

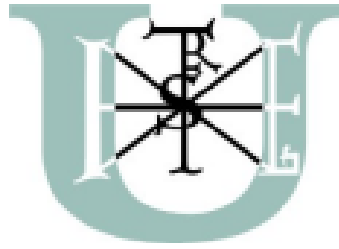
SZENT ISTVÁN EGYETEM

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

EMŐDI ANDREA

GÖDÖLLŐ

2019



SZENT ISTVÁN EGYETEM

Környezettudományi Doktori Iskola

**AZ ALAKOR SOKFÉLESÉGÉNEK
VIZSGÁLATA A MORFOMETRIA
MÓDSZEREIVEL**

Doktori értekezés

EMÓDI ANDREA

Gödöllő

2019

A DOKTORI ISKOLA MEGNEVEZÉSE:
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

TUDOMÁNYÁG:
KÖRNYEZETTUDOMÁNY

A DOKTORI ISKOLA VEZETŐJE:

CSÁKINÉ DR. MICHÉLI ERIKA
EGYETEMI TANÁR, INTÉZETVEZETŐ
SZIE, MEZŐGAZDASÁG- ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KAR,
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI INTÉZET,
TALAJTANI ÉS AGROKÉMIAI TANSZÉK

TÉMAVEZETŐ:

DR. GYULAI FERENC
EGYETEMI TANÁR, AZ MTA DOKTORA
SZIE, MEZŐGAZDASÁG- ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KAR,
KÖRNYEZET- ÉS TÁJGAZDÁLKODÁSI INTÉZET,
TERMÉSZETVÉDELMI ÉS TÁJÖKOLÓGIAI TANSZÉK

TÁRS-TÉMAVEZETŐ

DR. BERKE JÓZSEF
FŐISKOLAI TANÁR, AZ MTA KANDIDÁTUSA
GÁBOR DÉNES FŐISKOLA, INFORMATIKAI INTÉZET

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

Tartalomjegyzék

JELÖLÉSEK ÉS RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	7
1. BEVEZETÉS.....	9
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	11
2.1 Alapok egy magmorfometriai <i>Triticum monococcum</i> adatbázis készítéséhez. 11	
2.1.1 Az alakor faj ismertetése	11
2.1.2 Az alakor előfordulása napjainkban, génbanki megőrzése	18
2.1.3 Az alakor intraspecifikus rendszertana, változatai	23
2.1.4 Digitális képfeldolgozás alkalmazása a magmorfometriai adatbázis készítéséhez	31
2.2 A domesztikált alakor és progenitorja.....	45
2.2.1 A <i>T. monococcum</i> alfajok elnevezése, leírása	45
2.2.2 A <i>T. monococcum</i> előfordulása a régészeti korokban	49
2.2.3 A domesztikáció folyamata és hatásai.....	53
2.2.4 Domesztikált és vad tételek elkülönítésének magmorfometriai módszere.....	58
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	62
3.1 A felhasznált alakor tételek ismertetése	62
3.2 <i>Triticum monococcum</i> magmorfometriai adatbázis készítése digitális képfeldolgozás alkalmazásával	64
3.2.1 A méréshez szükséges képtulajdonságok.....	64
3.2.2 A kísérletek elemzéséhez és kiértékeléséhez használt eszközrendszer meghatározása	65
3.2.3 A vizsgálatok során alkalmazott digitális elemzési módszerek, szoftverek, a Fovea Pro	76
3.3 A domesztikált alakor elkülönítése a vad őstől.....	83
3.3.1. Az adatbázisban lévő adatok elemzése	83
3.4 Egy ismeretlen taxonómiai besorolású mag meghatározása, besorolása varietas szinten.....	84
3.4.1 A képosztályozás, az LKM módszer ismertetése.....	84
3.4.2 Az osztályozórendszer elkészítése	86
3.5 Egy ismeretlen taxonómiai besorolású mag besorolásának pontosítása	87
3.5.1. PCA módszer ismertetése.....	87
3.5.2. PCA elvégzése, az eredmények használata az osztályozás pontosítására	90
4. EREDMÉNYEK	92
4.1 Magmorfometriai adatbázis készítése a Magyarországi génbankokban tárolt <i>Triticum monococcum</i> tételekről.....	92

4.1.1 Digitális képfeldolgozási mérési módszer a <i>T. monococcum</i> fajra.....	92
4.1.2 Mérettani paraméterek	93
4.1.3 Alaktani paraméterek	96
4.1.4 Intenzitás-és színparaméterek	98
4.2 A domesztikáció hatásának vizsgálata morfológiai módszerekkel.....	101
4.2.1 A domesztikált alakor elkülönítése a vad őstől magmorfológiai adatbázis alapján	101
4.2.2 Domesztikáció hatásának vizsgálata hisztogramok alapján.....	104
4.2.3 A <i>T. monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i> és subsp. <i>aegilopoides</i> elkülönítése átlagértékek alapján.....	109
4.3 Egy ismeretlen taxonómiai besorolású mag meghatározása, besorolása varietas szinten	112
4.4 Egy ismeretlen taxonómiai besorolású mag besorolásának pontosítása súlyozott Euklideszi-térben.....	113
4.5 Új és újszerű tudományos eredmények.....	115
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	116
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	117
7. SUMMARY	118
Mellékletek.....	119
M1. Irodalomjegyzék	119
M2. Szkennerrel készült felvételek a vizsgált alakor téttelekről.....	134
(CD melléklet).....	134
M3. Fényképezővel készült felvételek a vizsgált alakor téttelekről	134
(CD melléklet).....	134
M4. A digitális morfológiai mérések eredményei	134
(CD melléklet).....	134
M5. Az alakor változat szintű besorolására alkalmas táblázatok.....	134
(CD melléklet).....	134
KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS	135

JELÖLÉSEK ÉS RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

- **A/D: Analóg/digitális**
- **AARI:** Aegean Agricultural Research Institute
- **aeg.:** *Triticum monococcum* subspecies *aegilopoides*
- **BAB:** Brinkkemper Archaeobotanical Office
- **CCD:** Charge-Coupled Device – töltéscsatolt eszköz, a digitális képbeviteli eszközök
- **CIS:** Computer Information System, számítógéppel támogatott információ-feldolgozó rendszer
- **CMOS:** Complementary Metal-Oxide-Semiconductor – kiegészítő fém-oxid félvezető
- **convar. (cv):** convarietas, változatscsoport (rendszerintani kategória)
- **D:** Kalászonkénti szemszám
- **DArT:** Diversity Arrays Technology
- **DUS:** Distinctness, Uniformity and Stability, Megkülönböztethetőség, Egységesség, Stabilitás
érzékelőjének egyik típusa
- **FAL:** Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
- **IPK:** Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung
- **IPL:** Leiden Archaeological Centre
- **ISO:** International Standard Organisation, a film vagy a képérzékelő érzékenységét jellemző adat
- **JPEG:** Joint Photographic Experts Group, képtömörítési szabvány
- **KFKI:** Központi Fizikai Kutatóintézet
- **LEP:**
- **LKM:** Legközelebbi szomszéd módszer
- **MI:** Mesterséges intelligencia
- **mon.:** *Triticum monococcum* subspecies *monococcum*
- **MTA ATK:** Magyar Tudományos Akadémia MTA Agrártudományi Kutatóközpont
- **NMOS:** Negative Channel Metal-Oxide Semiconductor –negatív csatornás fém-oxid félvezető
- **NöDiK:** Növényi Diverzitás Központ
- **OEM:** oltalom alatt álló eredet-megjelölés
- **OFJ:** oltalom alatt álló földrajzi jelzés
- **PCA:** Principal Component Analysis, Főkomponens analízis
- **provar.:** provarietas, fajtacsoport
- **RAPD:** Random Amplified Polymorphic DNA
- **RAW:** a digitális fényképezőgép nyers, feldolgozatlan, tömörítetlen állománya
- **RCE:** Dutch Agency for Cultural Heritage

- **RFLP:** restrikciós fragmenthossz-polimorfizmus
- **RGB:** additív színkeverés, (Red, Green, Blue) vörös, zöld és kék, monokróm fényforrások összekeveréséből keletkezik a szín
- **RGiD:** Rovner-Gyulai Index of (seed) Domestication, Rovner-Gyulai Domesztikációs Index
- **sp.:** species, faj (rendszertani kategória)
- **subsp.:** subspecies, alfaj (rendszertani kategória)
- **syn:** szinoníma
- **SZKI:** Számítástechnikai Koordinációs Intézet
- **SZTAKI:** Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet
- **T. :** *Triticum*, búza nemzetség
- **TIFF:** Tagged Image File Format, operációs rendszer és hardver független képi állomány
- **var.:** varietas, változat (rendszertani kategória)
- **VIR:** Vavilov Institute of Plant Genetic Resources

1. BEVEZETÉS

Az alakor (*Triticum monococcum* subsp. *monococcum*) egyike az emberiség első gabonáinak. Termesztésének kezdete megközelítőleg 12.000 évvel ezelőttre datálható és számos történelmi korszak uralkodó gabonaféléje volt. Hazánkban egészen a XIX. századig termesztették kisebb területeken, ezt követően fokozatosan eltűnt a termesztésből. Az őskori és az ókori búzafajok beltartalmi értékei, vitamin-, ásványi anyag- és nyomelem tartalma jelentősen magasabb volt, mind a napjainkban intenzív körülmények között termesztett őszi búza fajtáké. A környezetkímélő mezőgazdaság és az egészséges élelmiszerek szerepének növekedésével ismét megnőtt az ősi termesztett fajok és a tájfajták jelentősége. Újbóli termesztéséhez és elterjedéséhez azonban szükség van a faj minél szélesebb körű ismeretére, információkra származására, fejlődésére, diverzitására és elérhető génerőforrásaira vonatkozóan. A vizsgálható alakor tételek elsődleges forrásai a régészeti leletek és a génbankokban letárolt minták, azaz elsősorban szenült és recens szemtermések. A termések metrikus nyilvántartása és lehető legpontosabb meghatározása alapvető jelentőségű, mivel azok alakja faji illetve valószínűsíthetően fajtabélyeg. Részletes ismeretükkel nyomon követhető a kultúrnövények eredete, származása, elterjedése és választ adhat a történelmi népek növénytermesztési kapcsolatainak eddig megválaszolatlan kérdéseire is (Berke et al. 2013).

Mindezek tanulmányozására alkalmas módszer a genetika, hátránya azonban, hogy a vizsgálat a génbanki és régészeti alakorszemek roncsolásával jár, ezért a legrégebbi termesztett gabona vizsgálatához az egyik legújabb vizsgálati módszert alkalmaztuk, amellyel szemtermésből egyaránt kinyerhetőek a faj taxonómiai osztályozhatóságára, domesztikációs fejlődésére és diverzitására vonatkozó információk, a digitális magmorfometria.

Ez egy gyors, pontos és populációvizsgálatra is alkalmas módszer, amely a szemtermések digitális képi és ez által numerikusan értékelhető adatainak rögzítése mellett intelligens osztályozást is lehetővé tesz. A morfometriai paraméterek alapján történő csoportosítás alkalmas a számítógép "megtanítása" egy ismeretlen minta felismerésére, részben automatizált módon (Berke et al. 2013).

A viszonylag új keletű és a természettudományokban jelenleg még szűk körben használt módszernek nincs szabványosított technológiája, így elsődleges célom volt egy *T. monococcum* szemterméseinek mérésére alkalmas vizsgálati rendszer

kidolgozása és annak segítségével a magyarországi génbankokban fellelhető alakor tételek elemzése. Vizsgálataim az alábbi célkitűzésekre irányultak:

- Egy képi és magmorfometriai adatbázis készítése a Magyarországi génbankokban tárolt *Triticum monococcum* tétellekről,
- a magmorfometriai adatbázis alapján a domesztikált alakor *T. monococcum* subsp. *monococcum* elkülönítése a vad őstől (*T. monococcum* subsp. *aegilopoides*), a házasítás folyamatának vizsgálata,
- egy ismeretlen taxonómiai besorolású mag meghatározása, besorolása varietas szinten.

