



26. ábra: Teljes őrlmények és lisztek WE-A/X aránya

A teljes őrlmények és lisztek WEAX/WUAX arányait a lisztekhez tartozó értékek szerint növekvő sorrendbe rendeztem, ami a 27. ábra látható.



27. ábra: Teljes őrlemények és lisztek WEAX/WUAX aránya (vad aestivumok a lisztek értékei szerint növekvő sorrendben)

Megfigyelhető, hogy a WEAX/WUAX értékek nem azonos tendencia szerint változnak a teljes őrleményekben és a lisztekben. Mivel vízoldhatatlan arabinoxilánok nagy mennyiségben a mag külső rétegeiben találhatók, ebből arra lehet következtetni, hogy a lisztek TOTAX-tartalmát a fajtahatás mellett az őrlési tulajdonságok is befolyásolhatták. A szemkeménységtől függően az őrlés során a héjrészekből eltérő mennyiség kerülhet a lisztbe, ezért előfordulhat, hogy azonos malmi beállítások mellett a lisztmintákba különböző mennyiségű korpa került. Természetesen az értékek alakulásában az endospermében jelenlevő WUAX eltérő mennyisége is fontos tényező lehet. Különösen kiugró értékek az MVGB356, -1175 és -322 vonalak esetében láthatók.

## 4.2 Rövid láncú szénhidrátok vizsgálatának eredményei

A méréseim során a triszacharidok, diszacharidok, monoszacharidok és cukoralkoholok mennyiségét vizsgáltam a mintákban. A monoszacharidok közül sikerült kimutatni a glükózt, a fruktózt és a galaktózt. A galaktóz mennyisége nem érte el az alsó meghatározási határt, ezért az arra kapott eredményeket nem tudtam értékelni. A cukoralkoholok közül a mannitol és a szorbitol mennyisége a mintákban az alsó kimutatási határ alatt volt, azonban majdnem minden teljes őrleményben sikerült azonosítani egy harmadik csúcsot, ami a retenciós ideje alapján valószínűleg xilitol. Ennek a komponensnek a mennyiségi meghatározásához a mannitol kalibrációját használtam. A jövőben xilitol standard beszerzése után tervem pontos kalibrációt csinálni. Az egyes komponensekre vonatkozó kimutatási és meghatározási határok értékei a Függelékben találhatók (21. táblázat).

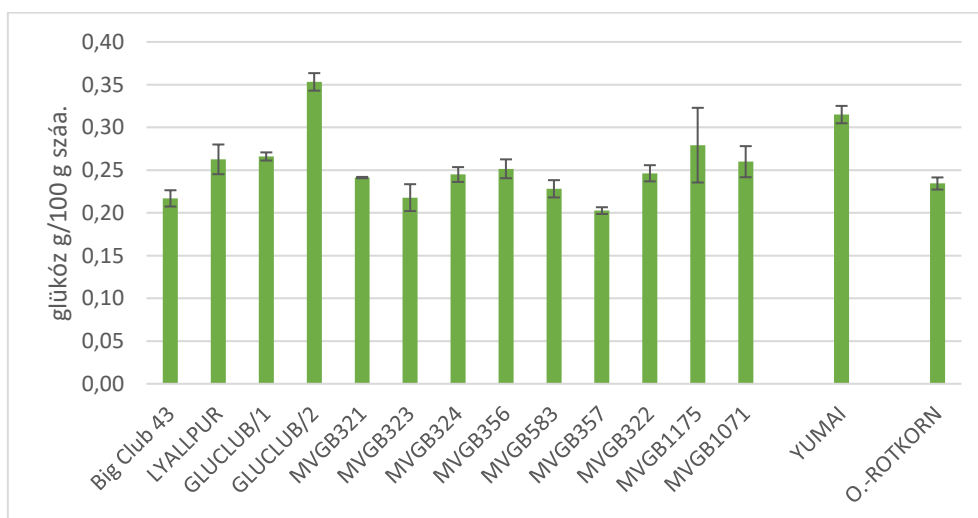
A triszacharidok és diszacharidok megfelelő összetételi vizsgálatához szükség lett volna kiegészítő mérésekre Carbohydrate oszloppal. Mivel ezt még technikai okokból nem tudtam

elvégezni, ezért a tri- és diszacharidok összetételéről egyelőre nincs információ. A jövőben célok ezeknek a méréseknek az elvégzése, és ezáltal a minták részletesebb vizsgálata a rövid láncú szénhidrát-összetétel szempontjából.

A mérések eredményeinél figyelembe kell venni, hogy a mono-, di- és triszacharidok értékei között lehet összefüggés. A kapott eredmények a szemtermésnek egy adott állapotának megfelelő rövid láncú szénhidrát-összetételt mutatják. Ezeknek a molekuláknak a mennyisége függ a szemtermésben lejátszódó biokémiai folyamatoktól, hiszen lebomlási termékként keletkezhetnek (pl. nagy  $\alpha$ -amiláz aktivitásnál), vagy éppen szintézisfolyamatokban nagyobb molekulák felépítésében vehetnek részt. Ezért az eredményeim erre vonatkozóan csak tájékoztató jellegűek, ahhoz hogy megállapítható legyen, hogy az összetétel mennyire stabil, több évjáraton keresztül, eltérő termesztési körülmények között is vizsgálni kellene a mintákat.

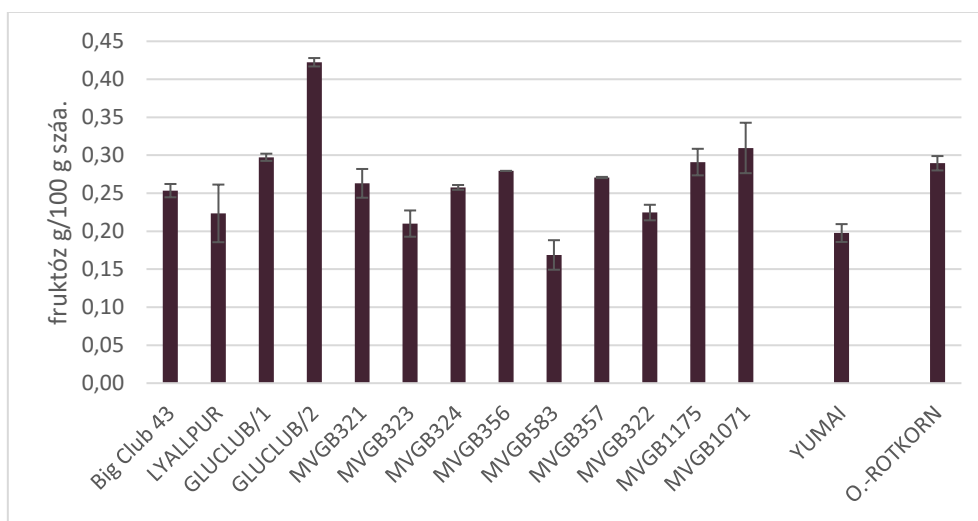
#### 4.2.1 Teljes őrlemény minták eredményei

A vad aestivum fajták teljes őrleményei közül a legalacsonyabb glükóztartalma a Big Club 43 (0,22%), a legmagasabb pedig a Gluclub/2 (0,35%) mintának van. A fajtajelöltek glükóztartalma 0,20% és 0,28% között mozog. Szakirodalmi adatok alapján a teljes kiőrlésű búzaliszt átlagos glükóztartalma 0,68%, ennél az én eredményeim minden esetben jelentősen alacsonyabbak (Schmidt et al., 2021). Az O.-Rotkorn a vad aestivumok átlagához hasonló mennyiségű glükózt tartalmaz (0,23%). A Yumai búza (0,31%) viszonylag nagy mennyiségű glükózt tartalmaz a vad aestivumokhoz képest, egyedül a Gluclub/2 vad aestivum mintában található több glükóz. Az egyes minták közötti eltérések nem jelentősek. Az eredmények a 28. ábra láthatók.



28. ábra: Teljes őrlemények glükóztartalma

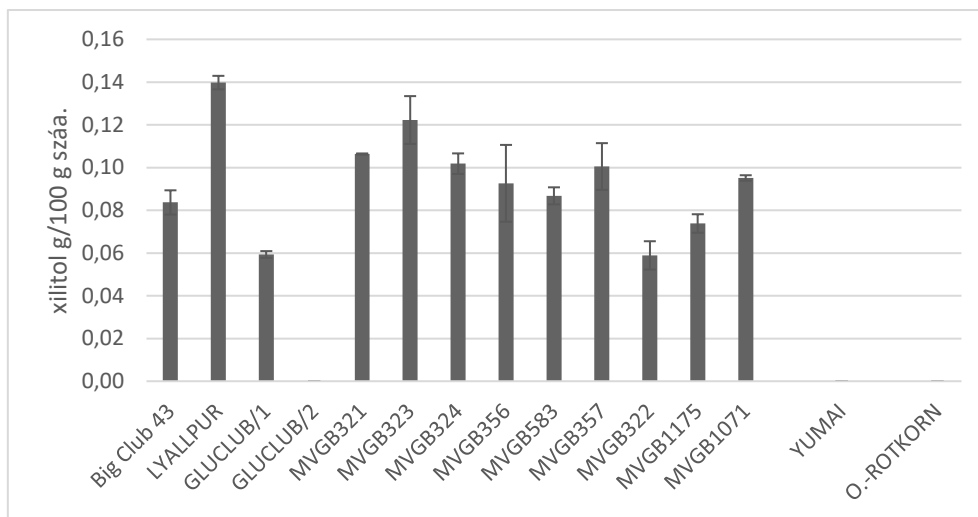
A vad aestivum fajták közül a legalacsonyabb fruktóztartalommal a Lyallpur (0,22%) rendelkezik. A legtöbb fruktóz a Gluclub/2 (0,42%) mintában van. A fajtajelöltek fruktóztartalma 0,17% és 0,31% közötti. Az eredményekből jól látszik, hogy több olyan fajtajelölt is van, amely a fajtákhoz képest alacsonyabb fruktóztartalommal bír. A Yumai búza fruktóztartalma (0,20%) alacsonyabb, mint a vad aestivumokban található átlagos mennyiség (0,27%), az O.-Rotkornban levő fruktóz-tartalom (0,29%) viszont meghaladja ezt az értéket. Az általam mért értékek egy vad aestivum vonal és a Yumai kivételével magasabbak a szakirodalomban talált átlagos fruktóztartalomnál (0,20%) (Schmidt et al., 2021). Az egyes minták eltérései fruktóztartalom szempontjából nem jelentősek (29. ábra).



29. ábra: Teljes őrlmények fruktóztartalma

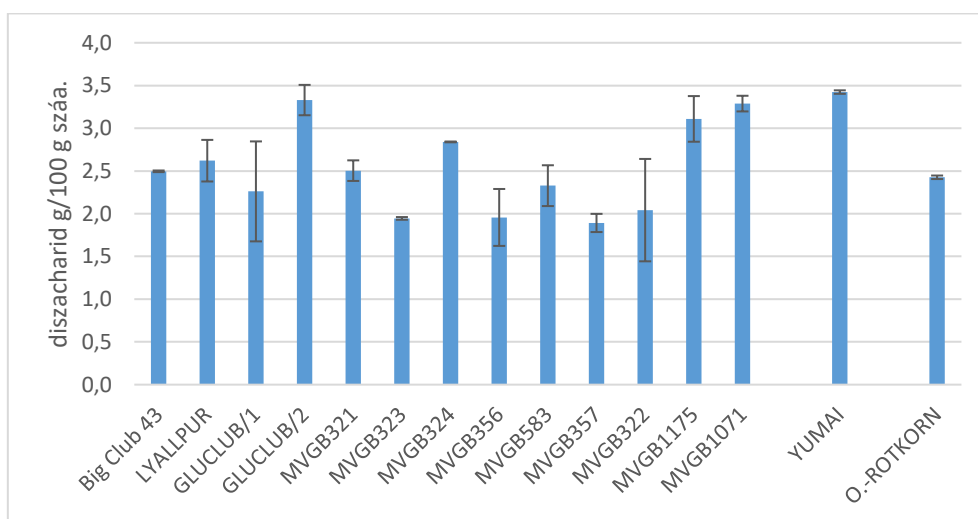
A vad aestivumok közül a Gluclub/2 kivételével mindegyik mintában található xilitol. A fajták közül a Lyallpur tartalmaz a legtöbb xilitolt (0,14%). A Yumai búzában és az O.-Rotkorn tönkölybúzában nem mutatható ki a xilitol jelenléte (30. ábra).

A Tukey teszt xilitoltartalom alapján 7 homológ csoportba sorolta a mintákat. A Lyallpur értéke szignifikánsan eltér az összes többitől. A legalacsonyabb xilitoltartalmú csoportba a Gluclub/1, az MVGB322 és -1175 minták tartoznak.