Eredményeimmel céлом volt a *T. monococcum* fajról rendelkezésre álló információk bővítése egy új módszer alkalmazásával, hasznos adatokat szolgáltatva a régészet, a génbanki tevékenység és a növénytermesztés számára.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 Alapok egy magmorfometriai *Triticum monococcum* adatbázis készítéséhez

Ahhoz, hogy a hazai génbankokban fellelhető *T. monococcum* tételekből magmorfometriai alapú adatbázist készítsenek, szükség volt az alakor tulajdonságainak, génbanki helyzetének, valamint a digitális mérési módszer alapjainak, a benne rejlő lehetőségek megismerésére.

2.1.1 Az alakor faj ismertetése

Az alakor a kutatók által ismert az emberiség első, legősibb termesztett búzafajának tekinthető. Az angol „einkorn” kifejezés a német nyelvből származik, elnevezése úgy értelmezhető, mint „egyetlen gabona”. Termesztésének kezdete megközelítőleg 12.000 évvel ezelőttre datálható és számos történelmi korszak uralkodó gabonaféléje volt. Hazánkban egészen a XIX. századig termesztették kisebb területeken, ezt követően fokozatosan eltűnt a termesztésből. Jellemzője, hogy kezdetektől a gyenge tápanyagtartalmú területek gabonaféléje volt, a gombabetegségek többségével szemben ellenálló és vizsgálatok alapján a parlagfűre allelopatikus hatású (Gyulai 2009).

A búzák a Zárvatermők (*Magnoliophyta*) törzsének, Egyszikűek (*Liliopsida*) osztályának, Pelyvások rendjének (*Poales*), Pázsitfűfélék családjának (*Poaceae*) búza (*Triticum*) nemzetségébe tartoznak. A búza nemzetségének (*Triticum*) számos tagja van, fajai elterjedtek a Földön, annak ellenére, hogy alapvetően a mérsékelt égöv növényei, megtalálhatók az 5. szélességi foktól a 64. fokig (Ragasits 1998). A különböző búzafajokat genetikailag poliploid sorban ábrázolják. Az ugyanazon csoportba tartozó fajok ugyanolyan kromoszómaszerkezetűek, egymás között termékeny utódokat hoznak létre, a csoportok közötti hibridek sterilek. Az újabb, citogenetikai vizsgálatokon alapuló felosztás négy fajt különböztet meg a *Triticum* nemzetségen belül, szemben a régebbi származási elméletekkel, amelyek 16 fajra osztották. Ezeket a legmodernebb genetikai származástani vizsgálatok kromoszómaszám és ploidiafokozat alapján az alábbi három citogenetikai csoportba (sorozatba) sorolták (Gyulai 2009):

1. Diploid, alakor sorozat: közös jellemzőjük a 14 kromoszómaszám (Koháry 2003), egy genomot (AA) tartalmaznak (Gyulai 2009). Többségében vad fajok tartoznak ide, egyetlen termesztett faja az alakor (*Triticum monococcum* L.).

2. Tetraploid, tönke sorozat: jellemző a 28 kromoszóma (Koháry 2003), két különböző genomot (AABB) tartalmaznak (Gyulai 2009). Számos vad faj mellett csupán egyetlen természetű faj, a hasas búza (*Triticum turgidum*) tartozik ide, ennek több alfaja közül az egyik a tönke (*T. turgidum* subsp. *dicoccum*). Ide tartozik emellett a durumbúza (*T. turgidum* subsp. *turgidum* conv. *durum*, régi néven *T. durum*), ami a tönkénél jóval elterjedtebb, jellemzője a csupasz szem, szálkás kalász, szívós kalászorsó, 2-4 üvegesen áttetsző sárga színű szemet tartalmazó kalászsza. A *T. turgidum* subsp. *turgidum* másik természetű változata a lengyel búza (*T. turgidum* subsp. *turgidum* conv. *polonicum*), a khorasszán búza (*T. turgidum* subsp. *turgidum* conv. *turanicum*), valamint a négyszájkás búza (*T. turgidum* subsp. *carthlicum*) is, ezek természetűe ma már főleg Kis-és Közép-Ázsiában, szórványosan fordul elő (Koháry 2003). A tetraploid sorozat tagjai a *Triticum timopheevi* Zhuk. vad- és kultúrformája is, melyek szintén két különböző genomot tartalmaznak (AAGG genom)(Gyulai 2009).

3. Hexaploid, tönköly sorozat: fajait 42 kromoszóma jellemzi, (Koháry 2003), három különböző genomot (AABBDD) tartalmaznak (Gyulai 2009). Ide tartozik a világon a legnagyobb területen természetű növények egyike, a közönséges búza (*Triticum aestivum* subsp. *vulgare*). Jellemzői a szálkás vagy tar kalász, kalászkánként 2-6 szem, melyek egyes fajtáknál üvegesek, kemények, másoknál lisztesek, puhák. A szemet laza pelyvalevelek takarják, kalászorsója nem törékeny, így könnyen csépelhető. Szintén a hexaploid sorozathoz tartozik a zárt pelyvájú, törékeny kalászorsójú faj a tönkölybúza vagy spelta (*Triticum aestivum* subsp. *spelta*, régi neve *T. spelta*), amelyet régen Európában is sok helyen természetűtek. Igénytelen, nagy szárú, nedves sikeértartalma esetenként meghaladja az 50%-ot. A sorozathoz tartozik még egy pelyvás faj, a *Triticum aestivum* subsp. *macha*, amelyet Kis-Ázsia egyes területein ma is természetűnek (Koháry 2003).

Fajainak nagy része feltételezhetően a vad alakortól (*Triticum monococcum* subsp. *aegilopoides*) származik, melynek kromoszómakészletét, genomját AA-val jelölik. Ebből a vad alakorból fejlődött ki az alakor, az egyszemű búza (*Triticum monococcum*) (Ragasits 1998).

Növényállománya jellemzően eléri a 120-130 cm-es magasságot. Szára vékony, ugyanakkor erős és rugalmas, állóképessége a diploid búzához viszonyítva rendkívül jónak mondható. Bokrosodó képessége kiemelkedő, ami hozzájárul gyomelnyomó képességéhez. Kalászhai mereven felállóak, laposak, kis méretűek (1.

ábra). Egy kalászkában általában egy szemtermés fejlődik, a kalászkák kétsorosan helyezkednek el a kalászban. Szemtermése szorosan pelyvába zárt (Gyulai 2009).



(a)

(b)

1. ábra. A *Triticum monococcum* subsp. *monococcum* kalásza tejes (a)- és teljes (b) érésben (saját forrás).

Az ősi alakor egy rendkívül tápláló búzafaj volt, szárazanyagra számított legmagasabb nyersfehérje tartalma a gabonák közül az alakorra volt jellemző, a vetési búzáénál 50%-al magasabb átlagos nyersfehérje tartalommal. Az alakor esetében jellegzetes, hogy a protein a szemtermések szárazanyagának mintegy egyötödét kiteszi. Brouwer (Brouwer és Stählin 1975) vizsgálatai során megállapította, hogy a szemtermések szénhidrát- és nyersfehérje tartalmát befolyásolja a talaj nitrogéntartalma, a klíma (meleg, száraz időjárás esetén magasabb az értéke) és a szemtermések alakja is, a lapos szemtermés proteintartalma magasabb, mint a telt szemeké.

Az alakor éghajlatigénye azonos a búzáéval, Magyarország bármely táján termesztethető. Kezdeti fejlődési szakaszában az enyhe, hosszú ősz a legkedvezőbb. Ilyenkor bokrosodása intenzív, így az állomány hamar zárul. A hideget rendkívül jól bírja, télállósága kiváló. Tavasszal korán indul fejlődésnek, a tapasztalatok azt mutatják, hogy a későn érkező fagyokkal szemben is ellenálló. Bokrosodása igen jó, ezáltal sok esetben képes kompenzálni a kisebb vetési hibákat.

Talajigényét tekintve az alakor szerénynek mondható, elsősorban a gyengébb tápanyagellátottságú talajok növényei. Nitrogénben gazdag talajokon hajlamos a megdőlésre, ezért ezeken a területeken, különösen, ha még csapadékosabb vidéken is található, termesztésük nem javasolt. Ugyanakkor kiválóan alkalmasak marginális, kedvezőtlen adottságú területek hasznosítására. Az eddigi, alakorral végzett vizsgálatok, összegyűjtött termesztési tapasztalatok alapján elmondható, hogy homokos talajon is sikeresen termesztethető. Ezt gyökereinek nagy tápanyagfeltárási képessége teszi lehetővé, továbbá az, hogy vízigényének nagyobbik hányada a tavaszi fejlődés kezdetére esik, amikor még a kis tároló képességű homoktalajokban is található téli víztartalék.

Az alakor vetőmag tisztítása során a gyommagokon kívül el kell távolítani a csupasz szemeket is, ugyanis a megfelelő állomány feltétele, hogy minimum 90%-os csírázóképes magot kell a vetés során használni. Mind az alakor, mind a tönke pelyvalevelei számos olyan biológiai anyagot tartalmaznak, melyek megvédik a csírázó magot a különféle kórokozóktól. Az alakor talajművelés tekintetében nem mondható igényesnek, sem mélyművelést, sem forgatást nem igényel. A vetést követően nincs szükség további állománykezelésre, a következő művelet a betakarítás. Az alakor és a tönke a búzához viszonyítva megközelítőleg három héttel később érik, aratásuk július végére tehető. A viaszérési szakaszban történő aratáskor a szem megszorul, könnyen megrepedezik, ezért ajánlott az aratás megkezdésével a teljes érésig várni. Túlérés esetén az alakor kalásza könnyen törik, ezért egy megkésett aratás jelentős veszteséggel járhat. Az alakort kizárólag egy menetben lehet betakarítani, amennyiben ez nem megoldható, és először rendre vágják, számolni kell azzal, hogy az alakor rövid nyugalmi időszakának köszönhetően a talajhoz érő kalászokban a szemek azonnal csírázni kezdenek (Kovács 2010).

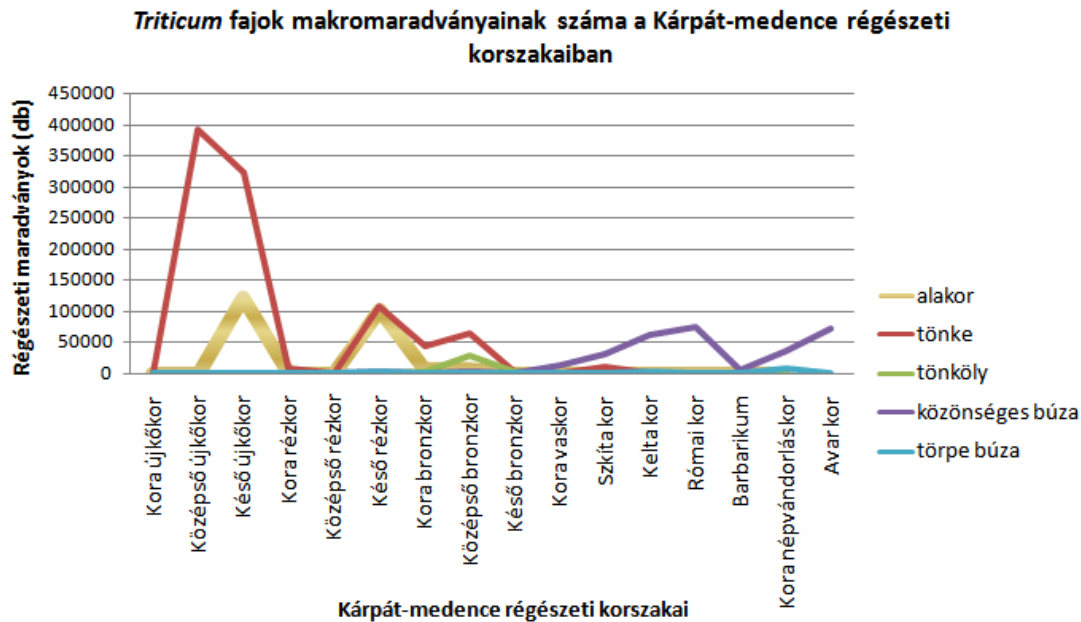
Csépelhetőség szempontjából pelyvás és csupasz búzákat különböztetünk meg (Gyulai 2009):

- Pelyvás búzák:
 - Alakor (*T. monococcum* subsp. *monococcum*)
 - Tönke (*T. turgidum* subsp. *dicoccum*)
 - Tönköly (*T. aestivum* subsp. *spelta*)
- Csúasz búzák:
 - Durumbúza (*T. turgidum* subsp. *durum*)
 - Vetési búza (*T. aestivum* subsp. *vulgare*)
 - Törpe búza (*T. aestivum* subsp. *compactum*)

A ploidiacsoporton belül a domesztikáció hatására hamar megszűnik a kalászorsó törékenysége, a csupasz formák pedig gyors fejlődésnek indulnak (Gyulai 2009). A domesztikációt követően az alakor más termesztett növényekkel együtt elterjedt az egész Közel-Keleten, a Kaukázuson túl, eljutott a Mediterráneumba, a VI. évezred végére a Balkánra, majd onnan a Kárpát-medencébe (Perrino et al. 1996, Megyeri 2014). Itt a Körös-Starčevo kultúra a legújabb radiokarbon kormeghatározások alapján Kr..e. 6000-5400 közötti időkből Közép-Európa legkorábbi növénytermesztő kultúrája volt. Ekkor a növénytermesztésben döntő szerepet a pelyvás gabonák, az alakor, az árpa és a tönke termesztése játszott. A vonaldíszes kerámia kultúra népei szintén a kora neolitikum földművelői voltak Közép-Európában, növénytermesztésükben ugyanezen pelyvás gabonák szerepeltek döntő súllyal. A középső neolitikus tiszai kultúra régészeti lelőhelyeinek leletanyaga is letelepült, szántóföldi (alakor, tönke, két- és hatsoros árpa) valamint konyhakerti növények (lencse, szegletes lednek, borsó) termesztésével foglalkozó népességre utal. A hazai réz- és bronzkori (egymásra épülő) kultúrák közül a tellek lelőhelyeinek leletanyaga utal magas szintű növénytermesztési ismeretekre. A feltehetően sánccal védett tell települések lakói elsősorban alakort termesztettek. Ez mondható az alakor legutóbbi virágkorának, legnagyobb kiterjedésének idején a *T. monococcum*-ot a Kaukázustól az Ibériai-félszigetig és Észak-Afrikától Svédorszáigig termesztették (Vallega 1995). A vaskortól fokozatosan csökkent a növénytermesztésben betöltött szerepe.

A római kort (Pannóniában kb. 300-400-ig) már új földművelő, növénytermesztő technológiák, mindemellett pedig eddig ismeretlen haszonnövényfajok megjelenése és terjedése jellemezte. Az ókori Rómából származó írott források (Columella, Cato, Plinius, Varro) gabonafélék, hüvelyesek, szőlő- és gyümölcsstermesztésről, állattartásról és tudatos állattenyésztésről számolnak be. Ez a mezőgazdasági kultúra Pannóniában keveredett a bennszülött hagyományokkal. Ekkor már a korábbi korokban népszerű pelyvás búzafajai, az alakor és a tönke szerepét teljes egészében átvette a fejlettebb agrotechnikát igénylő csupasz szemtermésű vetési búza és törpebúza, előbbieket már csupán nyomokban fordulnak elő (2. ábra). Ennek tekintetében jelentős változást sem a népvándorlás kora, sem a

középkor nem hozott, az alakor termesztési területe erősen lecsökkent.



2. ábra: *Triticum* fajok makromaradványainak száma a Kárpát-medence régészeti korszakaiban (Gyulai 2010).

A Kárpát-medence éghajlati adottságai miatt bizonyos termesztési különbségek alakultak ki. Példa erre, hogy míg Felső-Magyarországon a XVII. században a búzát rozssal elegyesen vetették, addig Erdély területén ezt az un. abajdócot nem alkalmazták, viszont igen kedvelt volt az alakor. Az erdélyi vetésre hármas összetétel jellemző, amelyben túlnyomó részben búzát, kevesebb árpát és még kevesebb rozst vetnek, néha az utóbbi kettő elmarad, helyére őszi alakor kerül.

A XIX. század elején sem volt még jellemző igazi növénynevelés, az ekkori búzák még helyi tájfajták voltak, néhol ezek egyes tulajdonságait sikerült tömegkiválasztással felerősíteni. Ekkor az alakor, a tönke és a tönköly megnevezésben nem vált el élesen egymástól, erős rövid szalma, acélos szem és kiváló liszt jellemezte mindhármát (Gyulai 2009). Wesselényi Miklós zsigó uradalmából származó adatsor szolgáltat némi adatot az akkori alakortermesztés mértékéről. Az adatsor a zsigó uradalmi számtartó kezén 1833-ban átment gabona- és növényfajtákat veszi számba. Eszerint az uradalom raktáraiban-tárlóiban őszbúzából 2444, tavaszbúzából 990, rozsból 3076, alakorból 2896, árpából 1258 1/2, szemesmáléből 4388, zabból 7489, haricskából 7450, lencséből 201 9/16, paszulyból 148 7/16, kendermagból 209 véka mennyiség fordult meg. A jelentős mennyiségű gabonára a nagyszámú uradalmi személyzet ellátásához volt szükség. A

váltógazdaságokban tiszta búza, törökbúza, tavaszárpa, zab, alakor, kléh, kaszáló és legelő időnkénti cseréje jelentette a vetésciklus alkalmazását, amely a nagyobb terméseredményt volt hivatott biztosítani (Csetri 1996).

Azonban a pelyvás búzák vetési területe a csupasz búzához képest egyre csökkent, hiszen utóbbi jelentősen nagyobb hozammal rendelkezett. Ennek ellenére az alakor történelme jelentős, hiszen még a neolitikumban hozták be a földműves népek a Kárpát-medencébe és a múlt század második felében még termesztették hazánkban hegyvidéki, rendkívül sovány talajokon (Emödi 2011).

A csupasz vetési búza csak évszázadok alatt volt képes kiszorítani a pelyvás búzákat (alakor, tönke, tönköly) a termesztésből. Szakírók forrásaiból tudható (Gyulai 2009), hogy az alakor még napjainkban is fellelhető Szlovákiában, Lengyelországban, Franciaországban, Spanyolországban, Dél-Tirolban, a Balkánon, a Pireneusokban, Anatóliában, sőt még Indiában is. Termesztése ma elsősorban kis izolált, hegyvidéki területekre, medencékre korlátozódik, ugyanakkor az ökológiai gazdálkodás terjedésével Németországban, Svájcban és Olaszországban egyaránt növekszik termesztési területe (Koháry 2003). Az etnobotanikusok kutatásai révén Erdélyből is vannak ezzel kapcsolatos adatok. Krauss (1943) az erdélyi szászok lakta vidéken végzett kutatásai során az alakort Beszterce vidékéről, 42 faluból jelzi. Gunda (1966) az alakor termesztésének erőteljes visszaszorulásáról ír Erdélyben, 17 faluból jelzi, Zsemlyei (1974) a Kis-Szamos vidékéről is leírja. Péntek és Szabó (1981) átfogó tanulmányban írják le az alakor erdélyi helyzetét, rohamos eltűnését: 1977-ig termesztették a Fehér megyei Remetén, 1978-ig a kalotaszegi Nagykapuson és környező falvaiban, Széken pedig 1995 tájáig még foglalkoztak vele (Gyulai 2009).

Hazánkban is valószínűsíthető, hogy az ökológiai gazdálkodásban újra fontos szerephez fognak jutni az alternatív gabonafélék, főképp azok a fajok, melyek a megfelelő termőképesség mellett kiváló minőségűek, valamint fontos komponenseket tartalmaznak az egészséges táplálkozás kialakításához is (Kovács 2010). Ennek okán merül fel az igény olyan fajok bevonására a módszertani fejlesztésekbe, melyeket a konvencionális nemesítés a gyakorlatban nem használ, genetikai diverzitásuk gyakorlatilag még érintetlen, és egészséges, piacképes termék előállítására alkalmas (Kovács 2009a). A gabonafélék közül ezen igényeknek elsősorban a legősibb termesztett gabonafélék, az alakor (*Triticum monococcum* subsp. *monococcum*) és a tönke (*T. turgidum* subsp. *dicoccum*) a legalkalmasabbak (Kovács 2010). Többéves kísérletek igazolták, hogy az alakor termőképessége,

annak ellenére is, hogy pelyvás, apró szemű gabonaféle, számos fajtajelölt esetében jelentős. Fehérjetartalom tekintetében az őszi búzáénál magasabb értéket mutat, egyes fajták esetében kiugróan magas adatokkal. Sikértartalma tág intervallumban mozoghat, vannak típusok, melyek a magas fehérjetartalom ellenére sem tartalmazznak, más vonalak kimondottan magas, száraz évben az őszi búzáénál is magasabb sikértartalmat hoznak. Előbbiek a takarmányozásban, utóbbiak a humán fogyasztásban, sütőiparban hasznosíthatóak. Termesztésük létjogosultságát a szokványos gabonaféléknél magasabb bioaktív komponensstartalom támasztja alá (Kovács 2009b).

2.1.2 Az alakor előfordulása napjainkban, génbanki megőrzése

A gazdasági szempontból értékes gének beépítése az új genotípusokba a növénynemesítés feladata, az azonos származású génerőforrások hasznosításával azonban az új növényfajták genetikai változatossága csökken. Az intenzív fajták térhódítása veszélyezteti a világ genetikai alapanyagát, a génerózió megállításához elengedhetetlen a még fellelhető genetikai erőforrások megőrzése, megmentése (Vörösváry et al. 2002). Egy faj egyedeiben az evolúció során létrejött génkombináció kialakulása ugyanis nem ismétlődhet meg, egy faj vagy fajta kipusztulása annak egyedeire jellemző egyszeri, megismételhetetlen génállományának visszavonhatatlan elvesztését jelenti (Ángyán és Menyhért 2004).

Genetikai tartalékainak többségét szerencsére a termesztésükhöz különböző okokból ragaszkodó népcsoportok megőrizték, fajtaválasztékuk azonban napjainkban viszonylag szűkös, a termesztési tapasztalatok korlátozottak. A hazai kutatások számára könnyebb helyzetet biztosított, hogy génbankjaink jelentős mennyiségű alakor tételt őriztek meg, és az ország egyes elszórt területein is volt még termesztésben. Ez a háttér sikeres kutatási programok kialakítását tette lehetővé a nemesítők számára (Kovács 2010).