30. ábra: Teljes őrlmények xilitoltartalma

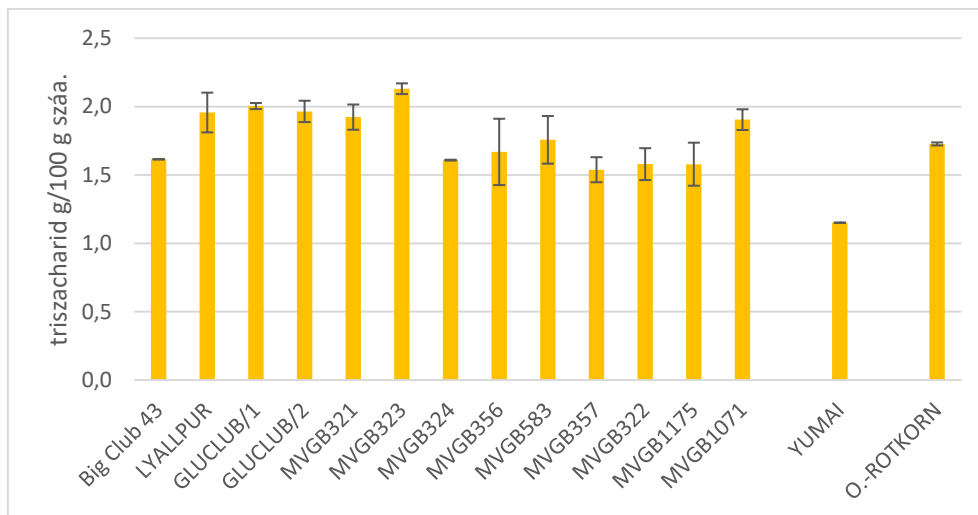
A vad aestivum fajták közül a legmagasabb a Gluclub/2 minta diszacharid-tartalma (3,33%), a legalacsonyabb érték pedig a Gluclub/1-hez (2,26%) tartozik. A fajtajelöltekben a diszacharidok mennyisége 1,89% és 3,29% közötti, tehát szélesebb tartományban mozognak, mint a fajták, és az is megfigyelhető, hogy több fajtajelölt rendelkezik a fajtáknál alacsonyabb diszacharid-tartalommal. Az összes minta közül a Yumaiban található a legtöbb diszacharid (3,42%). Az O.-Rotkorn diszacharid-tartalma 2,43 %. A minták között diszacharid-tartalom szempontjából nem lehet kitüntetett vonalat azonosítani (31. ábra).



31. ábra: Teljes őrlmények diszacharid-tartalma

A vad aestivum fajták közül a Big Club 43 triszacharid-tartalma (1,61%) a legalacsonyabb. A legnagyobb mennyiségű triszacharid a Gluclub/1 (2,00%) mintában található, de ehhez nagyon hasonló a Gluclub/2 és a Lyallpur minták értékei. A fajtajelöltek triszacharid-tartalma 1,53% és 2,13% között mozog. A legmagasabb érték az MVGB323 vonalhoz tartozik, és ez a többi

fajtajelölthöz képest kiemelkedően magas, alapvetően a fajtajelöltek többségének alacsonyabb a triszacharid-tartalma, mint a fajtáknak. Az összes minta közül a Yumai búza (1,15%) tartalmaz a legkevesebb triszacharidot. Az O.-Rotkorn triszacharid-tartalma (1,73%) a vad aestivum minták átlagához hasonló (32. ábra).

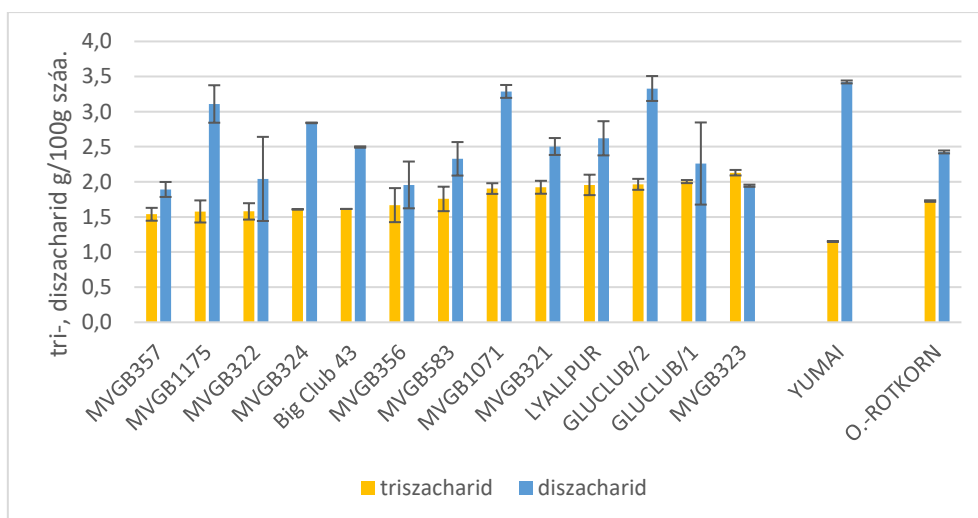


32. ábra: Teljes őrlmények triszacharid-tartalma

A Statistica a mintákat triszacharid-tartalom szerint 4 homológ csoportba sorolta. A legalacsonyabb triszacharid-tartalmú csoportba a Yumai, az MVGB322, -357 és -1175 vonalak tartoznak.

#### 4.2.1.1 A komponensek összehasonlítása és a köztük levő kapcsolat elemzése

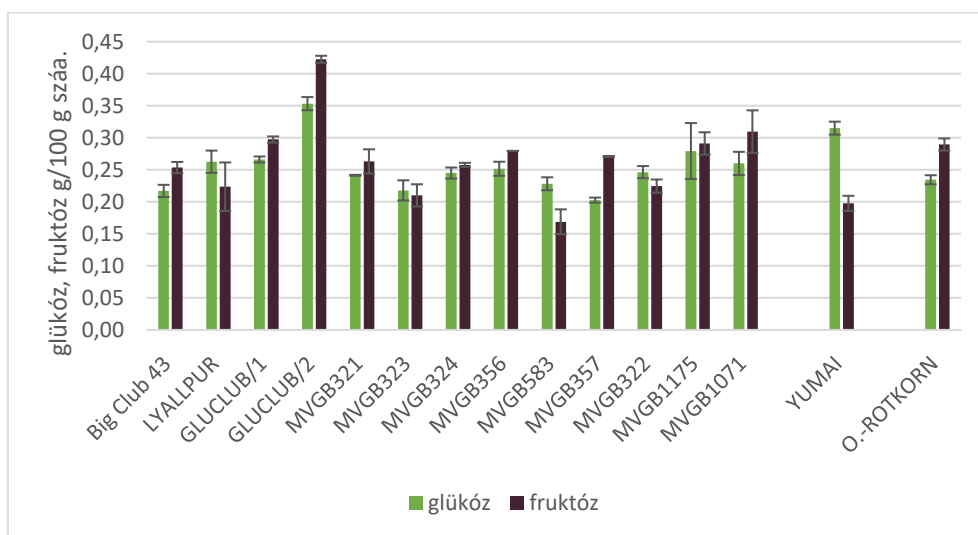
A tri- és diszacharidok mennyiségének összehasonlításához a mintákat növekvő diszacharid mennyiség szerint rendeztem sorba (33. ábra).



33. ábra: Teljes őrlmények tri- és diszacharid tartalma (vad aestivumok diszacharid mennyiség szerint növekvő sorrendben)

Az eredményekből az látszik, hogy a diszacharidok majdnem minden mintában nagyobb mennyiségben vannak jelen, mint a triszacharidok, valamint a diszacharidok esetében nagyobb a változékonyság. A diszacharidok mennyiségének változása nem követi a triszacharidokét.

A vizsgált mintáim közül a Yumai és a Lyallpur fajtákban, valamint három vad aestivum fajtajelöltben található több glükóz, mint fruktóz. A többi mintánál, köztük az O.-Rotkorn tönkölybúzánál, a fruktóz van nagyobb mennyiségben jelen (34. ábra).



34. ábra: Teljes őrlmények glükóz- és fruktóztartalma

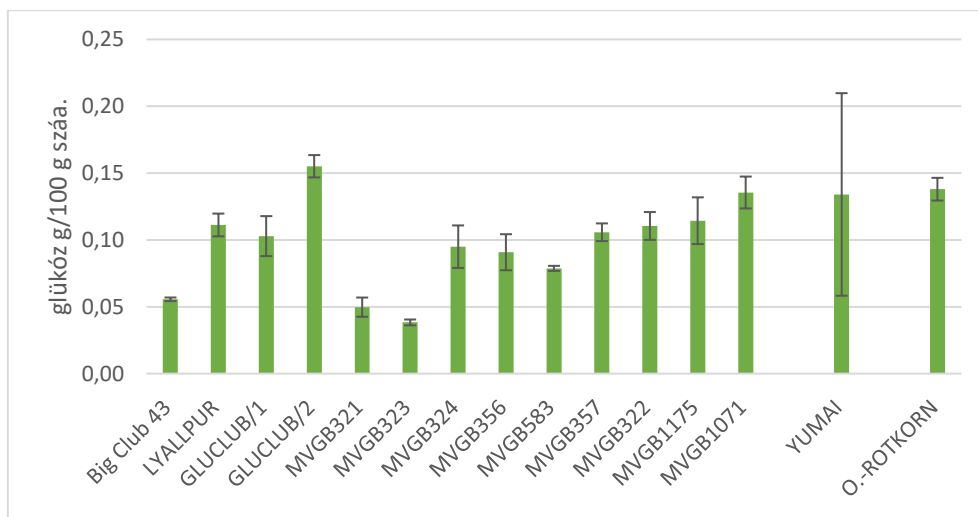
Megfigyelhető, hogy a tri- és diszacharid, valamint a glükóz, fruktóz összehasonlítás esetében is a Yumai mutatja a legnagyobb eltérést a két komponens között. Ennek az okára nem áll rendelkezésre az információ az irodalomban, valamint további mérések szükségesek ennek alátámasztására. Amennyiben ez valóban fajtajellemző, érdemes lenne kutatást végezni az eltérések okára és táplálkozástani hatására vonatkozóan.

#### 4.2.2 Liszt minták eredményei

A lisztmintákban mért szacharidok mennyisége nagyon alacsony, ezért elképzelhető, hogy táplálkozástani szempontból a köztük jelentkező eltéréseknek nincs hatása. Ennek ellenére meghatározásuk mégis fontos, mivel későbbi vizsgálatok alapjául szolgálhat, illetve más komponensek vizsgálata esetében is az eredményeket szükséges lehet összehasonlítani az egyes mintákban szabadon megtalálható szacharidok mennyiségével.

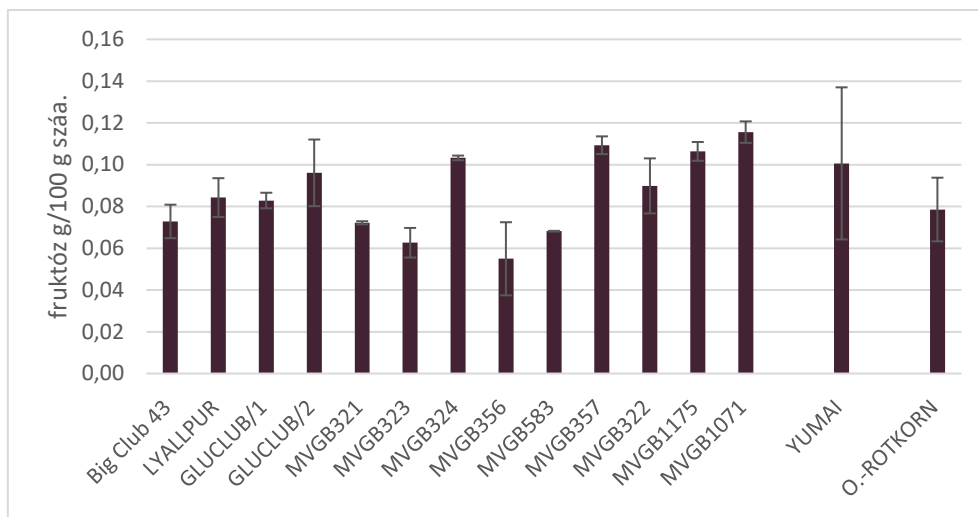
A vad aestivumok közül a legkevesebb glükózt a Big Club 43 (0,06%), a legtöbbet pedig a Gluclub/2 (0,16%) minta tartalmazza. A fajtajelöltek glükóztartalma 0,04% és 0,14% között van. A Yumai búza (0,13%) és az O.-Rotkorn (0,14%) tönkölybúza glükóztartalma hasonló, a

vad aestivumok átlagos értékénél (0,10%) magasabb. Szakirodalmi adat alapján a fehérliszt átlagos glükóztartalma 0,21%, az én adataim ennél nagyságrendileg alacsonyabbak (Schmidt et al., 2021). A Yumai értékéhez tartozó szórás nagysága miatt ez az eredmény nem megbízható. A Statistica a mintákat 4 homológ csoportba sorolta, az MVGB323 vonal szignifikánsan különbözik a Gluclub/2 mintától (35. ábra).