A génbankok által végzett génmegőrzési tevékenység két fő típusa az *in situ* és az *ex situ* megőrzés. Az *in situ* stratégia a diverzitás természetes élőhelyen történő megőrzése, az *ex situ* a természetes élőhelyen kívül végzett felszaporítást, mintavételt és tárolást jelent (Maxted et al. 1997). Hagyományosan a növényi génerőforrások megőrzésében az *ex situ* módszerek használata jellemző (Frankel és Bennet 1970, Frankel 1973, Frankel és Hawkes 1975, Brown et al. 1989, Guarino et al. 1995, Hawkes et al. 2000). Az *ex situ* stratégia vizsgálataim szempontjából érintett

lépései a magminták begyűjtése egy területről, azok génbankba történő beszállítása tárolás céljából és maga a tárolás, ami a minták megfelelő nedvességtartalomra történő szárítását követően általánosságban azok 0° C alatti hőmérsékleten való elhelyezését jelenti. A két génmegőrzési stratégiai forma lehetővé teszi a növénytermesztők szükségletének ellátását, ami igazolja a megőrzendő génállomány fenntartásának szükségességét, különösképpen, ha figyelembe vesszük a jövőben kiszámíthatatlan környezeti változások ellensúlyozásában betöltött szerepét (Negri et al. 2009). Génforrásként az alakor estében, annak rendkívül kis területen való termesztése okán főképp ezek a génbankban tárolt tételek jöhetnek szóba, még azzal a ténnyel együtt is, hogy az alakor génbankban tárolt genotípusainak száma a pelyvás kalászosok közül a legalacsonyabb (Perrino et al. 1996, Megyeri 2014). A legnagyobb *T. monococcum* gyűjtemény 608 tétellel az európai génbankok *Triticum* fajokat tartalmazó adatbázisa (European Wheat Database) alapján Olaszországban található ISC S. Angelo Lodigiano), jelentősebb számú tételt őriznek még Törökországban (AARI, Izmir 285 tétel), Németországban (IPK, Gatersleben 145 tétel; FAL, Braunschweig 285 tétel) és Oroszországban (VIR, Szentpétervár 104 tétel). Magyarországon két helyen, a tápiószelei Növényi Diverzitás Központban 193 alakor tételt, az MTA ATK Mezőgazdasági Intézetének Gabona Génbankjában 292 *T. monococcum* tételt őriznek (European Wheat Database).

A tápiószelei Növényi Diverzitás Központ (NöDiK) alakor gyűjteményéhez tartozó tételek részben saját gyűjtések, másrészt génbanki magcsere útján kerültek a génbankba. Az 1959-ben alapított és 1993-tól országos koordinációs feladatokat ellátó, génforrás megőrző központtá alakult intézmény fő feladata az országos szántóföldi- és zöldségnövény génbank gyűjtemények fejlesztése, ezek agrobotanikai értékelő vizsgálata, dokumentálása és közreadása, valamint közép- és hosszú távú megőrzése hűtött magtárolókban, vagy esetenként merisztéma kultúrákban. Ehhez kapcsolódik a helyi körülményekhez alkalmazkodott hazai tájfajták, ökotípusok és populációk eredeti termőhelyen („*in situ*”, „*on-farm*”) történő fenntartásának és hasznosításának szervezése és irányítása. A NöDiK jelenleg a szántóföldi és zöldségnövények körében teljes körű génbanki tevékenységet folytat, gyűjteményének 40 %-át gabonafélék teszik ki.

A gabonafélék – így az alakor – megőrzését mag formájában végzi az intézet. A tételek megőrzése hűtött magtárolókban, alacsony (4-5 %) magnedvesség tartalom mellett történik.

Bázis gyűjtemény: A géntartalékok hosszú távú megőrzését biztosító gyűjtemények a maggal szaporított növények esetében. Tárolási hőmérséklet $-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$, párazbiztos csomagolóanyag (konzervdoboz, üveg ill. laminált alumínium fólia tasak) alkalmazásával. Várható minimális tárolási élettartam 100 év fölött (gabonák és hüvelyes növények esetében).

Aktív gyűjtemény: A génforrások közreadását, illetve vizsgálati és kutatási célokat szolgáló gyűjtemények. Tárolási hőmérséklet: $+5 - 10^{\circ}\text{C}$ között. Várható tárolási élettartam 20-30 év között.

Ezt egészíti ki az MTA ATK Mezőgazdasági Intézetének Gabona Génbankja, amely 218 *T. monococcum* subsp. *monococcum* (termesztett alakor) és 74 *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* (vad alakor) tételt tartalmaz. Az alakor genotípusainak jellemzésével számos kutatócsoport foglalkozik világszerte, mivel a fajjal kapcsolatos vizsgálatok alapját alapvetően a génbankban tárolt tételek képezik. Génbanki tételeinek jellemzése az új génforrások azonosításában és az alakor genotípusok közvetlen felhasználása során is hasznosítható, értékes adatokat, információkat szolgáltatva azok minőségi és agronómiai tulajdonságairól (Vallega 1992, Moudry et al. 2011). Ilyen felmérések során azonosítottak előnyös agronómiai tulajdonságokkal (alacsony növénymagasság, korai kalászolás) (Castagna et al. 1996, Empili et al. 2000) rendelkező, valamint kiemelkedő levélrozsda (*Puccinia triticina*) rezisztenciával bíró tételleket (Hammer et al. 1996), de jelentős különbséget tártak fel a tételek között más betegségekre, pl. szártörő gombára (*Tapesia yallundae*) való rezisztenciára vonatkozóan is (Cadle et al. 1997). Ez alapján érzékelhető az alakor megőrzött diverzitásában és nemesítésében rejlő lehetőség, a kinemesített vonalaiban egymástól rendkívül eltérő minőségű típusok találhatóak, alkalmassá téve azokat különböző végfelhasználói cél elérésére (Megyeri 2014).

Az európai termelési rendszereken végzett tájfajta diverzitásvizsgálatok igazolták, hogy azok, mindamellet, hogy rendkívül változatos és összetett genetikai struktúrával rendelkeznek, a fenntarthatósággal kapcsolatos stratégiák kidolgozásában is szereplő dinamikus és fejlődő entitások. Egyre nő azoknak a vizsgálatoknak a száma, melyek azt kutatják, hogyan járulhat hozzá a termelési rendszerek genetikai diverzitásszintjének növelése a betegségek, kártevők, csapadékingadozások és a klímaváltozás kockázatainak csökkentéséhez (Negri et al. 2009).

A termesztésben lévő alakorfajták és -tájfajták száma azonban napjainkban minimális. A helyzetet rontja, hogy a mezőgazdaság Európában és a világ legtöbb területén komoly változáson ment át a huszadik században. A XIX. század elején a nagyrészt vidéki területeken élő lakosság mezőgazdasága hagyományos rendszerekre épült, saját gazdaságból származó termelési tényezőkkel, beleértve a vetőmagokat is. Napjainkban azonban a kereskedelmi forgalomban lévő, genetikailag egységes vetőmagok uralják az európai mezőgazdasági termelést. Az erre vonatkozó jogszabályok a növénynevek egységesítését szorgalmazták, azonban ez a költséges DUS vizsgálat elvégzése miatt azt eredményezte, hogy a fajtalistára a régi fajták nem kerültek fel, bekorlátozva ezek termesztését, lecsökkentve a termelésben lévő fajta szortimentet. Új, genetikailag egységes fajták és hibridek váltották fel a hagyományos, genetikailag diverzebb növényfajtákat, utóbbiak sem tűntek még el teljes mértékben a termesztésből.

Mindent egybevéve a mezőgazdasági növények genetikai erőforrásaihoz jelenleg a modern fajták és hibridek, termesztési vonalak, genetikai állományok, ökotípusok, régi-és tájfajták, valamint a termesztésben lévő növények vad rokonai sorolhatóak. Az első három esetben az aktív megőrzés jórészt megoldott, így utóbbiak, a vad rokonok, a tájfajták és ökotípusok alkotóinak védelmére van a legnagyobb szükség jelenleg. Nagy kérdést vet fel szakmán belül is, hogy ez milyen módon oldható meg, különösképpen amiatt, hogy ezek listája nem ismert, nem tudjuk milyen változatok léteznek pontosan, a sokféleségük csökkenésének, elvesztésének megakadályozásához nem áll rendelkezésre a változásait összehasonlító leltár. A gazdálkodók és nemesítők által használt diverzitás génbanki ex situ megőrzése sem szisztematikus, többnyire véletlenszerű gyűjteményeket tárolnak (Negri et al. 2009). További nehézséget jelent, hogy a régi és tájfajták, a primitív fajták és a vadon élő növények anyagai közötti különbségek passzporton történő dokumentálása sem következetes, így az adatbázisok lekérdezése során kapott információkat felül kell vizsgálni a kutatások előtt (Maxted et al. 2009).

A tájfajták védelmében – mivel általában változatos növényi populációkról és nem különálló taxonokról van szó – elsődleges szempont, hogy a tájfajtán belüli diverzitás teljes köre megőrzésre kerüljön, ne csak önmagában a tájfajta reprezentációja. A IUCN Vörös Lista kategóriáinak hagyományos alkalmazása sem feltétlenül irányadó a tájfajtákat érintő fenyegetettség felmérésében. Mindezek fényében nagy jelentőséggel bír az ezen tételek megőrzésére alkalmas módszerek

fejlesztése, széles körű alkalmazása, valamint gyűjtemények kialakítása szisztematikus karakteranalízis kidolgozása céljából. (Lehmann 1981). Mivel napjainkig a fajták diverzitásának nyilvántartására, szisztematikus megőrzésére nem került sor, az azokat veszélyeztető kockázati tényezők mértéke sem ismert. A genetikai diverzitás elvesztésének és a génerózió részletes folyamatának megismeréséhez szükség lenne egy részletes vizsgálatra a termesztett növények génkészletének nagy részéről, annak tényleges veszteségeiről, genetikai idősor-értékelési technikák alkalmazásával. A vizsgálat részét kell képezze az *ex situ* gyűjtemények számára mintavételezett és az azokban tárolt populációk, genetikai változatok és a köztük lévő különbségek értékelését, az azonos termőhelyről származó, frissen begyűjtött mintákkal való összehasonlítást, ami a genetikai diverzitás mintáinak időbeli változásáról is információkat nyújthat (Lorenzetti és Negri 2009).

A legújabb, 2013. április 9-én Rómában elfogadott Génbank Szabvány 4.5. fejezete részleteiben kitér a genetikai erőforrások jellemzésének és leírásának alapelveire. A szabvány az elsők között meghatározza, hogy a jellemzés és leírás szabványos és kalibrált mérési formátumokon alapuljon és a jellemzési adatok kövessék a nemzetközi egyezmények szerinti leíró listákat, valamint nyilvánosan elérhetőek legyenek.

A jellemzés a növényi genetikai erőforrások leírása. Meghatározza az öröklődő vonásokat a morfológia, fiziológiai és agronómiai jellemzőktől kezdve a magokban található fehérjéig és olajig, vagy molekuláris jelzőkig.

A jellemzés a megőrzési folyamat bármely szakaszában elvégezhető, feltéve, hogy rendelkezésre áll elegendő mag, amelyből minta vehető. Alapvető az őrzött csíraplazmák ismerete, és lehető legalaposabb leírása a lehető legnagyobb hasznosságuk biztosítása céljából a növénytermesztők számára. Ezért a jellemzést a gyűjtemények értékének növelése céljából minél hamarabb el szükséges végezni. Egy minimális sor fenotipikus fiziológiai és kvalitatív tulajdonság, valamint morfológiai leírások és a szaporodási rendszer adatai is hasznosak a jellemzés során.

A jellemzés segítségével felfedezhető a tételeken belüli és a közöttük fellelhető diverzitás. A referencia gyűjtemények (herbáriumi példányok, vetőmag herbárium, fényképek) alapvető szerepet játszanak a „true-to-type” azonosításban.

A jelenleg is használatban lévő búza deskriptort 1985-ben állították össze, melyben a szemméretet illetően csak a hosszúság kerül említésre, ennek bővítésére ad lehetőséget a szem paramétereinek széles körű, objektív mérése és dokumentálása (http1).

Fenti követelményeknek az alakor sokféleségének vizsgálata a morfometria módszerével tökéletesen eleget tesz, hiszen a mérések alapvető morfológiai tulajdonságokat rögzítenek objektív szempontokat figyelembe véve, bármikor megismételhető, hiszen a magok nem pusztulnak el, nem semmisülnek meg és nem változik az életképességük sem. A génbanki munka szempontjából utóbbi kitétel a legfontosabb, hiszen a génbanki munka alapvetően kis magmennyiségekkel folyik, így minden egyes mag elvesztése nehezíti a génmegőrzés megfelelő színvonalú ellátását. Az olyan módszerek, amelyek a megőrizni kívánt magot eredeti formájában, életképesen megőrzik, előnyben részesítendőek. Mindamelllett a morfometria módszere olcsó és környezetkímélő, hiszen a laborvizsgálatokkal ellentétben nincs vegyszerigénye. Ezen kívül a vizsgálat eredménye bármikor ellenőrizhető, mivel a rögzített anyagok rendelkezésre állnak.