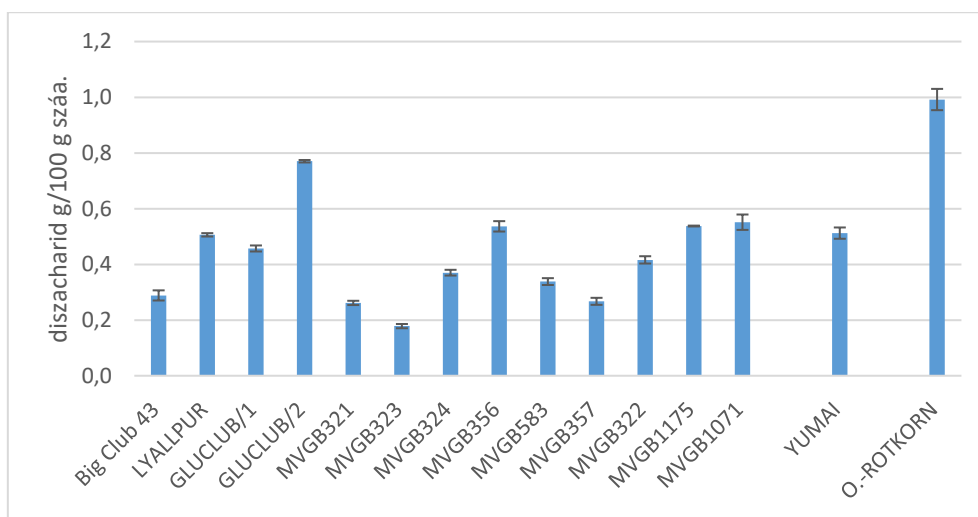
35. ábra: Lisztek glükóztartalma

A vad aestivum fajták közül a legalacsonyabb fruktóztartalommal a Big Club 43 (0,07%), a legmagasabbal pedig a Gluclub/2 (0,10%) minta rendelkezik. A fajtajelöltek fruktóztartalma 0,05% és 0,12% közötti. Megállapítható, hogy több olyan fajtajelölt is van, amelynek a fajtákhoz képest alacsonyabb a fruktóztartalma. A Yumai búza fruktóztartalma (0,10%) magasabb, mint a vad aestivumokban található átlagos mennyiség, de a nagy szórás miatt nem megbízható az eredmény. Az O.-Rotkornban levő fruktóztartalom (0,08%) a vad aestivumok átlagához hasonló. Az irodalomban talált adatok alapján a fehérliszt átlagos fruktóztartalma 0,11%, az általam kapott eredmények a legtöbb esetben ennél alacsonyabbak. A Statistica a mintákat 4 homológ csoportba sorolta, az MVGB356 és- 1071 vonalak közötti eltérés szignifikáns (36. ábra).



36. ábra: Lisztek fruktóztartalma

A vad aestivum fajták közül a legkevesebb diszacharidot a Big Club 43 (0,29%), a legtöbbet a Gluclub/2 minta (0,77%) tartalmazza. A fajtajelöltekben a diszacharidok mennyisége 0,18% és 0,55% közötti, és több fajtajelölt rendelkezik a fajtáknál alacsonyabb diszacharid-tartalommal. Az összes minta közül az O.-Rotkornban található a legtöbb diszacharid (0,99%), az értéke szignifikánsan különbözik a többi mintáétól. A Yumai diszacharid-tartalma (0,51%) átlagos a vad aestivumokhoz képest (37. ábra).

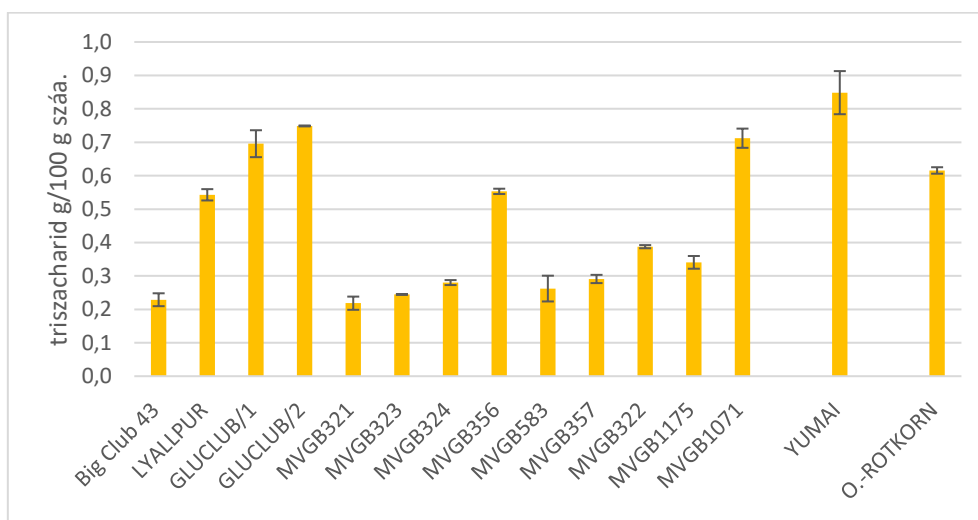


37. ábra: Lisztek diszacharid-tartalma

A Statisztika szoftver a mintákat diszacharid-tartalom szempontjából 10 homológ csoportba sorolta. Az O.-Rotkorn, a Gluclub/2 és az MVGB323 minták szignifikánsan eltérnek egymástól és a többi mintától.

A legalacsonyabb triszacharid-tartalmú vad aestivum fajta a Big Club 43 (0,23%), a legmagasabb érték pedig a Gluclub/2 (0,75%) mintához tartozik. A fajtajelöltek értékei 0,22%

és 0,71% között mozognak. Megállapítható, hogy a fajtajelöltek átlagos triszacharid-tartalma (0,36%) alacsonyabb, mint a fajtáké (0,55%). Az összes minta közül a Yumai triszacharid-tartalma (0,85%) a legmagasabb (38. ábra).

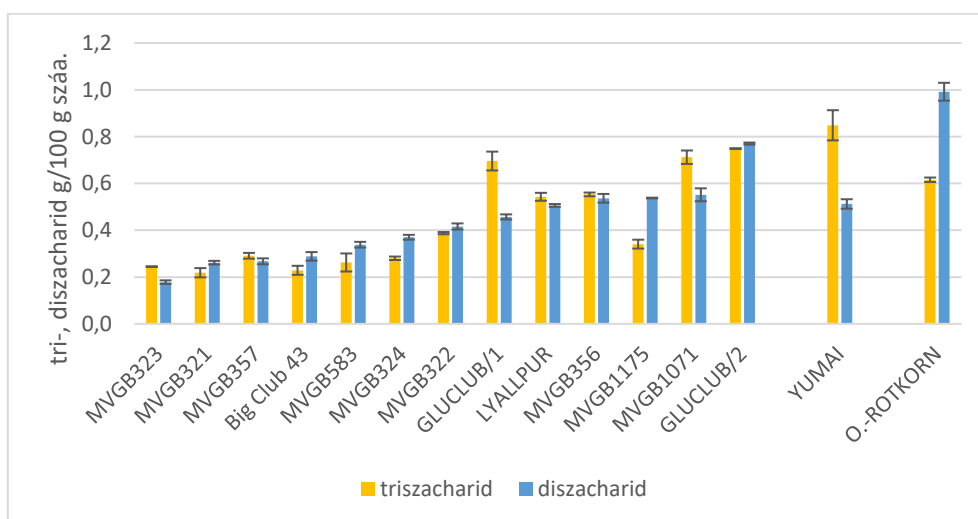


38. ábra: Lisztek triszacharid-tartalma

A Tukey teszt szerint a minták 7 homológ csoportba sorolhatók, a legmagasabb értékekkel rendelkező csoportba a Yumai és a Gluclub/2 minták tartoznak.

#### 4.2.2.1 A komponensek összehasonlítása és a köztük levő kapcsolat elemzése

A tri- és diszacharidok összehasonlításához a vad aestivum mintákat a diszacharidok növekvő mennyisége szerint rendeztem sorba (39. ábra).

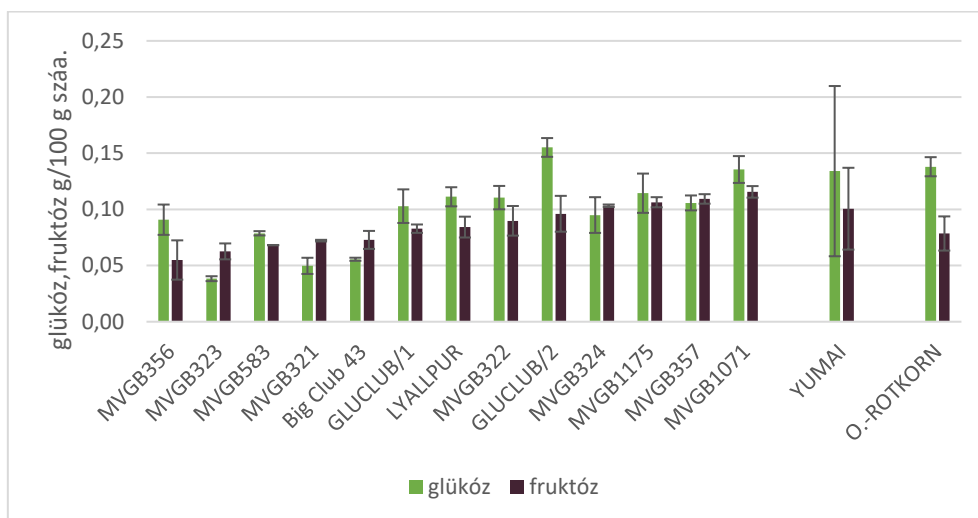


39. ábra: Lisztek tri- és diszacharid-tartalma (vad aestivumok a diszacharid-tartalom szerint növekvő sorrendben)

Az eredményekből látható, hogy a teljes őrleményekkel ellentétben a lisztminták esetében, két kiugró érték kivételével, megfigyelhető tendencia a tri- és diszacharidok mennyisége között. A magasabb diszacharid-tartalmú mintáknál nagyobb triszacharid-tartalom jellemző. Az is

megfigyelhető, hogy a tri- és diszacharidok hasonló mennyiségben vannak jelen az egyes mintákban, a kisebb eltérések nem egy irányba mutatnak, valahol a diszacharidok, máshol a triszacharidok vannak többségben.

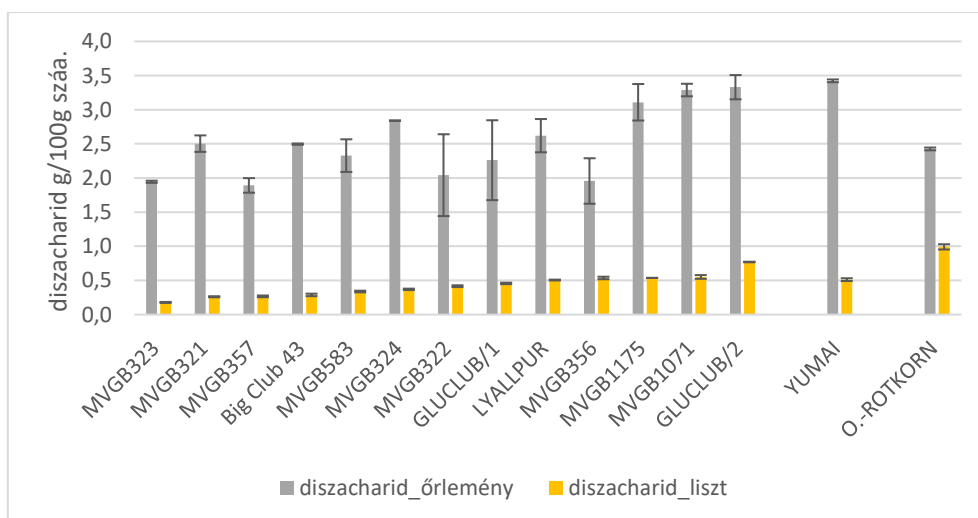
A lisztek glükóz és fruktóz tartalmának összehasonlításakor az figyelhető meg, hogy a vad aestivum minták többségénél a glükóz van nagyobb mennyiségben jelen. A vad aestivum fajták közül egyedül a Big Club 43 lisztjében van több fruktóz, mint glükóz. A Yumai és az O.-Rotkorn fajtákban a glükózból található nagyobb mennyiség (40. ábra).



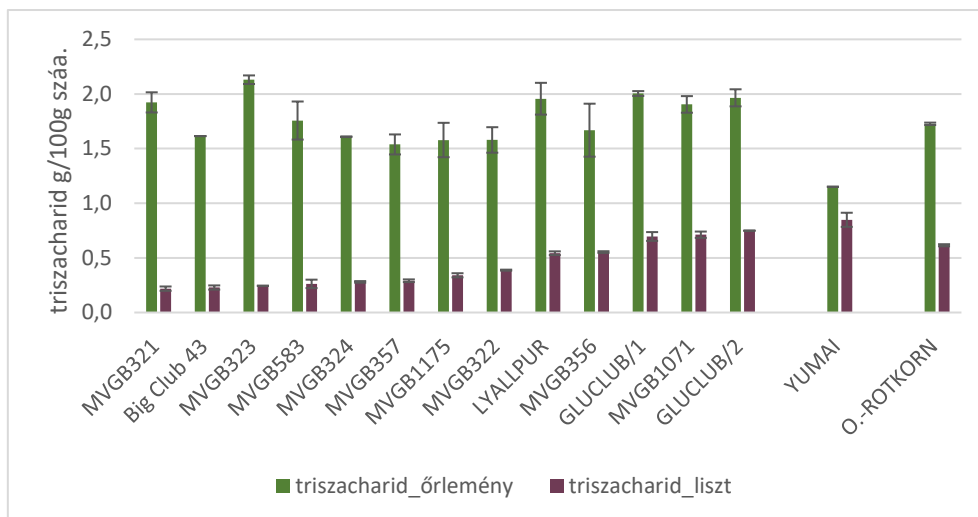
40. ábra: Lisztek glükóz- és fruktóztartalma (vad aestivumok a fruktózmennyiség szerint növekvő sorrendben)

#### 4.2.3 Teljes őrlemények és lisztek összehasonlítása

A teljes őrlemények és lisztek diszacharid és triszacharid mennyiségére kapott értékeit a lisztek szacharid-tartalma szerint növekvő sorrendbe rendeztem (41. ábra és 42. ábra ).