2.1.3 Az alakor intraspecifikus rendszertana, változatai

Az alakor alfajokon belüli, változat szintjén való azonosításhoz szükség van a *T. monococcum* rendszertanának jelenleg elérhető, legrészletesebb ismeretére. A búzafajok taxonómiájával és azon belül az alakor természetes rendszerezésének kidolgozása számos kutatás témája volt. Persival 1921-es publikációjában található az első *Triticum* nemzetségre vonatkozó rendszerezés 7 fő típus megjelölésével. Ezt követően Vavilov 1923-ban sorolja három csoportba az akkor ismert búzafajokat: I. durva kalászú (*rigidum*), II. tönkölyhöz hasonló (*speltiforme*), III. Európa és Szibéria termesztett búzái (*indo-europaeum*). Ez alapján dolgozta ki 1929-ben Flaksberger a *Triticum* nemzetség földrajzi-morfológiai alapon történő besorolását figyelembe véve a fajok ökológiai-fiziológiai tulajdonságait. Három sorozatra bontja azokat: (*Diploidea*, $n = 7$, *Tetraploidea*, $n = 14$, *Hexaploidea*, $n = 21$). A *Diploidea* sorozaton belül két fajt ír le: a *spontaneum*-ot két alfajjal (*aegilopoides*, *thaoudar*) és a *monococcum*-ot három proles-szel (*heothinum*, *alemannum*, *ibericum*). Az 1935-ben kidolgozott rendszerében azonban már a *T. monococcum*-nak 3 proles-éről 2 változatról és 11 formájáról tesz említést (Vörösváry et al 2002). 1946-ban Schiemann szintén 3 proles-et (utódot) ír le (1. táblázat):

1. táblázat. A *T. monococcum* 3 proles-ének tulajdonságai, termesztési területei.

<i>Triticum monococcum</i>	Tulajdonságok	Termesztési terület
proles <i>heothinum</i>	kicsiny, későn érő kalászkok, világos színű változatok	Traszkaukázus, Krím, Anatólia
proles <i>alemannum</i> legelterjedtebb változata a var. <i>hornemannii</i>	nagy, későn érő kalászkok, tavasziak, de gyakran vetik ősszel is	Dél-Németország, Baden
proles <i>ibericum</i>	kis kalászú, korai változatok	Nyugat-mediterrán vidéke

Gökgöl 1955-ben szintén erre a besorolásra alapozva leírja, hogy a *T. monococcum* prol. *heotinum* Flaksb. a két másik csoport potenciális progenitorja. Emellett bővíti a proles-ek leírását: A *T. monococcum* prol. *heotinum*-ot keleti típusként definiálja, leírva, hogy kalászorsója és a kalászkák alsó része, enyhén szőrözött, a növény közepesen magas. A *T. monococcum* prol. *alemannum* Flaksb. kalászorsóját simának írja, a *T. monococcum* prol. *ibericum* Flaksb. elterjedését pedig Spanyolországban, Dél-Franciaországban és Marokkóban említi (Perrino et al. 1996). A pelyvás gabonákra vonatkozóan a legszélesebb körű botanikai felmérés specifikus és infraspecifikus szinteken Dorefeev és munkatársai nevéhez kötődik (1979). Azonban ezzel együtt sem született a mai napig megállapodás elfogadott taxonómiai kategóriákkal kapcsolatban infraspecifikus szinteken. A gyakorlati rendszereknek szükséges lenne tudni, hogy melyek azok a vadon élő taxonok, melyek az alfajok (subspecies) és változatok (varietas) szintjén kezelhetők és melyek azok a termesztett növények besorolásában szerepet játszó rendszertani kategóriák, melyek fajta (convarietas) és kutúrváltozat [(pro)varietas] szinten, összhangban a termesztett növények botanikai nomenklatúrájának nemzetközi kódexével. Szabó és Hammer (1995) javaslata alapján az ember által végzett szelekció eredményezte növénypopulációk osztályozásában a taxonómiai kategóriáknak még rövidítés szinten is jeleznie kellene a természetes és mesterséges szelekció megkülönböztetését: subsp. a spontán és (supra) convar. a termesztett nagyobb csoportokra vonatkozóan, var. a spontán és provar. a termesztett kisebbekre. A legkisebb spontán taxonómiai kategóriák esetében az f. (forma) és a megművelt cv. (fajta) elnevezésre tesznek javaslatot. Ennek a szisztémának a következes használata információkkal is szolgálna egy csoport házasított vagy spontán természetéről, arról, hogy annak kialakulásában és fejlődésében milyen szelekciós tényező játszott

szerepet (Szabó és Hammer 1995). A vonalakat Szabó és Hammer (1995) három leírt kalászmorfológiai paraméter, a pelyva színe, a szálka színe és a pelyva fényessége alapján csoportosították botanikai fajtákba (Guzmán et al 2009). Ennek általános alkalmazását azonban egyelőre nem sikerült elérni. Az okozott problémára jó példa az alakor, melynek intraspecifikus besorolása a mai napig zavaros, változó, összekeverhető populációk és a kevésbé nyilvánvaló allélfrekvencia különbségek okán. Az alakor esetében az alábbi szinteken azonosítható az infraspecifikus variabilitás (Szabó és Hammer 1995):

***Triticum monococcum* subsp. *aegiloides* (boeoticum Migusch. et. Dorof.)**

Bokrosodásig a fiatal növény a talaj mentén nő, bokrosodás idején áll fel. A szára vastag, erős, rugalmas, a náduszok sokszor ibolyaszínűek, 40-100 cm hosszúak, kedvező környezeti adottságok, körülmények mellett magasabbra is nőhetnek. Levele keskeny (7-13 mm), 14-27 cm hosszú, zöld színű, növényi szőrrel borított. A fülecskék lila színűek. A kalász 5-12 cm hosszú, lapított, előlnézetből 2-2,5 mm, oldalnézetből 4,5-9 mm vastag. A kalásonkénti szemtermésszám (D) 25-50 között változik. Éréskor a kalász szétesik kalászkákra, a kalász felső részén lévő kalászkák hamarabb érnek be, mint az alsók. A kalász növényi szőrökkel sűrűn borított, melynek hossza néhol eléri a 1,5-3 mm-t, szakállszerű képződményt alkotva. 1 illetve 2 szálkás (soros) kalászok egyaránt előfordulnak. A kalászka általában keskeny, hosszúkás, 6-8 mm hosszú és 2-2,5 mm széles. A szálkás pelyva rövidebb, mint a virágpelyva, szárnyyszerű. Virágpelyvából kétféle található: külső illetve belső. A belső pelyva valamivel hosszabb, mint a külső, az egyszálkás növény esetében a külső virágpelyva 6-11 cm-es szálkával rendelkezik, kétszálkásnál a külső virágpelyvák azonos hosszúságúak. A szálkák kemények, fűrészeseek. A virágpelyva érett állapotban két részre esik szét az alapból kiindulva. A szemtermés 5,6-7,9 mm hosszú, szélessége 1-1,5 mm, vastagsága 2-2,6 mm, lapított. Ezermagtömege 16-27 g, erősen viaszos (üveges), vörös, ritkábban zöld színű. Fehér szemtermést még nem jegyezték fel. A terméshéj rendkívül vékony, a külső magszövet mindössze egyetlen sejtsorból képződik. A csőszerű sejtek egyenletesen oszlanak el a mag felületén. A kalászkákban többségében egy szemtermés található, a kétszemű kalászka ritka. Az alfajon belül 37 változatot írtak le (2. táblázat), melyből öt szerepelt a morfometriai vizsgálatban (zöld színnel jelölve), egy vizsgált tételnél nem szerepelt változat szintű besorolás:

2. táblázat. A *Triticum monococcum* subsp. *aegilopoides* változatai.

A subsp. <i>aegilopoides</i> változatai									
pelyva							szálka		változatok
fehér	fekete csíkos	vörös	vörös-fekete csíkos	fekete		szürkés vörös alapon	pelyvával megegyező színű	fekete	
				fehér alapon	vörös alapon				

Szálkás kalász

Pelyva szőrrel nem borított

Vörös szemtermés

+	-	-	-	-	-	-	+	-	<i>boeoticum</i>
+	-	-	-	-	-	-	-	+	<i>pseudoboeticum</i>
-	+	-	-	-	-	-	+	-	<i>albinigrum</i>
-	-	+	-	-	-	-	+	-	<i>symbolense</i>
-	-	+	-	-	-	-	-	+	<i>larionovii</i>
-	-	-	+	-	-	-	+	-	<i>theydjerabaki</i>
-	-	-	-	+	-	-	-	+	<i>pantchitchii</i>
-	-	-	-	-	+	-	-	+	<i>baydaricum</i>
-	-	-	-	-	-	+	-	+	<i>avdalaricum</i>
+	-	-	-	-	-	-	+	-	<i>thaoudar</i>
-	+	-	-	-	-	-	+	-	<i>nigrireuteri</i>

Zöld szemtermés

+	-	-	-	-	-	-	+	-	<i>viridiboeticum</i>
+	-	-	-	-	-	-	-	+	<i>aznaburticum</i>
-	-	+	-	-	-	-	+	-	<i>viridisymbolense</i>
-	-	+	-	-	-	-	-	+	<i>buluchevskajae</i>
-	-	-	+	-	-	-	-	+	<i>larisae</i>
-	-	-	-	+	-	-	-	+	<i>nigrichlorococcum</i>
-	-	-	-	-	+	-	+	-	<i>gandiljanii</i>

Pelyva szőrrel borított

Vörös szemtermés

+	-	-	-	-	-	-	+	-	<i>zuccarinii</i>
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-------------------

+	-	-	-	-	-	-	-	+	<i>pseudozuccarinii</i>
-	+	-	-	-	-	-	+	-	<i>garniense</i>
-	-	+	-	-	-	-	+	-	<i>mayssurianii</i>
-	-	+	-	-	-	-	-	+	<i>pseudomayssurianii</i>
-	-	-	-	+	-	-	-	+	<i>pubescentinigrum</i>
-	-	-	-	-	+	-	-	+	<i>helenae</i>
-	-	-	-	-	-	+	-	+	<i>cinereum</i>

Zöld szemtermés

+	-	-	-	-	-	-	+	-	<i>kovarskii</i>
-	-	+	-	-	-	-	+	-	<i>chochlovae</i>
-	-	+	-	-	-	-	-	+	<i>garasseferianii</i>
-	-	-	+	-	-	-	-	+	<i>daralagezicum</i>
-	-	-	-	+	-	-	-	+	<i>kurbagalense</i>
-	-	-	-	-	+	-	-	+	<i>mikoiani</i>
-	-	-	-	-	-	+	-	+	<i>ainazuri</i>

Kalász részben szálkás

Pelyva szőrrel nem borított

Vörös szemtermés

+	-	-	-	-	-	-	+	-	<i>subalbum</i>
+	-	-	-	-	-	-	-	+	<i>subpseudoalbum</i>
-	-	-	-	+	-	-	-	+	<i>subpantchitchii</i>
-	-	-	-	-	+	-	-	+	<i>subbaydaricum</i>

Zöld szemtermés

+	-	-	-	-	-	-	+	-	<i>microspermum</i>
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Pelyva szőrrel borított

-	-	-	-	+	-	-	-	+	<i>subpubescentinigrum</i>
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----------------------------

Triticum monococcum* subsp. *monococcum

A növény 60-130 cm magas, keléskor sötétzöld színű, ekkor még enyhén szőrözött. Intenzíven bokrosodik, a bokor egyenesen álló, a szár az első nádusztól kezdve fölfelé emelkedik. Az alsó internódusz rövid, 4-6 cm. A levelek rövid, finom növényi szőrrel borítottak, nem simák, keskenyek, a levél hossza 18-35 cm, szélessége 0,6-