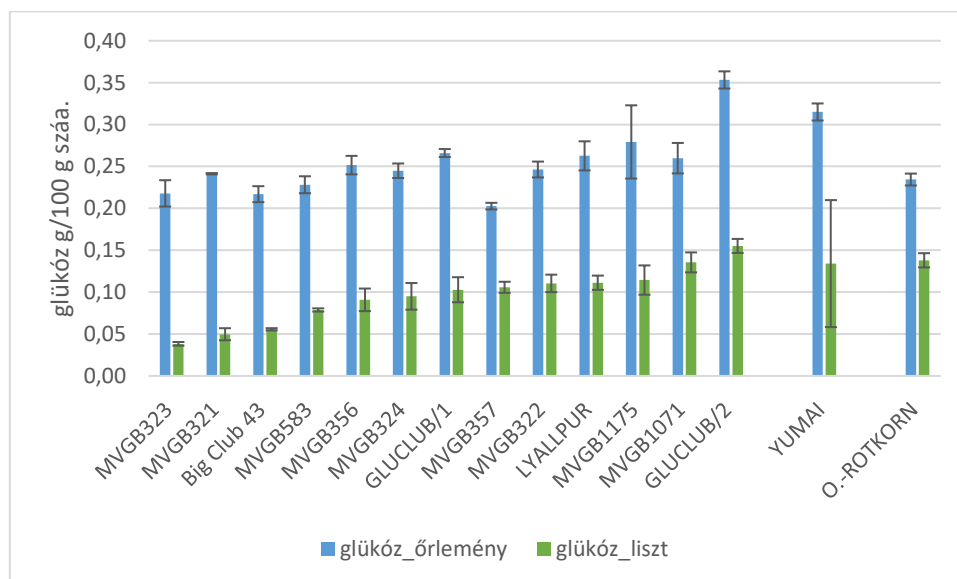
41. ábra: Teljes őrlemények és lisztek diszacharid-tartalma (vad aestivumok a lisztek diszacharid-tartalma szerint növekvő sorrendben)



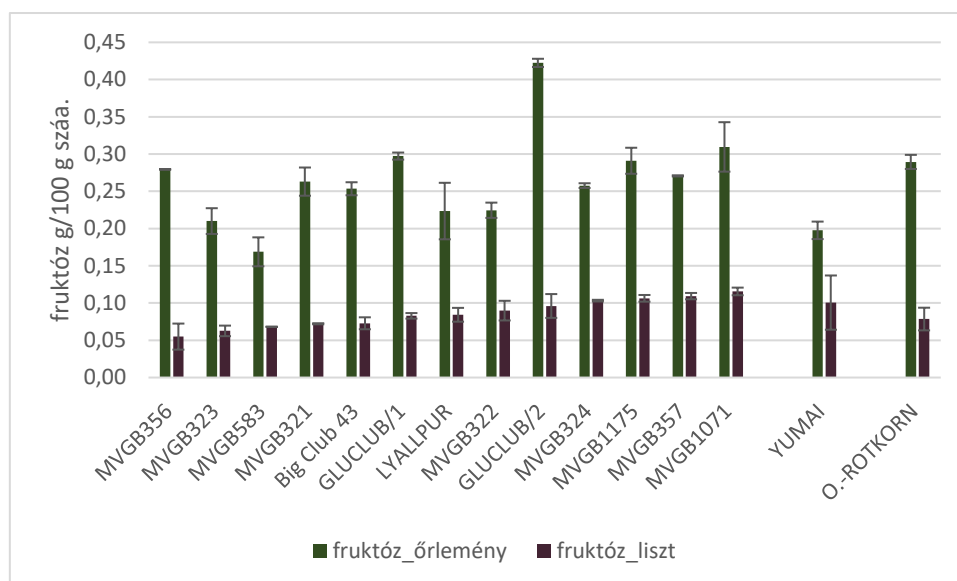
42. ábra: Teljes őrlemények és lisztek triszacharid-tartalma  
(vad aestivumok a lisztek triszacharid-tartalma szerint növekvő sorrendben)

Az eredményekből látható, hogy a teljes őrlemények triszacharidból és diszacharidból is jelentősen nagyobb mennyiséget tartalmaznak, mint a lisztek.

A teljes őrlemények és lisztek glükóz- és fruktóztartalmát a lisztekben levő glükóz, illetve fruktóz mennyisége szerint rendeztem növekvő sorrendbe (43. ábra és 44. ábra).



43. ábra: Teljes őrlemények és lisztek glükóztartalma (vad aestivumok a lisztek glükóztartalma szerint növekvő sorrendben)



44. ábra: Teljes őrlmények és lisztek fruktóztartalma (vad aestivumok a lisztek fruktóztartalma szerint növekvő sorrendben)

A teljes őrlmények glükóz- és fruktóztartalma is jelentősen magasabb, mint a liszteké. Megfigyelhető, hogy a glükóz esetében a teljes őrlményben és a lisztben levő mennyiség hasonló tendencia szerint változik, ezzel szemben a fruktóznál ilyen jellegű összefüggés nincs. A fruktóz esetében az egyes teljes őrlmények értékei között a változékonyság is nagyobb.

### 4.3 Arabinoxilán-tartalom és rövid láncú szénhidrát-összetétel összehasonlítása

Glucub két mintája arabinoxilán-tulajdonságok szempontjából nem tértek el jelentősen, viszont rövid láncú szénhidrát-összetétel szempontjából különböznek. Ebből arra lehet következtetni, hogy az arabinoxilán-tartalmat a genetika jobban meghatározza, mint a rövid láncú szénhidrát-összetételt. Az eredményeket a szem állapota, az évjárat, az aratás időpontja, a környezet és a termesztési paraméterek is nagy mértékben befolyásolhatják. Annak megállapítására, hogy a mért adatok mennyire genetikailag meghatározottak (fajtajellemzők), vagy a külső körülmények hatása nagyobb, további mérések szükségesek.

A teljes őrlmények, illetve a lisztek egyes paraméterei közötti összefüggések vizsgálatához korrelációanalízist végeztem. Az eredményeket a 15. táblázat és a 16. táblázat tartalmazza, pirossal jelöltem, ahol az analízis szerint van korreláció. Ez az elemzés jelen mérések esetében csak a tendenciák alátámasztására alkalmas, mivel a paraméterek között nem egyértelmű, hogy ha van összefüggés, akkor az lineáris. A WEAX és a WE-A/X értékek között a teljes őrlmények és a lisztek esetében is erős korreláció figyelhető meg. A lisztmintáknál a rövid láncú szénhidrátok között is van olyan eredmény, amely erős korrelációnak látszik az elemzés alapján, azonban mivel ezek a komponensek erősen függenek a szem állapotától és a környezeti hatásoktól, ezért ez megtévesztő lehet.

|                  | TOTA    | TOT-A/X | WEAX    | WE-A/X  | Triszach | Diszach | Glü.   | Gal.   | Frukt.  | Xilitol |
|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|--------|--------|---------|---------|
| <b>TOTAX</b>     | 1,0000  |         |         |         |          |         |        |        |         |         |
| <b>TOT-A/X</b>   | 0,1627  | 1,0000  |         |         |          |         |        |        |         |         |
| <b>WEAX</b>      | 0,3979  | -0,1718 | 1,0000  |         |          |         |        |        |         |         |
| <b>WE-A/X</b>    | -0,2080 | 0,3207  | -0,8258 | 1,0000  |          |         |        |        |         |         |
| <b>Triszach.</b> | 0,3159  | 0,3031  | -0,3608 | 0,4360  | 1,0000   |         |        |        |         |         |
| <b>Diszach.</b>  | 0,0445  | -0,2909 | 0,1548  | 0,1018  | 0,0155   | 1,0000  |        |        |         |         |
| <b>Glü.</b>      | -0,1503 | -0,0877 | -0,1150 | 0,2413  | 0,3246   | 0,3817  | 1,0000 |        |         |         |
| <b>Gal.</b>      | 0,2288  | 0,0493  | 0,2967  | -0,0707 | -0,0111  | 0,0102  | 0,1640 | 1,0000 |         |         |
| <b>Frukt.</b>    | 0,0842  | 0,0199  | 0,3877  | -0,3397 | 0,0363   | 0,1438  | 0,4858 | 0,5874 | 1,0000  |         |
| <b>Xilitol</b>   | 0,1133  | 0,3563  | -0,2446 | 0,4587  | 0,4080   | -0,1495 | 0,0597 | 0,1644 | -0,0156 | 1,0000  |

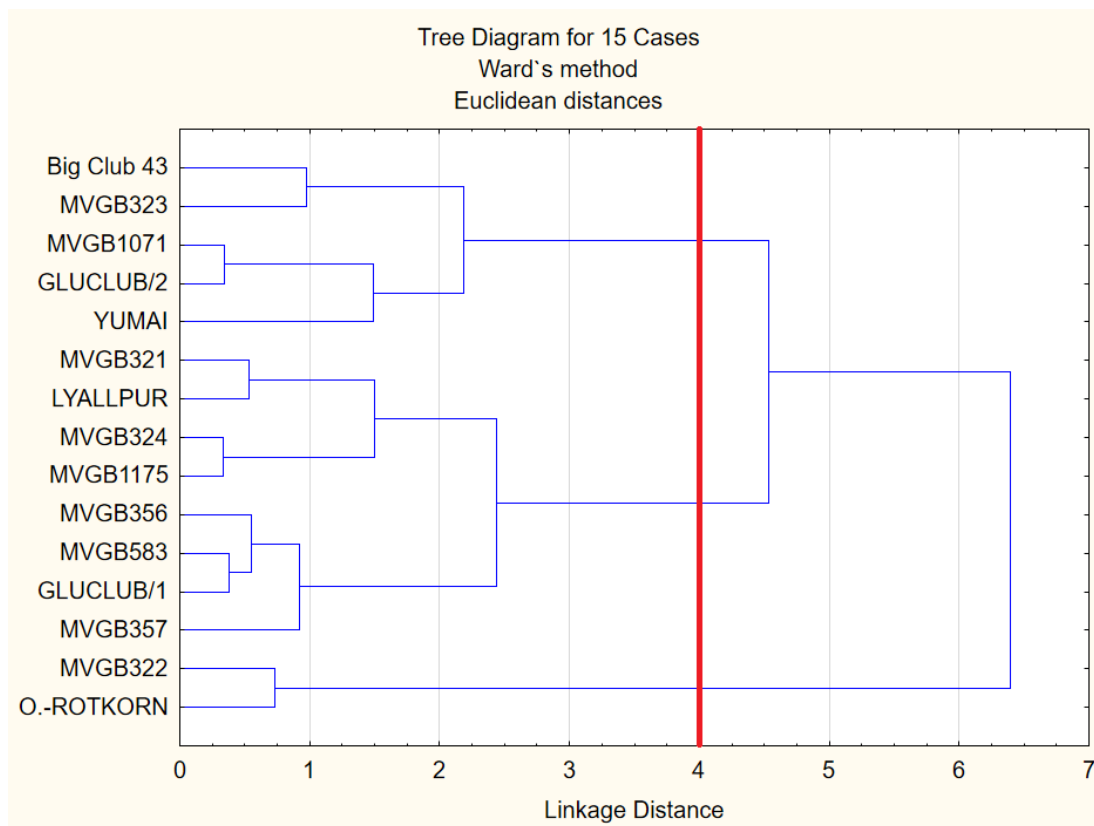
15. táblázat: Teljes őrlmények paramétereinek közötti korreláció

|                  | TOTAX   | TOT-A/X | WEAX    | WE-A/X  | Triszach. | Diszach. | Glü.   | Gal.   | Frukt. |
|------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|----------|--------|--------|--------|
| <b>TOTAX</b>     | 1,0000  |         |         |         |           |          |        |        |        |
| <b>TOT-A/X</b>   | -0,4767 | 1,0000  |         |         |           |          |        |        |        |
| <b>WEAX</b>      | 0,6093  | -0,3987 | 1,0000  |         |           |          |        |        |        |
| <b>WE-A/X</b>    | -0,5928 | 0,5278  | -0,8913 | 1,0000  |           |          |        |        |        |
| <b>Triszach.</b> | 0,2512  | -0,1416 | 0,4657  | -0,2138 | 1,0000    |          |        |        |        |
| <b>Diszach.</b>  | -0,1540 | 0,0583  | -0,0168 | 0,2549  | 0,6857    | 1,0000   |        |        |        |
| <b>Glük.</b>     | -0,1086 | 0,0833  | 0,2971  | -0,0921 | 0,7322    | 0,7310   | 1,0000 |        |        |
| <b>Gal.</b>      | -0,0297 | 0,0117  | 0,2885  | -0,1349 | 0,4891    | 0,4184   | 0,7665 | 1,0000 |        |
| <b>Frukt.</b>    | -0,0045 | 0,0618  | 0,3634  | -0,2707 | 0,2750    | 0,1622   | 0,6626 | 0,5843 | 1,0000 |