0,8 cm. A kalászkok hossza 4,5-9 cm között változik, rövidebb, mint a vad aegilopoides esetében, de szélesebbek és erősebben lapítottak. A kalászkok sűrűek (D=40-55). A pelyvák sima tapintásúak, szőrrel nem borítottak, a kalászorsó törékeny, sok esetben a felső kalászkák maguktól letörnek. A szálkák hosszabbak, de előfordul rövidebb is, nem sima tapintásúak. A kalászkák oválisak és hosszúkás alakúak. A szemtermés keskeny, a hossz: szélesség: vastagság aránya 10:3:4. Fehér szemtermés nem fordul elő. A szemtermések nagyok, nagyobbak, mint a vad változatnál, üvegesek, vörös színűek. Amennyiben a második virágból is fejlődik szemtermés, az később érkezik be, mint az első virágból kialakult termés. A szemtermés felépítése: a termés külső rétege vastagabb, mint a aegilopoides esetében, a termés réteges szerkezetű. Egyes szakaszok esetén pl. pericarpium külső sejtsorában a sejtfal befásodik. Előfordulása elsősorban hegyvidéki területeken jellemző, pl. Grúziában és Spanyolországban. Vizsgálták a növény előfordulásának alakulását a tengerszinttől való magasság függvényében, melynek során azt találták, hogy nem igényes növény, Grúziában 900-1600 m-es magasságban is előfordul. Bulgáriában is regisztrálták előfordulását. Gombabetegségekkel szembeni ellenállósága viszonylag magas, ez a aegilopoides esetében is igaz, de utóbbi bizonyos időjárási körülmények között érzékenyebb. Vavilov úgy nevezte meg, mint a komplex immunitás akkumulátora (1923), ugyanakkor egyes típusok bizonyos gombabetegségekkel szemben veszélyeztetettek. Dorofeev a *T. monococcum* subsp. *monococcum* 14 változatát írta le (3. táblázat), melyből hat tétel szerepelt a morfológiai vizsgálatokban (zöld színnel jelölve):

3. táblázat: A *T. monococcum* subsp. *monococcum* változatai (Dorofeev et al. 1979).

<i>T. monococcum</i> változatai						
Pelyva				Szálka		Változatok
fehér	vörös	fekete		pelyvával megegyező színű	fekete	
		fehér alapon	vörös alapon			
Pelyva szőrrel nem borított <i>Pelyva barázdált, matt, viaszos</i>						
+	-	-	-	+	-	<i>Monococcum</i>
+	-	-	-	-	+	<i>Tauricum</i>
-	+	-	-	+	-	<i>Flavescens</i>
-	+	-	-	-	+	<i>Pseudoflavescens</i>
-	-	-	++	-	+	<i>Sofianum</i>
Pelyva sima, fényes						
+	-	-	-	+	-	<i>Macedonicum</i>
+	-	-	-	-	+	<i>Pseudomacedonicum</i>
-	+	-	-	+	-	<i>Vulgare</i>
-	+	-	-	-	+	<i>Atriaristatum</i>

-	-	+	-	-	+	<i>symphaeropolitanum</i>
-	-	-	+	-	+	<i>nigricultum</i>

Pelyva szőrrel borított

+	-	-	-	+	-	<i>hohensteinii (albohornemannii)</i>
-	+	-	-	+	-	<i>hornemannii</i>
-	+	-	-	-	+	<i>pseudohornemannii</i>

Emellett rendelkezésre állnak a természetett változatscsoportok (convarietes, provarietes) szinonímái és elterjedési területei (4. táblázat):

4. táblázat. A *T. monococcum* subsp. *monococcum* változatainak szinonímái, elterjedési területei.

Változat	Szinoníma	Elterjedési terület
provar. <i>atriaristatum</i> Flaksb.	Syn. subsp. <i>nigroatrum</i> Flaksb.	Németország, Franciaország, Kis-Ázsia
provar. <i>flavescens</i> Koern. in Koern.		Kisázsia, Balkán, Alpok, Németország, Franciaország, Spanyolország, Marokkó
provar. <i>hohensteinii</i> Flaksb.	Syn. subsp. <i>tatancum</i> Kovarsk. var. <i>ratschinicum</i> Dekapr. et Menabde gr. <i>albohornemannii</i> Flaksb.	Németország, Grúzia, Krím
provar. <i>hornemannii</i> (Clem.) Koern. A Koern. et Wern.soc. 1885.	Syn.: <i>T. hornemannii</i> Clem., <i>T. pubescens</i> Bieb. var. <i>pubescens</i> (Bieb.) Koern. <i>T. monococcum</i> subsp. <i>sangesuri</i> Thum.	Spanyolország, Németország, Svájc, Ausztria, Balkán, Kaukázus, Krím
provar. <i>macedonicum</i> Papag. 1919.	Syn.: <i>T. monococcum</i> var. <i>eredvianum</i> Zhuk., f. <i>punctatum</i> Stransk.	Balkán, Kis-Ázsia, Grúzia, Krím
provar. <i>monococcum</i>	Syn. var. <i>laetissimum</i> Koern.	Kis-Ázsia, Balkán / Bulgária, Macedónia Volt Jugoszlávia / Spanyolország, Franciaország, Marokkó
provar. <i>nigricultum</i> Flaksb.		Kis-Ázsia, Balkán, Olaszország, Németország, Krím
provar. <i>pseudoflavescens</i> Flaksb.		Németország, Spanyolország, Jugoszlávia és Kis-Ázsia
provar. <i>pseudohornemannii</i> Dakapr. et Menabde.		Grúzia, Krím, Németország
provar. <i>pseudomacedonicum</i> Flaksb.	Syn. <i>pseudoerdevianum</i> Zhuk.	Törökország, Bulgária, Krím
provar. <i>sofiano</i> Stránsk.		Bulgária

provar. <i>symphaeropolitanum</i> Drosd.		Kis-Ázsia, Balkán, Krím
provar. <i>tauricum</i> Drosd.		Kisázsia, Krím, a Balkánon, Olaszország, Spanyolország, Marokkó
provar. <i>max</i> Koern.		Kisázsia, Balkán, Krím, Ausztria, Németország, Franciaország, Spanyolország, Transzkaukázia

Továbbá leírtak két Erdélyben gyűjtött tájfajtacsoportot:

– provar. *clusii* Szabó et Hammer h.l.: a convar. *monococco* *spiculae* partim *biflorifertilae*, *cariopsae* partim *nudae* differt. Típus: Transsylvania 1977/1990, Leg. A. T. Szabó. Holotype: in Herbarium Lab. Ecol. Genet. Evol. Crop., No. 3547RG, UWH, BDTF, Szombathely, Magyarország.

Abban különbözik a *T. monococcum* convar. *monococcum*-tól, hogy a csupasz szemek nagyobb gyakorisággal fordulnak elő benne, a *T. monococcum* (supra) convar. (subsp.) *sinskajae*-hez viszonyítva viszont ebben sokkal alacsonyabb a csupasz szemek aránya és más a kalászok morfológiája. Úgy tűnik, hogy a 16. és 19. században kialakult helyi választásokat képviseli, de a 20. század második felének drámai genetikai eróziója miatt evolúciója megállt (Szabó és Hammer 1995).

- Bözödi tájfajta: Bár Magyarországról már a 19. század végén az alakor eltűnt a termesztésből, Erdélyben még a 20. század végéig fellelhető volt, de már itt is csak szalmafonat készítése céljából termesztették. Ekkor került begyűjtésre az elárasztott Bözöd faluból származó tájfajta, melyet negyedszázada behoztak Magyarországra, ahol újból termesztésbe vonták ezt a mai értelemben nem nemesített tételt (egyensúlyi populációt). Agronómiai tulajdonságai kedvezőbbek a nemesített fajtákéhoz viszonyítva, talajelőkészítés, elővetemény szempontjából igénytelen, félkötött dombvidéki, sovány és síkvidéki homokos talajon is jól termesztendő, betegségellenálló, tápanyagutánpótlást növényvédelmet nem igényel, ősszel és tavasszal egyaránt vethető járóbúza. Emberi fogyasztás és állati takarmányozás szempontjából előnyös beltartalmi értékekkel bír. Tulajdonságai alapján a tájfajta rendkívül értékes genetikai értékekkel rendelkezik (Gyulai 2018).

Ezen felül minimális adat áll rendelkezésre a *T. monococcum* fajon belüli változatokról, részletes leírásuk, egyéb szinonimákról, változatokról nem érhető el

adatbázis vagy nemzetközi publikáció. A teljes növények morfológiai leírása sem hozzáférhető, leszámítva Vörösváry és munkatársai felvételezésének eredményeit, melyben öt alakorváltozaton végeztek két egymást követő évben (2001,2002) tenyészkerti vizsgálatokat, felvételezve azok fontosabb morfológiai bélyegeit, valamint a kalászkák és szemtermések néhány jellemzőjét (5. táblázat):

5. táblázat. A házasított alakor öt változatának jellemzői (Vörösváry et al. 2002).

Alakor- változat	Év	Növény- magasság (cm)	Kalász- hossz (cm)	Kalászká- szám/kalász	Ezerszem- tömeg (g)	Pelyva- fog	Pelyva felülete	Szemtermés mérete (mm)	
								hossz	szélesség
<i>flavescens</i>	2001	80,2	5,78	21	30,23	Tomba	kopasz	8,1	3,7
	2002	115	6,74	28	32,84			Legrövidebb	
<i>hornemannii</i>	2001	94,26	9,86	32	26,05		szőrözött	8,4	
	2002	106,2	9,17	32	26,64				
<i>albo- hornemanii</i>	2001	87,4	7,95	29	33,06	Tomba	szőrözött	7,4	
	2002	99	6,26	29	29,55				
<i>macedonicum</i>	2001	88,4	7,33	28	29,66	Tomba	kopasz		
	2002	93,86	4,6	23	28,27				
<i>atriaristatum</i>	2001	83,7	7,61	27	25,94	Hegyes	kopasz	7	2,7
	2002	86,2	8,71	32	21,12			Megnyúlt, leghosszabb	

Ezen információk, az infraspecifikus osztályozás jól hasznosítható a növényi génerőforrások begyűjtésében (Hanelt és Hammer 1995), a génmegőrzési gyakorlatban és általánosságban a taxonómiai munkákban. Olyan morfológiai karaktert írnak le, melyek szükségesek egy adott tétel jellemzésére (Szabó és Hammer 1995). Az egyes fajok állományainak részletes tanulmányozása lehetővé teszi a nemesítők és botanikusok számára eddig ismeretlen változatok és formák feltárását is. Egyes kultúrfajok és azok vad rokonai, mint például a vad és termesztett alakor fajon belüli állományainak osztályozásával lehetővé válik a fajra jellemző örökletes változékonyság vizsgálata, annak módszertani kidolgozása. A tényadatok alapján összeállítható a jellegek örökletes változékonyságának rendszere, amely tartalmazza mind a vegetatív szervek ismérveit, mind a fajt alkotó formák, változatok teljes biológiai változatosságát (Perrino et al. 1996).

2.1.4 Digitális képfeldolgozás alkalmazása a magmorfometriai adatbázis készítéséhez

Az agrárkutatások gyakori problémája, hogy a vizsgálatok során alkalmazott mérési, kiértékelési módszerek pontatlanok, szubjektív elemeket is tartalmaznak, mindezek bizonytalanná tehetik az eredményeket, adott esetben a vizsgálat többszöri ismétlését teszik szükségessé. Ennek kiküszöbölésére ad lehetőséget a számítógépes képfeldolgozás (Berke et al. 2010). Napjainkban a számítógéppel végzett

képfeldolgozás az egyik legnagyobb ütemben fejlődő tudományág, amely ötvözi a számítástechnikát, a matematikát és az elektronikát. A környezet vizuális információinak feldolgozása, kiértékelése számítógép segítségével történik. A folyamat során elsőként a háromdimenziós objektumokat kétdimenzióssá szükséges átalakítani, majd digitalizálni, azaz a számítógéppel történő feldolgozásra alkalmassá kell tenni. Az objektumok a feldolgozás szempontjából fontos elemek, képpontjaik értékelése csoportosan történik. Különböző osztályba sorolhatók, egymáshoz viszonyított helyzetük adja meg a kép struktúráját (Grósz 2010). Egyes alkalmazásainál szükség van környezetünk háromdimenziós objektumainak egymáshoz viszonyított helyzetének figyelembevételére, ugyanakkor többségében elégséges az objektumok leképezésének síkbeli, kétdimenziós feldolgozása. A számítógépes képfeldolgozás az emberi látás mechanizmusán alapul, annak ismereteit hasznosítja a feldolgozás folyamatai során (Berke et al. 2010).

2.1.4.1 A digitális képfeldolgozás alapja, az emberi látás

Rendkívüli összetettsége révén a látás az ember egyik legfontosabb információszerzési módja. A látásként definiált fiziológiai folyamat a szín, az alak, a térbeliség valamint a mozgás érzékelésének együttese. Alapja, hogy a 380-780 nm tartományba eső elektromágneses sugárzási energia hatására a szemben lévő retina belső felszínén létrejön a leképezés eredményeként a fordított állású kép. Ezt követően a retina idegvégződéseiben fizikai-kémiai folyamat indul be, amely információt továbbít ingerület formájában az agy megfelelő központjába. A képérzet folyamatában a szem és a látóközponton kívül az emlékezetnek is szerepe van, a hiányzó képrészek pótlásában, valamint az alakzatok felismerésben vesz részt. Alakzatlátás során az emberi idegrendszer kiemeli a lényeges elemeket, a fényingerek vizuális emlékek kiegészítésével élek és foltok rendszerévé alakul. Az agy mintákat tárol, amelynek összessége egy képi adatbázisként értelmezhető. Alakfelismerés során ezeket a mintákat illeszti az agy a látott képhez (Berke et al. 2010). A digitális képfeldolgozás megjelenéséig a növényi magvak morfológiai meghatározása mérőkörzők, vonalzók és boncmikroszkópok segítségével meghatározott, kisszámú paraméter adatain alapult. Ezeket az adatokat vetették össze a szakemberek emlékképeivel, tapasztalataival, képes atlaszokat, referenciagyűjteményeket, mesterséges azonosító kulcsokat használva kiegészítésként. Ez egy emberi hibának, tapasztalatlanságnak többszörösen alárendelt, hosszadalmas, lassú, munkaigényes folyamat volt. Az emberi emlékezet

hibalehetősége, az adott idő alatt megvizsgálható minták statisztikailag nem megfelelő száma komoly hiányosságot jelentett. Ennek kiküszöbölése vált lehetővé a digitális képfeldolgozás alkalmazásával (Rovner és Gyulai 2007).

2.1.4.2 A digitális képfeldolgozás kialakulása és fejlődése

A legelső gyakorlatban alkalmazható fotográfiai eljárást 1839-ben Daguerre, egy francia nemzetiségű színpadtervező és festő dolgozta ki. A tudomány ugyanakkor az elektronikus képalkotás felfedezését az amerikai Ch. Carlson nevéhez köti és az 1938-as évre datálja. Irodalmi adatok azt is alátámasztják, hogy Selényi Pál magyar fizikus már mindezeket megelőzően előállított elektrosztatikus úton képet, kidolgozva annak elvi alapjait és megvalósítva a gyakorlati eljárásokat (Berke et al. 2010).

Az 1950-es években a számítógépek megjelenésével új alkalmazási területek is előtérbe kerültek, a szakemberek elkezdték a meglévő módszerek kiváltását számítógépes eszközökre (Grósz 2010). A Xerox cég ekkor dolgozta ki részben a képfeldolgozás ipari alkalmazásának technológiáját (Berke et al. 2010). Ebben az időszakban vált lehetővé a digitális kép megalkotása az analóg-digitális átalakítók megjelenésével. A húszezer üzemórás, elektroncsöves felépítésű eszközök nagy áramfelvételt, hűtést és szakmai személyzetet igényeltek, de az évtized végére már alkalmassá váltak képfeldolgozási feladatok elvégzésére is.

Az 1960-as évekre már az általánosítást felváltotta a konkrét feladatmegoldás. Az évtized végére Willard Boyle és George Smith kifejlesztette a CCD-t (Charge Coupled Device), amelyért 2009-ben megosztott fizikai Nobel-díjat kaptak (Grósz 2010).

A lendületes fejlődés az 1960-as éveket követően indult el. A kutatásokban lehetővé vált matematikailag megközelítőleg precíz, egzakt eredmények használata. A technológia egy része a hétköznapi életben is megjelent (Grósz 2010).

Az 1970-es évek végére számos kutatócsoport alakult Magyarországon, akik ekkor még főképp a képfeldolgozás elméleti háttérével foglalkoztak. A Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetében (SZTAKI), a Központi Fizikai Kutatóintézetben (KFKI), valamint a Szegedi- és a Budapesti Műszaki Egyetemeken is elkezdődtek a témával kapcsolatos

munkák, a Számítástechnikai Koordinációs Intézetben (SZKI) létrehozott műhely pedig célirányosan alkalmazásorientált képfeldolgozásra szakosodott (Szabó 2004).

1976-ban megjelenik az első mikroprocesszor vezérelt kisfilmes fényképezőgép, a Canon AE-1, mintegy átmenet az analóg és digitális világ között. Az 1981-ben a Sony Co. forgalomba hozza a MAVICA elnevezésű elektronikus állóképrögzítő készüléket, majd még ebben az évtizedben jelentek meg a speciálisan képfeldolgozáshoz használt eszközök. Mindezek révén a technológia alkalmazása is rohamos fejlődésnek indult. Az évtized közepétől a képfeldolgozás a hazai felsőoktatásban is megjelenik, kezdetben csak a posztgraduális, majd később az egyetemi és főiskolai oktatás keretein belül, magyar nyelvű jegyzetek, tankönyvek jelennek meg a témáról (Berke et al. 2000b).

Az 1990-es években kezdődő, napjainkban is tartó folyamat a digitális képfeldolgozás elterjedése a mindennapi életben. Alkalmazása széleskörű, a legváltozatosabb területeken alapoznak ilyen jellegű technológiára. Szükségessé vált a képformátumok szabványosítása (TIFF, JPEG, RAW). Az árak csökkenése a 2000-es évektől egyre fejlettebb teljesítményű eszközöket tesz elérhetővé magáncélú felhasználásra és kutatásokban egyaránt. Ide sorolhatók a digitális kamerák, mobilkészülékek is, melyek már az elektronikus képet előállító és az ezt digitalizáló részegységeket egyaránt tartalmazzák. Az így kapott képek a hagyományos fényképpel ellentétben azonnal alkalmasak a gyors vezeték nélküli továbbításra, még a készüléken történő alapfeldolgozásra, elemzésre (Berke et al. 2010).

Jelenleg az integrált képérzékelők és heterogénképi adatok mesterséges intelligencia rendszerekbe történő közvetlen alkalmazása folyik (önvezető autók, drónflotta alkalmazások, 5G-alapú fejlesztések, stb.).

2.1.4.3 A digitális képfeldolgozás gyakorlati alkalmazásai

A digitális képfeldolgozás gyakorlati és kutatási alkalmazására a mindennapi élet legkülönbözőbb területein vannak példák, felhasználásának eltérő jellegű és szerteágazó területei folyamatosan bővülnek, külföldön és hazánkban egyaránt. A digitális képfeldolgozás alkalmazásának bemutatására - a teljesség igénye nélkül - csak néhány, már hazánkban is alkalmazott példát emelnék ki.

A képfeldolgozás leggyakoribb alkalmazási területei

Ipar:

- Üveggyártás során keletkező hibák feltárása (Szeghalmy et al. 2009);
- Faipari alapanyagok osztályozása strukturális és morfológiai jellemzők alapján (Berke et al. 2000a);
- Acélok mechanikai tulajdonságainak meghatározása szövetszerkezetük kiértékelésével (Csepeli és Gácsi 2002);
- Az anyagtudomány keretén belül az anyagok szerkezetének leírása, törtfelületek jellemzése, a szemcseeloszlás vizsgálata (Gácsi és Sárközi 2002);
- Elektródák sorozatgyártása során az elkészült termékek ellenőrzése és minősítése (Szabó 1999a);
- Gázkonvektorszelep záródásának ellenőrzése (Szabó 1999b);
- Textíliák vizsgálata (Berke et al. 2000b);

Orvostudomány:

- Szívátültetés során fellépő károsodást csökkentő anyagok vizsgálata színes képosztályozó program alkalmazásával (Csomai et al. 2002);
- Véráramlás körülményeinek vizsgálata bizonyos anyagok, jelenségek hatására (Csomai és Szabó 2000);
- Csont és porc kontúrjának meghatározása MRI felvételen (Hajder et al. 2004);
- Műtéti tervek biomechanikai analízise (Erdőhelyi et al 2007);
- MR–CT, MR–PET kiértékelés (Tanács et al. 2007);
- Többdimenziós MRI képek feldolgozása (Nyúl és Jayaram 2002);
- Törött csontfelületek illesztése, komplex csonttörések számítógéppel segített műtéti tervezése (Erdőhelyi és Varga 2009);
- Retinaképek kiértékelése (Berke et al. 2000b);

Informatika:

- Karakterek felismerése szkennelt, dokumentumok beolvasása során (Fazekas és Hajdu 2002);
- Számítógépes aláírás-hitelesítés (Kövári és Nagy 2009);

Katonai alkalmazás:

- Légifelvételek kiértékelése (Buzási és Hajdu 2007);
- Mozgásdetektálás (Buzási és Hajdu 2007);
- Légifelvételek videó adatainak légitérképként történő megjelenítése (Buzási és Hajdu 2007);

Biztonságtechnika:

- Arcfelismerő technológiák elektronikus beléptető rendszerekben (Balázsfalvi 2004);
- Személyek követése intelligens felügyeleti rendszerekben a járásminta számítógépes elemzése segítségével (Benedek és Szirányi 2004);
- Ujjlenyomat azonosítása (Berke et al. 2000b);

Közlekedés:

- Forgalomelemzés, közlekedési fennakadások detektálása (Czuczor 2007);
- Rendszám azonosítás (Berke et al. 2000b);

Filmipar:

- Régi filmanyagok korszerű feldolgozása, mentése, javítása (Czúni et al. 2002);

Mikrobiológia:

- Baktériumok kollektív mozgásának vizsgálata ([http2](#));
- Antibiotikumok hígítási sorának hatásvizsgálata (Kelemen és Szabó 2000);

Környezetvédelem:

- Ökoszisztémák változásainak nyomonkövetése légifelvétel-sorozatok elemzése segítségével (eutrofizáció, erdőirtás, erdőpusztulás, nádvátság) (Berke et al. 2010);
- Közlekedéseredetű korom- és nehézfém-szennyezés hatásainak meghatározása távérzékelés és digitális képelemzés segítségével (Kozma-Bognár et al. 2013);