16. táblázat: Lisztek paramétereinek közötti korreláció

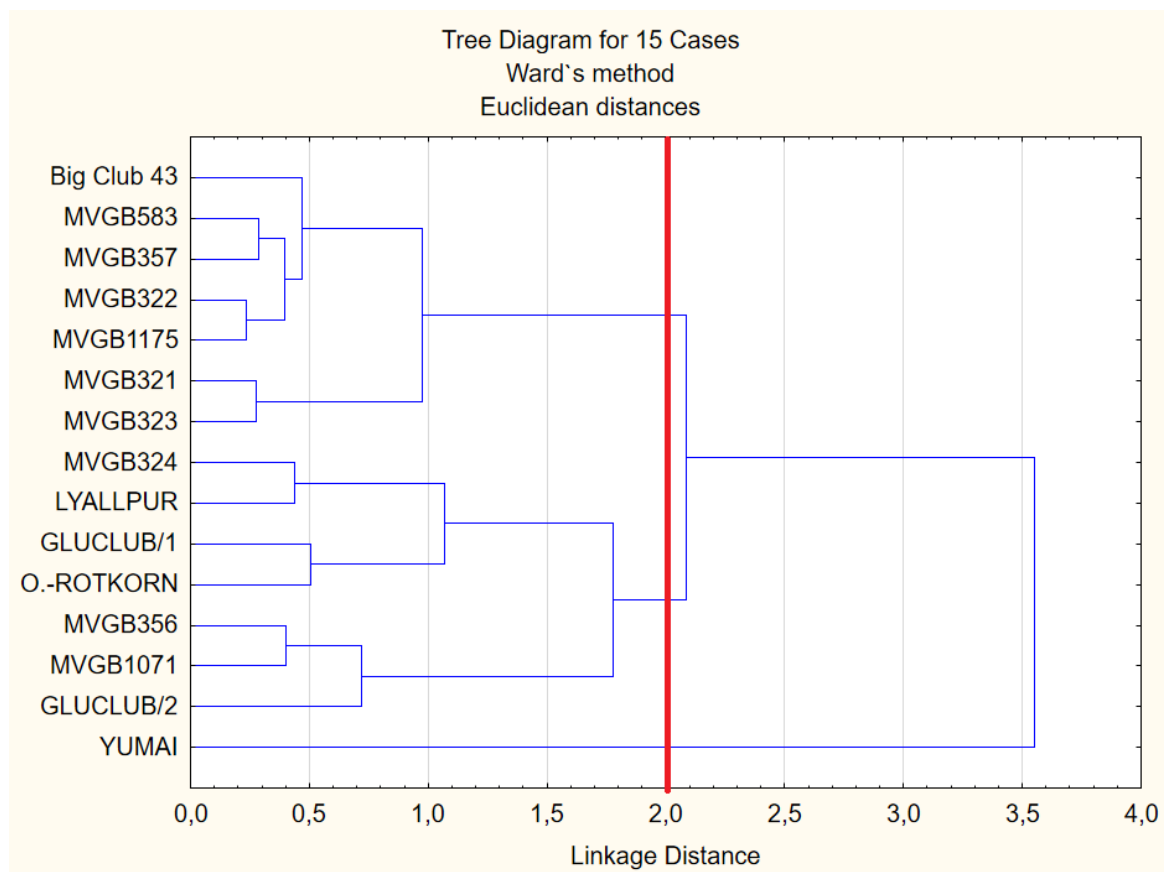
A teljes őrlmények és lisztek eredményeinek elemzésekor figyelembe kell venni, hogy bár a teljes őrlmények magasabb arabinoxilán-tartalommal rendelkeznek, ami az emberi szervezetre kedvező hatással lehet, rövid láncú szénhidrátokból is nagyobb mennyiséget tartalmaznak, amik az arra érzékeny fogyasztóknál egészségügyi problémákat okozhatnak. A fruktózt mint FODMAP-komponenst vizsgálva a TOTAX eredményekkel sem a teljes őrlmények, sem a lisztek esetében nem láttunk tendenciát, a korrelációanalízis sem mutatott szignifikáns összefüggést, ahogy WEAX értékekkel való összehasonlításnál sem. Táplálkozástani szempontból azok a fajták lehetnek a legelőnyösebbek, amelyek viszonylag magas rosttartalom mellett alacsony fruktóztartalommal bírnak. Ilyen megfontolás alapján a vad aestivumok közül kitüntetett fajta lehet a Big Club 43 a WEAX értékekre vonatkozóan. A szakirodalom szerint olyan ételek fogyasztása ajánlott, amelyek 100 g-ban kevesebb mint 0,5 g szabad fruktózt tartalmaznak (Fedewa et al., 2014). A vizsgált mintáim mindegyike ennél kevesebb fruktózt tartalmaz.

A mért paraméterek eredményeivel hierarchikus klaszteranalízist végeztem. A teljes örlemények, illetve a lisztek eredményeit a 45. ábra és 46. ábra szemlélteti.



45. ábra: Hierarchikus klaszteranalízis teljes örleményekre

A teljes örleményeknél a kapcsolatok közötti távolságot 4-nek választottam meg, mert a diagramon látható, hogy itt van nagy váltás, az így kapott 3 csoport tulajdonságaikban hasonlóak. Az O.-Rotkorn és az MVGB322 nagyon eltér a másik két csoporttól, mindkét mintára jellemző volt az alacsony TOTAX-tartalom. Érdekesség, hogy a Gluclub/1 és a Gluclub/2 két külön csoportba esik. A Yumai egy csoportba tartozik a Gluclub/2 és a Big Club 43 fajtákkal, valamint 2 fajtajelölttel.



46. ábra: Hierarchikus klaszteranalízis lisztekre

A lisztek esetében a kapcsolatok közötti távolságot 2-nek választottam. A Yumai búza egyedül alkot egy nagyon eltérő csoportot a másik kettőtől, ez valószínűleg arabinoxilán-tulajdonságok alapján van. Az O.-Rotkorn egy csoportba került a két Gluclub mintával és a Lyallpurral.

## 5 Összefoglaló

A kutatásom célja vad aestivum fajták és fajtajelöltek arabinoxilán- és rövid láncú szénhidrát-összetételének összehasonlító vizsgálata volt. Összesen 13 vad aestivum mintával dolgoztam, 3 fajtát és 9 fajtajelöltet vizsgáltam, a Gluclub fajtából pedig két minta állt rendelkezésre. Az arabinoxilán-tartalmat gázkromatográfiás módszerrel mértem. A rövid láncú szénhidrát-összetételt folyadékkromatográfiás módszerrel vizsgáltam. Az oligomerek összetételének meghatározásához még egy kiegészítő mérés is szükséges, amit egyelőre technikai okokból nem tudtam elvégezni. A vad aestivum mintákra kapott eredményeket összehasonlítottam a Yumai búza- és az Oberkulmer-Rotkorn tönkölybúza fajtákkal.

Az eredményeim azt mutatják, hogy vad aestivum fajták és fajtajelöltek között arabinoxilán-tartalom és rövid láncú szénhidrát-összetétel tekintetében is van változékonyság. A vad aestivum minták arabinoxilán-tartalom szempontjából a közönséges búzához hasonlóak, az irodalmi adatok felső hányadába esnek. A vad aestivum lisztekben az arabinoxilánok nagyobb szubsztituáltsági fokkal rendelkeznek, mint a búzafajták átlagos értéke. A vad aestivumok rövid láncú szénhidrát-összetételére kapott adatok is összemérhetőek a közönséges búzáéval. A teljes őrlményekben sikerült kimutatni a xilitol jelenlétét, ez sem a közönséges búzára, sem a tönkölybúzára nem volt jellemző. A Gluclub két mintáját összehasonlítva az figyelhető meg, hogy arabinoxilán-tulajdonságok tekintetében kevés a különbség, viszont a rövid láncú szénhidrát-összetétel szempontjából jelentősebb eltérések láthatók. Ez alapján feltehető, hogy az arabinoxilán-tartalom genetikailag jobban meghatározott, mint a rövid láncú szénhidrátok mennyisége. Az utóbbi paraméter nagyban függ a szem pillanatnyi állapotától, az enzimátikus működéstől, az aratás időpontjától és egyéb környezeti tényezőktől. Emiatt ezek a mérések csak tájékoztató jellegűek, a vad aestivum fajták és fajtajelöltek pontosabb megismeréséhez további mérések szükségesek.

A vad aestivumokban a rövid láncú szénhidrátok és a rostalkotó komponensek együttes vizsgálatára nem található szakirodalom. Kutatásom célja a kezdeti mérések egy részének elvégzése, ami lehetőséget teremt a későbbiekben ezen tulajdonságok átfogóbb vizsgálatára. A táplálkozástani érték meghatározásához elengedhetetlen a vizsgált vad aestivum fajták és fajtajelöltek más rostösszetevőit, fehérje-, illetve lipidtartalmát és a vitaminok, ásványi anyagok mennyiségét is megvizsgálni. A legkedvezőbb tulajdonságokkal rendelkező fajták a jövőben felhasználhatók lehetnek nemesítési célra.

## 6 Irodalomjegyzék

- Abdel-Aal, E. S. M., & Rabalski, I. (2008). Effect of baking on nutritional properties of starch in organic spelt whole grain products. *Food Chemistry*, 111(1), 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.050>
- Andersson, A. A., Andersson, R., Piironen, V., Lampi, A. M., Nyström, L., Boros, D., ... & Åman, P. (2013). Contents of dietary fibre components and their relation to associated bioactive components in whole grain wheat samples from the HEALTHGRAIN diversity screen. *Food chemistry*, 136(3-4), 1243-1248. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.074>
- Antal, J. (2005). Növénytermesztés tan 1. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Arendt, E. K., & Zannini, E. (2013). Wheat and other Triticum grains. In *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*. <https://doi.org/10.1533/9780857098924.1>
- Arvidsson-Lenner, R., Asp, N. G., Axelsen, M., Bryngelsson, S., Haapa, E., Järvi, A., ... & Vessby, B. (2004). Glycaemic index. *Scandinavian Journal of Nutrition*, 48(2), 84-94. <https://doi.org/10.1080/11026480410033999>
- Asp, N. G., & Björck, I. (1992). Resistant starch. *Trends in Food Science & Technology*, 3, 111-114. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(92\)90153-N](https://doi.org/10.1016/0924-2244(92)90153-N)
- Bálint, A. F., Kovács, G., & Sutka, J. (2000). Origin and taxonomy of wheat in the light of recent research. *Acta Agronomica Hungarica*, 48(3), 301-313. <https://doi.org/10.1556/AAgr.48.2000.3.11>
- Barrett, J. S., Muir, J. G., & Gibson, P. R. (2010). Prebiotics and probiotics. *Medicine Today*, 11(12), 75–76. <https://doi.org/10.1533/9781845696078.113>
- Barron, C., Surget, A., & Rouau, X. (2007). Relative amounts of tissues in mature wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition. *Journal of Cereal Science*, 45(1), 88-96. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.07.004>
- Bayles, B. B., & Clark, J. A. (1954). *Classification of wheat varieties grown in the United States in 1949* (No. 1083). US Department of Agriculture.
- Belderok, B., Mesdag, J., Mesdag, H., & Donner, D. A. (2000). Bread-making quality of wheat: a century of breeding in Europe. Springer Science & Business Media.
- Bucsella, B. (2017). Búza aleuron rétegben gazdag malomipari őrlemény komplex reológiai jellemzése és hőkezelési eljárások hatásának vizsgálata

- Brewster, C., Hayes, F., & Fenner, N. (2019). Ozone tolerance found in *Aegilops tauschii* and primary synthetic hexaploid wheat. *Plants*, 8(7), 195. <https://doi.org/10.3390/plants8070195>
- Calvert, P. (1997). The structure of starch. *Nature*, 389(6649), 338-339. <https://www.nature.com/articles/38627>
- Cheng, X., Xin, M., Xu, R., Chen, Z., Cai, W., Chai, L., ... & Sun, Q. (2020). A single amino acid substitution in STKc\_GSK3 kinase conferring semispherical grains and its implications for the origin of *Triticum sphaerococcum*. *The Plant Cell*, 32(4), 923-934. <https://doi.org/10.1105/tpc.19.00580>
- Cummings, J. H., & Stephen, A. M. (2007). Carbohydrate terminology and classification. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61, S5–S18. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602936>
- Csapó, J., & Csapóné Kiss, Z. (2003). Élelmiszer - kémia. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Dornez, E., Gebruers, K., Joye, I. J., De Ketelaere, B., Lenartz, J., Massaux, C., ... & Courtin, C. M. (2008). Effects of genotype, harvest year and genotype-by-harvest year interactions on arabinoxylan, endoxylanase activity and endoxylanase inhibitor levels in wheat kernels. *Journal of Cereal Science*, 47(2), 180-189. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.03.008>
- Fedewa, A., & Rao, S. S. (2014). Dietary fructose intolerance, fructan intolerance and FODMAPs. *Current gastroenterology reports*, 16(1), 1-8. [10.1007/s11894-013-0370-0](https://doi.org/10.1007/s11894-013-0370-0)
- Fekete, T. (2017). Cellulóz alapú hidrogélek előállítása és jellemzése
- Fredriksson, H., Silverio, J., Andersson, R., Eliasson, A.-C., Åman, P., 1998. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. In *Carbohydrate Polymers* 35, 119–134 [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(97\)00247-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(97)00247-6)
- French, D. (1973). Chemical and Physical Properties of Starch, *Journal of Animal Science*, Volume 37, Pages 1048-1061, <https://doi.org/10.2527/jas1973.3741048x>
- Garland Campbell, K. (2022) The origins of club wheat <https://wagrain.org/articles/the-origins-of-club-wheat/>
- Gebruers, K., Dornez, E., Boros, D., Fraś, A., Dynkowska, W., Bedo, Z., Rakszegi, M., Delcour, J. A., & Courtin, C. M. (2008). Variation in the content of dietary fiber and components thereof in wheats in the healthgrain diversity screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(21), 9740–9749. <https://doi.org/10.1021/jf800975w>

- Gebruers, K., Courtin, C. M., & Delcour, J. A. (2009). Quantification of arabinoxylans and their degree of branching using gas chromatography. In *HEALTHGRAIN Methods: Analysis of Bioactive Components in Small Grain Cereals*. AACC International, Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-1-891127-70-0.50017-0>
- Gebruers, K., Dornez, E., Bedő, Z., Rakszegi, M., Frás, A., Boros, D., Courtin, C. M., & Delcour, J. A. (2010). Environment and genotype effects on the content of dietary fiber and its components in wheat in the HEALTHGRAIN diversity screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(17), 9353–9361. <https://doi.org/10.1021/jf100447g>
- Goñi, I., Garcia-Alonso, A., & Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition research*, 17(3), 427-437. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(97\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(97)00010-9)
- Grausgruber, H., Lovegrove, A., Shewry, P., & Békés, F. (2020). FODMAPs in wheat. In *Wheat quality for improving processing and human health* (pp. 517-534). Springer, Cham.
- Grundas, S., & Wrigley, C. W. (2015). Ultrastructure of the Wheat Grain, Flour, and Dough. In *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition* (2nd ed., Vols. 3–4). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00165-0>
- Hannah, L. C., & James, M. (2008). The complexities of starch biosynthesis in cereal endosperms. *Current Opinion in Biotechnology*, 19(2), 160-165. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.02.013>
- Haskå, L., Nyman, M., & Andersson, R. (2008). Distribution and characterisation of fructan in wheat milling fractions. *Journal of Cereal Science*, 48(3), 768-774. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.05.002>
- He, Y., Wang, B., Wen, L., Wang, F., Yu, H., Chen, D., ... & Zhang, C. (2022). Effects of dietary fiber on human health. *Food Science and Human Wellness*, 11(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.07.001>
- Hidvégi, Sz. (2007.) Növénytermesztés.
- Ispiryan, L., Heitmann, M., Hoehnel, A., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2019). Optimization and Validation of an HPAEC-PAD Method for the Quantification of FODMAPs in Cereals and Cereal-Based Products [Research-article]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(15), 4384–4392. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00382>

- Ispiryan, L., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2020). Characterization of the FODMAP-profile in cereal-product ingredients. *Journal of Cereal Science*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102916>
- Jaksics, E., Paszerbovics, B., Egri, B., Rakszegi, M., Tremmel-Bede, K., Vida, G., ... & Tömösközi, S. (2020). Complex rheological characterization of normal, waxy and high-amylose wheat lines. *Journal of Cereal Science*, 93, 102982. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102982>
- Jacob, J. P., & Pescatore, A. J. (2014). Barley  $\beta$ -glucan in poultry diets. *Annals of translational medicine*, 2(2), 20-20. [10.3978/j.issn.2305-5839.2014.01.02](https://doi.org/10.3978/j.issn.2305-5839.2014.01.02)
- Liu, D., Tang, W., Yin, J. Y., Nie, S. P., & Xie, M. Y. (2021). Monosaccharide composition analysis of polysaccharides from natural sources: Hydrolysis condition and detection method development. *Food Hydrocolloids*, 116, 106641. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106641>
- Kan, M., Küçükçongar, M., Keser, M., Morgounov, A., Muminjanov, H., Özdemir, F., & Qualset, C. (2015). Wheat Landraces in Farmers' Fields in Turkey: National Survey, Collection and Conservation, 2009-2014.
- Lovegrove, A., Wingen, L. U., Plummer, A., Wood, A., Passmore, D., Kosik, O., ... & Griffiths, S. (2020). Identification of a major QTL and associated molecular marker for high arabinoxylan fibre in white wheat flour. *PloS one*, 15(2), e0227826. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11347979.v1>
- Muir, J. G., Rose, R., Rosella, O., Liels, K., Barrett, J. S., Shepherd, S. J., & Gibson, P. R. (2009). Measurement of short-chain carbohydrates in common Australian vegetables and fruits by high-performance liquid chromatography (HPLC). *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(2), 554-565. <https://doi.org/10.1021/jf802700e>
- Németh, R. (2019). Sütőipari minőség meghatározására alkalmas műszer-és módszerfejlesztések és alkalmazásuk búzaalapú és gluténmentes modelltermékek vizsgálatára.
- Notheisz, F., Zsigmond, Á. (2008) Szerves kémia, Szegedi Tudományegyetem TTIK
- Pokol, Gy., Gyurcsányi, E. R., Simon, A., Bezúr, L., Horvai, Gy., Horváth, V., Dudás, K. M. (2011) Analitikai kémia, Typotex Kiadó
- Polgár, A., Szálka, B., Molnár, T., Kósa, I., Vassányi, I., & Mák, E. (2022). A mobilapplikációval támogatott alacsony-FODMAP-étrend a funkcionális gastrointestinalis és a

gyulladásos bélbetegségek kezelésében. *Orvosi Hetilap*, 163(31), 1224-1230.  
<https://doi.org/10.1556/650.2022.32502>

Riby, J. E., Fujisawa, T., & Kretchmer, N. (1993). Fructose absorption. *The American journal of clinical nutrition*, 58(5), 748S-753S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/58.5.748S>

Salgó, A. (2000). Élelmiszerkémia és táplálkozástan I.

Schmidt, M., & Sciurba, E. (2021). Determination of FODMAP contents of common wheat and rye breads and the effects of processing on the final contents. *European Food Research and Technology*, 247(2), 395-410. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03633-6>

Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R., & Kaur, A. (2017). Wheat starch production, structure, functionality and applications—a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(1), 38-58. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13266>

Shi, X. I. A. O. C. A. I., Schedl, H. P., Summers, R. M., Lambert, G. P., Chang, R. T., Xia, T. I. N. G., & Gisolfi, C. V. (1997). Fructose transport mechanisms in humans. *Gastroenterology*, 113(4), 1171-1179.  
<https://doi.org/10.1053/gast.1997.v113.pm9322512>

Sivam, A.S., Sun-Waterhouse, D., Quek, S., Perera, C.O., 2010. Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: a review. *J. Food Sci.* 75, 163–74  
[10.1111/j.1750-3841.2010.01815.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01815.x)

Sonnenburg, E. D., Zheng, H., Joglekar, P., Higginbottom, S. K., Firbank, S. J., Bolam, D. N., & Sonnenburg, J. L. (2010). Specificity of polysaccharide use in intestinal bacteroides species determines diet-induced microbiota alterations. *Cell*, 141(7), 1241-1252.  
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2010.05.005>

Szentmiklóssy, M., Bagi, A., Varga, B., Rakszegi, M., Tömösközi, S., Török, K. (2018). A gabonafajták bioaktív összetevőinek jellemzésével kapcsolatos kutatások. *Magyar Kémikusok Lapja*  
[https://www.mkl.mke.org.hu/images/Dokumentumtar/Kulonszamok/2018%E2%80%930932019\\_Elelmiszer\\_alkotok\\_kemiaja/MKL\\_2018\\_november.pdf#page=24](https://www.mkl.mke.org.hu/images/Dokumentumtar/Kulonszamok/2018%E2%80%930932019_Elelmiszer_alkotok_kemiaja/MKL_2018_november.pdf#page=24)

Szentmiklóssy, M., Török, K., Pusztai, É., Kemény, S., Tremmel-Bede, K., Rakszegi, M., & Tömösközi, S. (2020). Variability and cluster analysis of arabinoxylan content and its molecular profile in crossed wheat lines. *Journal of Cereal Science*, 95(April).  
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103074>

Tremmel-Bede, K., Láng, L., Török, K., Tömösközi, S., Vida, G., Shewry, P. R., ... & Rakszegi, M. (2017). Development and characterization of wheat lines with increased levels of arabinoxylan. *Euphytica*, 213(12), 1-15. [Development and characterization of wheat lines with increased levels of arabinoxylan | SpringerLink](#)

Török, K., Szentmiklóssy, M., Tremmel-Bede, K., Rakszegi, M., & Tömösközi, S. (2019). Possibilities and barriers in fibre-targeted breeding: Characterisation of arabinoxylans in wheat varieties and their breeding lines. *Journal of Cereal Science*, 86, 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.012>

Vignola, M. B., Moiraghi, M., Salvucci, E., Baroni, V., & Pérez, G. T. (2016). Whole meal and white flour from Argentine wheat genotypes: Mineral and arabinoxylan differences. *Journal of Cereal Science*, 71, 217-223. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.09.002>

Yue, Z., & Economy, J. (2017). Carbonization and activation for production of activated carbon fibers. *Activated Carbon Fiber and Textiles*, 61-139. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100660-3.00004-3>

Ziegler, J. U., Steiner, D., Longin, C. F. H., Würschum, T., Schweiggert, R. M., & Carle, R. (2016). Wheat and the irritable bowel syndrome - FODMAP levels of modern and ancient species and their retention during bread making. *Journal of Functional Foods*, 25, 257– 266. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.05.019>

## Függelék

| Név         | TOTAX [%] |        | WEAX [%] |        | WUAX [%] | TOT-A/X [-] |        | WE-A/X [-] |        |
|-------------|-----------|--------|----------|--------|----------|-------------|--------|------------|--------|
|             | átlag     | szórás | átlag    | szórás |          | átlag       | szórás | átlag      | szórás |
| Big Club 43 | 9,63      | 0,59   | 1,23     | 0,00   | 8,39     | 0,68        | 0,01   | 0,68       | 0,00   |
| GLUCLUB/1   | 7,86      | 0,29   | 0,82     | 0,01   | 7,04     | 0,81        | 0,15   | 0,86       | 0,07   |
| GLUCLUB/2   | 8,82      | 0,55   | 0,91     | 0,01   | 7,91     | 0,66        | 0,12   | 0,71       | 0,03   |
| LYALLPUR    | 8,88      | 0,90   | 0,97     | 0,01   | 7,91     | 0,67        | 0,02   | 0,71       | 0,01   |
| MVGB321     | 7,41      | 0,02   | 0,71     | 0,01   | 6,69     | 0,69        | 0,09   | 0,83       | 0,03   |
| MVGB323     | 9,98      | 1,31   | 0,82     | 0,02   | 9,16     | 0,63        | 0,13   | 0,81       | 0,01   |
| MVGB324     | 8,03      | 0,13   | 0,81     | 0,01   | 7,21     | 0,59        | 0,09   | 0,82       | 0,01   |
| MVGB356     | 8,88      | 0,23   | 1,03     | 0,01   | 7,85     | 0,53        | 0,03   | 0,65       | 0,00   |
| MVGB583     | 8,63      | 0,90   | 0,83     | 0,02   | 7,80     | 0,65        | 0,01   | 0,76       | 0,04   |
| MVGB357     | 8,12      | 1,34   | 1,11     | 0,01   | 7,00     | 0,62        | 0,13   | 0,60       | 0,02   |
| MVGB322     | 6,48      | 0,67   | 0,87     | 0,02   | 5,61     | 0,56        | 0,09   | 0,71       | 0,01   |
| MVGB1175    | 8,12      | 0,90   | 0,97     | 0,00   | 7,14     | 0,54        | 0,05   | 0,74       | 0,01   |
| MVGB1071    | 9,13      | 0,73   | 1,17     | 0,01   | 7,96     | 0,59        | 0,07   | 0,63       | 0,00   |
| YUMAI       | 9,49      | 0,21   | 1,59     | 0,00   | 7,91     | 0,55        | 0,05   | 0,55       | 0,01   |
| O.-ROTKORN  | 6,15      | 0,20   | 0,61     | 0,00   | 5,55     | 0,60        | 0,03   | 1,00       | 0,00   |

17. táblázat: Teljes örlemények arabinoxilán-tartalomra vonatkozó adatai

| Név         | TOTAX [%] |        | WEAX [%] |        | WUAX [%] | TOT-A/X [-] |        | WE-A/X [-] |        |
|-------------|-----------|--------|----------|--------|----------|-------------|--------|------------|--------|
|             | átlag     | szórás | átlag    | szórás |          | átlag       | szórás | átlag      | szórás |
| Big Club 43 | 2,38      | 0,25   | 1,19     | 0,01   | 1,19     | 0,64        | 0,01   | 0,66       | 0,01   |
| GLUCLUB/1   | 1,83      | 0,10   | 0,83     | 0,02   | 1,00     | 1,10        | 0,32   | 0,88       | 0,02   |
| GLUCLUB/2   | 2,24      | 0,07   | 0,88     | 0,02   | 1,36     | 0,72        | 0,04   | 0,78       | 0,00   |
| LYALLPUR    | 2,42      | 0,09   | 1,10     | 0,02   | 1,32     | 0,85        | 0,07   | 0,76       | 0,05   |
| MVGB321     | 2,83      | 0,56   | 0,78     | 0,01   | 2,05     | 0,69        | 0,04   | 0,81       | 0,01   |
| MVGB323     | 2,79      | 0,06   | 0,71     | 0,00   | 2,08     | 0,93        | 0,03   | 0,86       | 0,04   |
| MVGB324     | 2,22      | 0,51   | 0,93     | 0,03   | 1,30     | 1,06        | 0,10   | 0,85       | 0,02   |
| MVGB356     | 2,96      | 0,02   | 1,09     | 0,00   | 1,87     | 0,71        | 0,22   | 0,67       | 0,00   |
| MVGB583     | 2,37      | 0,14   | 0,86     | 0,00   | 1,50     | 0,91        | 0,09   | 0,81       | 0,02   |
| MVGB357     | 2,30      | 0,59   | 1,06     | 0,02   | 1,24     | 0,81        | 0,07   | 0,66       | 0,01   |
| MVGB322     | 2,50      | 0,04   | 0,88     | 0,03   | 1,62     | 0,81        | 0,21   | 0,79       | 0,02   |
| MVGB1175    | 2,46      | 0,59   | 0,93     | 0,01   | 1,53     | 0,84        | 0,03   | 0,71       | 0,02   |
| MVGB1071    | 2,70      | 0,07   | 1,26     | 0,00   | 1,44     | 0,79        | 0,10   | 0,66       | 0,00   |
| YUMAI       | 4,05      | 0,49   | 1,57     | 0,04   | 2,48     | 0,68        | 0,09   | 0,55       | 0,01   |
| O.-ROTKORN  | 1,97      | 0,45   | 0,62     | 0,01   | 1,35     | 0,87        | 0,06   | 1,00       | 0,01   |

18. táblázat: Lisztek arabinoxilán-tartalomra vonatkozó adatai

| Név         | trisacharid |       | diszacharid |       | glükóz |       | fruktóz |       | galaktóz |       | xilitol |       |
|-------------|-------------|-------|-------------|-------|--------|-------|---------|-------|----------|-------|---------|-------|
|             | átl.        | szór. | átl.        | szór. | átl.   | szór. | átl.    | szór. | átl.     | szór. | átl.    | szór. |
| Big Club 43 | 1,61        | 0,00  | 2,50        | 0,01  | 0,22   | 0,01  | 0,20    | 0,01  | 0,25     | 0,01  | 0,08    | 0,01  |
| GLUCLUB/1   | 1,96        | 0,15  | 2,62        | 0,24  | 0,26   | 0,02  | 0,22    | -     | 0,22     | 0,04  | 0,14    | 0,00  |
| GLUCLUB/2   | 2,00        | 0,02  | 2,26        | 0,58  | 0,27   | 0,00  | 0,15    | 0,01  | 0,30     | 0,00  | 0,06    | 0,00  |
| LYALLPUR    | 1,96        | 0,08  | 3,33        | 0,18  | 0,35   | 0,01  | 0,19    | 0,00  | 0,42     | 0,01  | -       | -     |
| MVGB321     | 1,92        | 0,09  | 2,50        | 0,12  | 0,24   | 0,00  | 0,15    | 0,02  | 0,26     | 0,02  | 0,11    | 0,00  |
| MVGB323     | 2,13        | 0,04  | 1,95        | 0,02  | 0,22   | 0,02  | 0,17    | 0,01  | 0,21     | 0,02  | 0,12    | 0,01  |
| MVGB324     | 1,61        | 0,00  | 2,84        | 0,00  | 0,24   | 0,01  | 0,20    | 0,01  | 0,26     | 0,00  | 0,10    | 0,00  |
| MVGB356     | 1,67        | 0,24  | 1,96        | 0,33  | 0,25   | 0,01  | 0,17    | 0,00  | 0,28     | 0,00  | 0,09    | 0,02  |
| MVGB583     | 1,76        | 0,17  | 2,33        | 0,24  | 0,23   | 0,01  | 0,09    | 0,01  | 0,17     | 0,02  | 0,09    | 0,00  |
| MVGB357     | 1,54        | 0,09  | 1,89        | 0,11  | 0,20   | 0,00  | 0,16    | 0,02  | 0,27     | 0,00  | 0,10    | 0,01  |
| MVGB322     | 1,58        | 0,12  | 2,04        | 0,60  | 0,25   | 0,01  | 0,12    | 0,00  | 0,22     | 0,01  | 0,06    | 0,01  |
| MVGB1175    | 1,58        | 0,16  | 3,11        | 0,27  | 0,28   | 0,04  | 0,15    | 0,00  | 0,29     | 0,02  | 0,07    | 0,00  |
| MVGB1071    | 1,90        | 0,08  | 3,29        | 0,09  | 0,26   | 0,02  | 0,15    | 0,01  | 0,31     | 0,03  | 0,10    | 0,00  |
| YUMAI       | 1,15        | 0,00  | 3,42        | 0,02  | 0,31   | 0,01  | 0,09    | 0,02  | 0,20     | 0,01  | -       | -     |
| O.-ROTK.    | 1,73        | 0,01  | 2,43        | 0,02  | 0,23   | 0,01  | 0,15    | 0,00  | 0,29     | 0,01  | -       | -     |

19. táblázat: Teljes örlemények rövid láncú szénhidrát-összetétele (g/100 g szárazanyag)

| Név         | triszacharid |        | diszacharid |        | glükóz |        | fruktóz |        | galaktóz |        |
|-------------|--------------|--------|-------------|--------|--------|--------|---------|--------|----------|--------|
|             | átlag        | szórás | átlag       | szórás | átlag  | szórás | átlag   | szórás | átlag    | szórás |
| Big Club 43 | 0,23         | 0,02   | 0,29        | 0,02   | 0,06   | 0,00   | 0,02    | 0,00   | 0,07     | 0,01   |
| GLUCLUB/1   | 0,54         | 0,02   | 0,51        | 0,01   | 0,11   | 0,01   | 0,05    | 0,02   | 0,08     | 0,01   |
| GLUCLUB/2   | 0,70         | 0,04   | 0,46        | 0,01   | 0,10   | 0,01   | 0,03    | 0,01   | 0,08     | 0,00   |
| LYALLPUR    | 0,75         | 0,00   | 0,77        | 0,00   | 0,16   | 0,01   | 0,07    | 0,02   | 0,10     | 0,02   |
| MVGB321     | 0,22         | 0,02   | 0,26        | 0,01   | 0,05   | 0,01   | 0,01    | 0,00   | 0,07     | 0,00   |
| MVGB323     | 0,24         | 0,00   | 0,18        | 0,01   | 0,04   | 0,00   | 0,01    | 0,01   | 0,06     | 0,01   |
| MVGB324     | 0,28         | 0,01   | 0,37        | 0,01   | 0,09   | 0,02   | 0,03    | 0,01   | 0,10     | 0,00   |
| MVGB356     | 0,55         | 0,01   | 0,54        | 0,02   | 0,09   | 0,01   | 0,02    | 0,03   | 0,05     | 0,02   |
| MVGB583     | 0,26         | 0,04   | 0,34        | 0,01   | 0,08   | 0,00   | 0,04    | 0,01   | 0,07     | 0,00   |
| MVGB357     | 0,29         | 0,01   | 0,27        | 0,01   | 0,11   | 0,01   | 0,05    | 0,03   | 0,11     | 0,00   |
| MVGB322     | 0,39         | 0,00   | 0,42        | 0,01   | 0,11   | 0,01   | 0,04    | 0,01   | 0,09     | 0,01   |
| MVGB1175    | 0,34         | 0,02   | 0,54        | 0,00   | 0,11   | 0,02   | 0,03    | 0,01   | 0,11     | 0,00   |
| MVGB1071    | 0,71         | 0,03   | 0,55        | 0,03   | 0,14   | 0,01   | 0,04    | 0,04   | 0,12     | 0,01   |
| YUMAI       | 0,85         | 0,06   | 0,51        | 0,02   | 0,13   | 0,08   | 0,05    | 0,03   | 0,10     | 0,04   |
| O.-ROTK.    | 0,62         | 0,01   | 0,99        | 0,04   | 0,14   | 0,01   | 0,04    | 0,01   | 0,08     | 0,02   |

20. táblázat: Lisztek rövid láncú szénhidrát-összetétele (g/ 100 g szárazanyag)

|              | Teljes örlemény |          | Liszt    |          |
|--------------|-----------------|----------|----------|----------|
|              | LOD             | LOQ      | LOD      | LOQ      |
|              | mg/l            |          |          |          |
| triszacharid | 0,390569        | 1,183541 | 0,246244 | 0,746193 |
| diszacharid  | 0,456837        | 1,384356 | 0,2214   | 0,67091  |
| glükóz       | 0,490969        | 1,487784 | 0,212155 | 0,642893 |
| galaktóz     | 0,414963        | 1,257465 | 0,215936 | 0,654352 |
| fruktóz      | 0,569813        | 1,726705 | 0,322738 | 0,977994 |
| xilitol      | 0,476551        | 1,444093 | -        | -        |

21. táblázat: Az egyes komponensekre vonatkozó kimutatási és meghatározási határok (mg/l)

| TOTAX       | Érték | 1    | 2    | 3    |
|-------------|-------|------|------|------|
| O.-ROTKORN  | 6,152 | **** |      |      |
| MVGB322     | 6,478 | **** | **** |      |
| MVGB321     | 7,405 | **** | **** | **** |
| LYALLPUR    | 7,860 | **** | **** | **** |
| MVGB324     | 8,025 | **** | **** | **** |
| MVGB357     | 8,115 | **** | **** | **** |
| MVGB1175    | 8,115 | **** | **** | **** |
| MVGB583     | 8,627 | **** | **** | **** |
| GLUCLUB/1   | 8,818 | **** | **** | **** |
| GLUCLUB/2   | 8,875 | **** | **** | **** |
| MVGB356     | 8,883 | **** | **** | **** |
| MVGB1071    | 9,127 |      | **** | **** |
| YUMAI       | 9,494 |      |      | **** |
| Big Club 43 | 9,627 |      |      | **** |
| MVGB323     | 9,975 |      |      | **** |

22. táblázat: Teljes örlemények TOTAX-tartalmára vonatkozó Tukey teszt eredménye

| WEAX        | Érték | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| O.-ROTKORN  | 0,605 | **** |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| MVGB321     | 0,711 |      | **** |      |      |      |      |      |      |      |      |
| MVGB324     | 0,812 |      |      | **** |      |      |      |      |      |      |      |
| MVGB323     | 0,819 |      |      | **** |      |      |      |      |      |      |      |
| LYALLPUR    | 0,822 |      |      | **** |      |      |      |      |      |      |      |
| MVGB583     | 0,831 |      |      | **** |      |      |      |      |      |      |      |
| MVGB322     | 0,868 |      |      | **** | **** |      |      |      |      |      |      |
| GLUCLUB/1   | 0,909 |      |      |      | **** |      |      |      |      |      |      |
| GLUCLUB/2   | 0,966 |      |      |      |      | **** |      |      |      |      |      |
| MVGB1175    | 0,973 |      |      |      |      | **** |      |      |      |      |      |
| MVGB356     | 1,034 |      |      |      |      |      | **** |      |      |      |      |
| MVGB357     | 1,112 |      |      |      |      |      |      | **** |      |      |      |
| MVGB1071    | 1,171 |      |      |      |      |      |      |      | **** |      |      |
| Big Club 43 | 1,234 |      |      |      |      |      |      |      |      | **** |      |
| YUMAI       | 1,587 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | **** |

23. táblázat: Teljes őrlmények WEAX-tartalmára vonatkozó Tukey teszt eredménye

| WE-A/X      | Érték | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| YUMAI       | 0,551 | **** |      |      |      |      |      |      |      |      |
| MVGB357     | 0,603 | **** | **** |      |      |      |      |      |      |      |
| MVGB1071    | 0,630 | **** | **** | **** |      |      |      |      |      |      |
| MVGB356     | 0,649 |      | **** | **** | **** |      |      |      |      |      |
| Big Club 43 | 0,682 |      | **** | **** | **** | **** |      |      |      |      |
| GLUCLUB/2   | 0,712 |      |      | **** | **** | **** |      |      |      |      |
| MVGB322     | 0,713 |      |      | **** | **** | **** |      |      |      |      |
| GLUCLUB/1   | 0,714 |      |      | **** | **** | **** | **** |      |      |      |
| MVGB1175    | 0,738 |      |      |      | **** | **** | **** | **** |      |      |
| MVGB583     | 0,761 |      |      |      |      | **** | **** | **** |      |      |
| MVGB323     | 0,810 |      |      |      |      |      | **** | **** | **** |      |
| MVGB324     | 0,823 |      |      |      |      |      |      | **** | **** |      |
| MVGB321     | 0,830 |      |      |      |      |      |      | **** | **** |      |
| LYALLPUR    | 0,860 |      |      |      |      |      |      |      | **** |      |
| O.-ROTKORN  | 0,999 |      |      |      |      |      |      |      |      | **** |

24. táblázat: Teljes őrlmények WE-A/X értékeire vonatkozó Tukey teszt eredménye

| Xilitol     | Érték | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| MVGB322     | 0,059 |      |      |      | **** |      |      |      |
| GLUCLUB/1   | 0,059 |      |      |      | **** |      |      |      |
| MVGB1175    | 0,074 |      |      |      | **** | **** |      |      |
| Big Club 43 | 0,084 | **** |      |      |      | **** |      |      |
| MVGB583     | 0,087 | **** | **** |      |      | **** |      |      |
| MVGB356     | 0,093 | **** | **** | **** |      |      |      |      |
| MVGB1071    | 0,095 | **** | **** | **** |      |      |      |      |
| MVGB357     | 0,100 | **** | **** | **** |      |      |      |      |
| MVGB324     | 0,102 |      | **** | **** |      |      |      |      |
| MVGB321     | 0,106 |      |      | **** |      |      | **** |      |
| MVGB323     | 0,122 |      |      |      |      |      | **** |      |
| LYALLPUR    | 0,140 |      |      |      |      |      |      | **** |

25. táblázat: Teljes őrlmények xilitoltartalmára vonatkozó Tukey teszt eredménye

| Glükóz      | Érték | 1    | 2    |
|-------------|-------|------|------|
| MVGB357     | 0,203 | **** |      |
| Big Club 43 | 0,217 | **** |      |
| MVGB323     | 0,218 | **** |      |
| MVGB321     | 0,228 | **** |      |
| O.-ROTKORN  | 0,234 | **** |      |
| MVGB324     | 0,245 | **** | **** |
| MVGB583     | 0,246 | **** | **** |
| MVGB322     | 0,256 | **** | **** |
| GLUCLUB/1   | 0,266 | **** | **** |
| MVGB1071    | 0,271 | **** | **** |
| MVGB356     | 0,274 | **** | **** |
| MVGB1175    | 0,289 | **** | **** |
| YUMAI       | 0,302 | **** | **** |
| LYALLPUR    | 0,311 | **** | **** |
| GLUCLUB/2   | 0,353 |      | **** |

26. táblázat: Teljes őrlmények glükóztartalmára vonatkozó Tukey teszt eredménye

| Fruktóz     | Érték | 1    | 2    |  |
|-------------|-------|------|------|--|
| YUMAI       | 0,182 | **** |      |  |
| MVGB583     | 0,190 | **** |      |  |
| MVGB323     | 0,210 | **** |      |  |
| MVGB321     | 0,219 | **** |      |  |
| MVGB322     | 0,238 | **** |      |  |
| Big Club 43 | 0,253 | **** | **** |  |
| MVGB324     | 0,258 | **** | **** |  |
| MVGB357     | 0,271 | **** | **** |  |
| O.-ROTKORN  | 0,289 | **** | **** |  |
| GLUCLUB/1   | 0,297 | **** | **** |  |
| MVGB1175    | 0,308 | **** | **** |  |
| LYALLPUR    | 0,310 | **** | **** |  |
| MVGB356     | 0,312 | **** | **** |  |
| MVGB1071    | 0,329 | **** | **** |  |
| GLUCLUB/2   | 0,422 |      | **** |  |

27. táblázat: Teljes őrlmények fruktóztartalmára vonatkozó Tukey teszt eredménye

| Diszacharid | Érték | 1    | 2    | 3    | 4    |
|-------------|-------|------|------|------|------|
| MVGB357     | 1,892 | **** |      |      |      |
| MVGB323     | 1,945 | **** | **** |      |      |
| MVGB356     | 1,962 | **** | **** | **** |      |
| MVGB322     | 2,045 | **** | **** | **** | **** |
| LYALLPUR    | 2,185 | **** | **** | **** | **** |
| GLUCLUB/1   | 2,261 | **** | **** | **** | **** |
| MVGB583     | 2,335 | **** | **** | **** | **** |
| O.-ROTKORN  | 2,426 | **** | **** | **** | **** |
| Big Club 43 | 2,496 | **** | **** | **** | **** |
| MVGB321     | 2,500 | **** | **** | **** | **** |
| MVGB324     | 2,840 | **** | **** | **** | **** |
| MVGB1175    | 3,112 | **** | **** | **** | **** |
| MVGB1071    | 3,292 |      | **** | **** | **** |
| GLUCLUB/2   | 3,330 |      |      | **** | **** |
| YUMAI       | 3,419 |      |      |      | **** |

28. táblázat: Teljes őrlmények diszacharid-tartalmára vonatkozó Tukey teszt eredménye

| Triszacharid | Érték | 1    | 2    | 3    | 4    |
|--------------|-------|------|------|------|------|
| YUMAI        | 1,146 | **** |      |      |      |
| MVGB357      | 1,538 | **** | **** |      |      |
| MVGB1175     | 1,582 | **** | **** | **** |      |
| MVGB322      | 1,584 | **** | **** | **** |      |
| MVGB324      | 1,609 |      | **** | **** |      |
| Big Club 43  | 1,615 |      | **** | **** |      |
| MVGB356      | 1,678 |      | **** | **** | **** |
| O.-ROTKORN   | 1,727 |      | **** | **** | **** |
| MVGB583      | 1,764 |      | **** | **** | **** |
| MVGB1071     | 1,908 |      | **** | **** | **** |
| MVGB321      | 1,920 |      | **** | **** | **** |
| GLUCLUB/2    | 1,965 |      | **** | **** | **** |
| LYALLPUR     | 1,967 |      | **** | **** | **** |
| GLUCLUB/1    | 2,004 |      |      | **** | **** |
| MVGB323      | 2,131 |      |      |      | **** |

29. táblázat: Teljes őrlmények triszacharid-tartalmára vonatkozó Tukey teszt eredménye

| TOTAX       | Érték | 1    | 2    |
|-------------|-------|------|------|
| LYALLPUR    | 1,835 | **** |      |
| O.-ROTKORN  | 1,970 | **** |      |
| MVGB324     | 2,223 | **** |      |
| GLUCLUB/1   | 2,242 | **** |      |
| MVGB357     | 2,304 | **** |      |
| MVGB583     | 2,366 | **** |      |
| Big Club 43 | 2,381 | **** |      |
| GLUCLUB/2   | 2,420 | **** |      |
| MVGB1175    | 2,460 | **** |      |
| MVGB322     | 2,497 | **** |      |
| MVGB1071    | 2,701 | **** | **** |
| MVGB323     | 2,789 | **** | **** |
| MVGB321     | 2,830 | **** | **** |
| MVGB356     | 2,961 | **** | **** |
| YUMAI       | 4,049 |      | **** |

30. táblázat: Lisztek TOTAX-tartalmára vonatkozó Tukey teszt eredménye

| WEAX        | Érték  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|-------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| O.-ROTKORN  | 0,619  | **** |      |      |      |      |      |      |      |      |
| MVGB323     | 0,713  |      | **** |      |      |      |      |      |      |      |
| MVGB321     | 0,775  |      | **** | **** |      |      |      |      |      |      |
| LYALLPUR    | 0,832  |      |      | **** | **** |      |      |      |      |      |
| MVGB583     | 0,862  |      |      |      | **** | **** |      |      |      |      |
| MVGB322     | 0,881  |      |      |      | **** | **** |      |      |      |      |
| GLUCLUB/1   | 0,883  |      |      |      | **** | **** |      |      |      |      |
| MVGB324     | 0,925  |      |      |      |      | **** |      |      |      |      |
| MVGB1175    | 0,931  |      |      |      |      | **** |      |      |      |      |
| MVGB357     | 1,063  |      |      |      |      |      | **** |      |      |      |
| MVGB356     | 1,093  |      |      |      |      |      | **** |      |      |      |
| GLUCLUB/2   | 1,103  |      |      |      |      |      | **** |      |      |      |
| Big Club 43 | 1,186  |      |      |      |      |      |      | **** |      |      |
| MVGB1071    | 1,260  |      |      |      |      |      |      |      | **** |      |
| YUMAI       | 1,5661 |      |      |      |      |      |      |      |      | **** |

31. táblázat: Lisztek WEAX-tartalmára vonatkozó Tukey teszt eredménye

| WE-A/X      | Érték | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| YUMAI       | 0,553 | **** |      |      |      |      |      |      |
| Big Club 43 | 0,655 |      | **** |      |      |      |      |      |
| MVGB357     | 0,656 |      | **** |      |      |      |      |      |
| MVGB1071    | 0,657 |      | **** |      |      |      |      |      |
| MVGB356     | 0,666 |      | **** |      |      |      |      |      |
| MVGB1175    | 0,711 |      | **** | **** |      |      |      |      |
| GLUCLUB/2   | 0,758 |      |      | **** | **** |      |      |      |
| GLUCLUB/1   | 0,782 |      |      | **** | **** | **** |      |      |
| MVGB322     | 0,790 |      |      | **** | **** | **** |      |      |
| MVGB583     | 0,808 |      |      |      | **** | **** | **** |      |
| MVGB321     | 0,809 |      |      |      | **** | **** | **** |      |
| MVGB324     | 0,851 |      |      |      |      | **** | **** |      |
| MVGB323     | 0,856 |      |      |      |      | **** | **** |      |
| LYALLPUR    | 0,880 |      |      |      |      |      | **** |      |
| O.-ROTKORN  | 0,998 |      |      |      |      |      |      | **** |

32. táblázat: Lisztek WE-A/X értékeire vonatkozó Tukey teszt eredménye

| Glükóz      | Érték | 1    | 2    | 3    | 4    |
|-------------|-------|------|------|------|------|
| MVGB323     | 0,038 | **** |      |      |      |
| MVGB321     | 0,050 | **** | **** |      |      |
| Big Club 43 | 0,056 | **** | **** | **** |      |
| MVGB583     | 0,079 | **** | **** | **** | **** |
| MVGB356     | 0,091 | **** | **** | **** | **** |
| MVGB324     | 0,095 | **** | **** | **** | **** |
| GLUCLUB/1   | 0,103 | **** | **** | **** | **** |
| MVGB357     | 0,106 | **** | **** | **** | **** |
| MVGB322     | 0,110 | **** | **** | **** | **** |
| LYALLPUR    | 0,111 | **** | **** | **** | **** |
| MVGB1175    | 0,114 | **** | **** | **** | **** |
| YUMAI       | 0,134 |      | **** | **** | **** |
| MVGB1071    | 0,135 |      | **** | **** | **** |
| O.-ROTKORN  | 0,138 |      |      | **** | **** |
| GLUCLUB/2   | 0,155 |      |      |      | **** |

33. táblázat: Lisztek glükóztartalmára vonatkozó Tukey teszt eredménye

| Fruktóz     | Érték | 1    | 2    | 3    |
|-------------|-------|------|------|------|
| MVGB356     | 0,055 | **** |      |      |
| MVGB323     | 0,063 | **** | **** |      |
| MVGB583     | 0,068 | **** | **** | **** |
| MVGB321     | 0,072 | **** | **** | **** |
| Big Club 43 | 0,073 | **** | **** | **** |
| O.-ROTKORN  | 0,079 | **** | **** | **** |
| GLUCLUB/1   | 0,083 | **** | **** | **** |
| LYALLPUR    | 0,084 | **** | **** | **** |
| MVGB322     | 0,090 | **** | **** | **** |
| GLUCLUB/2   | 0,096 | **** | **** | **** |
| YUMAI       | 0,101 | **** | **** | **** |
| MVGB324     | 0,103 | **** | **** | **** |
| MVGB1175    | 0,106 | **** | **** | **** |
| MVGB357     | 0,109 |      | **** | **** |
| MVGB1071    | 0,116 |      |      | **** |

34. táblázat: Lisztek fruktóztartalmára vonatkozó Tukey teszt eredménye

| Diszacharid | Érték | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| MVGB323     | 0,178 | **** |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| MVGB321     | 0,262 |      | **** |      |      |      |      |      |      |      |      |
| MVGB357     | 0,267 |      | **** |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Big Club 43 | 0,288 |      | **** | **** |      |      |      |      |      |      |      |
| MVGB583     | 0,338 |      |      | **** | **** |      |      |      |      |      |      |
| MVGB324     | 0,370 |      |      |      | **** | **** |      |      |      |      |      |
| MVGB322     | 0,416 |      |      |      |      | **** | **** |      |      |      |      |
| GLUCLUB/1   | 0,457 |      |      |      |      |      | **** | **** |      |      |      |
| LYALLPUR    | 0,506 |      |      |      |      |      |      | **** | **** |      |      |
| YUMAI       | 0,512 |      |      |      |      |      |      | **** | **** |      |      |
| MVGB356     | 0,536 |      |      |      |      |      |      |      | **** |      |      |
| MVGB1175    | 0,538 |      |      |      |      |      |      |      | **** |      |      |
| MVGB1071    | 0,551 |      |      |      |      |      |      |      | **** |      |      |
| GLUCLUB/2   | 0,770 |      |      |      |      |      |      |      |      | **** |      |
| O.-ROTKORN  | 0,992 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | **** |

35. táblázat: Lisztek diszacharid-tartalmára vonatkozó Tukey teszt eredménye

| Triszacharid | Érték | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|--------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| MVGB321      | 0,218 | **** |      |      |      |      |      |      |
| Big Club 43  | 0,229 | **** |      |      |      |      |      |      |
| MVGB323      | 0,245 | **** | **** |      |      |      |      |      |
| MVGB583      | 0,262 | **** | **** |      |      |      |      |      |
| MVGB324      | 0,280 | **** | **** |      |      |      |      |      |
| MVGB357      | 0,291 | **** | **** | **** |      |      |      |      |
| MVGB1175     | 0,341 |      | **** | **** |      |      |      |      |
| MVGB322      | 0,388 |      |      | **** |      |      |      |      |
| LYALLPUR     | 0,543 |      |      |      | **** |      |      |      |
| MVGB356      | 0,553 |      |      |      | **** |      |      |      |
| O.-ROTKORN   | 0,616 |      |      |      | **** | **** |      |      |
| GLUCLUB/1    | 0,696 |      |      |      |      | **** | **** |      |
| MVGB1071     | 0,712 |      |      |      |      | **** | **** |      |
| GLUCLUB/2    | 0,749 |      |      |      |      |      | **** | **** |
| YUMAI        | 0,848 |      |      |      |      |      |      | **** |

36. táblázat: Lisztek triszacharid-tartalmára vonatkozó Tukey teszt eredménye