Digitális képfeldolgozás a mezőgazdaságban

A mezőgazdasági különböző területein – más alkalmazási területekkel összevetve – gyakrabban alkalmazzák a képfeldolgozás módszerét. A feladat eredetét tekintve alkalmazzák növényi, állati és mindkettőt egyaránt érintő vizsgálatokra. Az állattenyésztéssel kapcsolatosan az állategészségügy, más eszközökkel egyetemben, a képfeldolgozó rendszerekkel ellátott műszereket is átvette a humán gyógyászatból (Berke et al. 2010). Emellett új, de a kutatási gyakorlatban intenzíven terjedő módszer a különböző haszonállatfajták fajtaleírásának, standardjának kiegészítése digitális morfometriai adatokkal. Az Állatorvostudományi Egyetem Állattenyésztési, Takarmányozástani és Laborállat-tudományi Tanszékén folyamatban van több haszonállatfaj és fajta küllemi és alkati adatainak videó-képes rögzítésén alapuló morfometriai vizsgálatokkal kiegészített feldolgozása, az in vivo és in vitro génbankokhoz kapcsolódó, virtuális génbank létrehozása. Azonban a módszer mezőgazdasági alkalmazásait tekintve a legjelentősebb jelenleg a távérzékelési és a különböző ipari jellegű hasznosítás. Utóbbi kategória többségében azonos más ipari rendszerekben használatos módszerekkel. Az élelmiszeripar csomagolásán lévő feliratok, vonalkódok leolvasása például teljes mértékben megegyezik más termékek (pl. gyógyszerek) gyártása során beiktatott technológiákkal. Bizonyos esetekben azonban a mezőgazdasági termények minőségellenőrzése, tudományos vizsgálata során az általánostól eltérő megközelítésre is szükség van. Azokban az esetekben, ahol a vizsgálat tárgya háromdimenziós térbeli objektum, metszet készítése nélkül a mérés egy nehezen pozicionálható, árnyékhatásokkal torzított vetületi képen végezhető el. Ennek köszönhetően a vizsgálatok tárgyát képező objektumokról a háromdimenziós térbeli adatok mellett színnel, textúrával kapcsolatos adatokra is szükség van. Ide tartoznak a magmorfometriai vizsgálatok is, függetlenül attól, hogy ipari rendszerek részeként vagy tudományos célból kerülnek felhasználásra (Berke et al. 2010). Mivel ezen vizsgálat alapját a digitális képfeldolgozás magmorfometriai felhasználása adja, ennek eddigi eredményeit a mezőgazdasági alkalmazások példáit követően, külön felsorolásban ismertetném.

Növénykórtani vizsgálatok színinformáció illetve háromdimenziós objektumok térbeli elváltozásai alapján (Berke 2002):

- Növényi szövetek rovarok, kórokozók, környezeti tényezők okozta szerkezeti elváltozásainak mérése: a képi információk kinyerésének és feldolgozásának sebessége lehetővé teszi a kártevők és egyéb tényezők okozta növényi

- elváltozások terjedési sebességének azonnali felmérését, biztosítva a megfelelő időben történő beavatkozás lehetőségét [pl. káposztalepke (*Pieris brassicae* L.) hernyó táplálkozási kártételének megfigyelése].
- Károsodott növényi állományok egészségétől való elkülönítése: légi- és űrfelvételek RGB színterminológiai osztályozása segítségével detektálható többek között az erdőkben megjelenő hótörés vagy rovarkár okozta állománypusztulás.
 - Herbicidek okozta fitotoxikus reakció mérése: digitális képfeldolgozás segítségével mérhető a herbicid hatásmechanizmusára jellemző hatás a növény gyökerén, hajtásain, levélfelületén. A módszert elsőként klóraceranilid, primiszulfuron valamint rimriduron hatóanyagú herbicidnek kitett kukorica gyökerén alkalmazták.
 - Kórokozó gombák digitális azonosítása. A fitopatogén gombák azonosítására klasszikusan alkalmazott módszer, azok szaporítóképletének morfológiai vizsgálata. Informatikai módszerek és egy referencia adatbázis segítségével ez a módszer automatizálható. A módszer alkalmasságát bizonyítja egy 12 gombanemzetségből származó mintegy 14 morfológiailag különböző faj vizsgálatával elkészített rendszer (Berke 1994b).

Növényi állományok, szövetek, termékek azonosítása:

- Növénykultúrák elkülönítése, azonosítása: a feladat elvégzésére alkalmas digitális képfeldolgozó (pl. PRIMA), képosztályozó (pl. PRICLA) programcsomagokkal, referenciaadatok segítségével lehetővé válik űrfelvételeken szereplő növénykultúrák elkülönítése és elemzése (Berke 1994a).
- Taxonómiai besorolás, fajtaazonosítás: a növénytermesztők, feldolgozók és felhasználók számára, valamint a növényi kutatások részére is számtalan lehetőséget kínál a digitális képfeldolgozás segítségével történő osztályozás, amely alkalmazható a vadon élő, a gyomnövényként számon tartott és a haszonnövények esetében egyaránt. A magmorfometria eddig elért eredményeit, azok módszertanát a későbbiekben részletesen ismertetem.
- Vetőmag DUS vizsgálata: a be nem jegyzet növényfajták hivatalos elismeréséhez alkalmazott DUS (Distinctness, Uniformity and Stability) vizsgálat során a potenciális új fajták meglévő fajtáktól való eltérésit, konzisztens különbségeit azonosítják. A morfometriai adatok digitális

mérésével ez objektívvá tehető, búza esetében a módszer pontossága 100%, nagy előnye, hogy a besorolást nem befolyásolta sem a termesztési körülmény, sem a nedvességtartalom és független volt a növény termesztési évétől is (Sandeep et al. 2013).

- Karakterizálás vegetatív és generatív növényi részek méretének, alakjának meghatározása alapján (Draper és Travis 1984): az előzőekkel összekapcsolva jelentős kutatási eredményeket jelent a taxonómiai besorolások, DUS vizsgálatok során meghatározott karakterek, paraméterek és változók, az ezek alapjául szolgáló képi információk adatbázisként történő feldolgozása, megőrzése, referenciaadatot szolgáltatva későbbi vizsgálatokhoz (Sandeep et al. 2013).

Növények fejlődésének felmérése:

- Vigorvizsgálat: a számítógépes képelemzéssel történő vigorvizsgálat – melynek nagy előnye, hogy eredményét nem befolyásolják a termesztési körülmények – már szabadalmaztatott mechanizmus (Conrad 2001), a kimondottan erre kifejlesztett programcsomagokat (Vigour Assessment System (McNertney 1999), Ball Vigour Index (Conrad 2001), SVIS, Seed Vigor Imaging Program) tudományos (Gomes et al. 2014) és gyakorlati célokra egyaránt alkalmazzák.
- Növekedésdinamika nyomon követése: A vigorvizsgálat elvégzésére kifejlesztett rendszerek egyik legfontosabb eleme a palánták növekedésének vizsgálata, melynek keretében kiértékelésre kerül azok növekedési sebessége és a fejlődés egységessége egyaránt (Sandeep et al. 2013). A módszer által kapott eredmények önmagukban is alkalmasak mind kutatási, mind gyakorlati felhasználásra.

Termények hasznosításához kapcsolódó vizsgálatok:

- Élelmiszeripari minősítés, rendszerezés és osztályozás: a digitális képelemzés egyik fő gyakorlati hasznosítási iránya a vetőmag előállítás mellett. Teljes automatizálás érhető el a termények osztályozásában, előnye, hogy roncsolásmentes, nem tesz kárt a vizsgált terményben. Többek között így végzik a mazsola osztályozását is, melyben az erre kialakított rendszer hatékonysága már meghaladta a 93%-ot (Mahidi et al. 2010).

- Magok nedvességtartalmának mérése: a gabonafélék szemtermésének mechanikai és fizikai tulajdonságát leginkább befolyásoló tényezője a nedvességtartalom. Ez teszi lehetővé annak morfometria segítségével történő meghatározását, melyben búza és árpa esetében már 90% fölötti pontosságot sikerült elérni (Garcila et al. 1998).
- Ezerszemtömeg becslése: a módszer nagy előnyt a vetőmag előállításban jelent, ugyanakkor gyakorlatban alkalmazzák sörgyártás során is, az árpa képelemzéssel történő embrióméret és ezerszemtömeg becsléséből következtetnek a maláta minőségére (Sandeep et al. 2013).

Magmorfometria

A magmorfometria a mezőgazdaságon belül egy speciális tudományág, melynek keretében a növényi magvak, szaporítóképletek két- és háromdimenziós paraméterei kerülnek felvételezésre, ide sorolva a méretet, az alakot és a textúrát (Rovner és Gyulai 2007).

Ebben a munkában jelentett komoly előrelépést a digitális morfometria, mely a korábbi módszerekkel összevetve – a technológia folyamatos fejlődésének köszönhetően – hatványozottan gyorsabb, precízebb, pontosabb, szélesebb spektrumát biztosítva ezáltal a morfológiai paraméterek mérésének. Képes a változatosság elemzésében objektív számszerűsítéssel helyettesíteni a megítélés-alapú, szubjektív tipizálást, megbízható lehetőséget kínálva a növényi mag morfológiájának és varianciájának tanulmányozására. A módszer adta lehetőségek feltárása a módszer használatával párhuzamosan zajlott. Kezdetben úgy vélték, hogy az kizárólag a régészeti magleletek rendszertani besorolására és osztályozására alkalmas. Ezzel szemben a kétdimenziós mérési eredményeik adatait vizsgálva és értelmezve a morfológiai variancia természetének vonatkozásában számos váratlan aspektusra is fény derült, a különböző adatok összehasonlítása, statisztikai elemzése növényélettani, genetikai, és evolúciós információkkal is szolgálhat (Rovner és Gyulai 2007). A digitális morfometria megjelenése óta számos vizsgálat, kutatás készült a módszer használatával, amelyek különféleképpen hasznosították a kinyert adatokat. A magmorfometria széleskörű alkalmazhatóságára az alábbiakban található néhány példa, amely alátámasztja a módszer létjogosultságát és szemlélteti a módszer sokrétűségét.

Otto Brinkkemper és munkatársai egy 2011-ben közzétett publikációban egy kísérletről számoltak be, melyben megkísérelték összegyűjteni a *Myosotis* magok

megbízható meghatározási kritériumait az azokról készített fényképek alapján, digitális képelemzést alkalmazva a Fovea Pro 4.0 szoftver segítségével. 23 paramétert vételeztek fel, amellyel leírták a normalizált léptékű fényképen látható magok méretét és alakját 1453 mag esetében. A reprezentatív mérési sorozat összegyűjtése érdekében minden faj esetében fajonként legalább két helyszínen gyűjtöttek referenciaanyagot, helyszínenként minimum 100 db magot. Azokban az esetekben, ahol a Dutch Agency for Cultural Heritage (RCE), a Leiden Archaeological Centre (IPL), a BIAx Consult és a Brinkkemper Archaeobotanical Office (BAB) egyeztetett referenciagyűjteményei is lényegesen kisebb számú magból álltak, a mérésbe kettőnél több különböző eredetű minta került bevonásra. A rendelkezésre álló recens referenciaminták közül érett, sötétbarnától feketéig terjedő magokat választottak ki. Minden mintáról 3 felvétel készült Wild sztereo mikroszkóppal 69-szeres nagyítással, egy 5.4 megapixeles Sony kamera használatával. Egy képen 40 db mag került felvételezésre egy csík – kalibráláshoz szükséges – milliméterpapír mellett. A fényképek 53 paraméterét mérték le digitálisan a John Russ által 2005-ben kifejlesztett Fovea Pro 4.0 szoftver segítségével, melyből az azonosításban nem releváns változók eltávolítását követően 23 db maradt. Az így kapott adatmennyiségen statisztikai elemzéseket, többek között diszkriminancia- és korrespondanciaanalízist végeztek, valamint azok kombinációit alkalmazták. A módszer rávezetett arra, hogy miként különböztethető meg sikeresen a hét nyugat-európai *Myosotis* faj, az eredményeket felhasználva kifejlesztettek egy azonosító kulcsot a mocsári *Myosotis* fajokra. A módszert alkalmazva a különböző fajokhoz tartozó magok azonosítása a *Myosotis* fajra bármely korábbi archaeobotanikai irodalomban publikált módszernél pontosabban elvégezhető. Mivel a vizsgálat tárgyát képező hét *Myosotis* faj öt különböző élőhelyen fordul elő (dűnék, erdő, gyepek, vízpartok és szántóföldek), egyedi azonosításuk a régészeti tanulmányok során is hasznosítható, segíthet az archaeobotanikai minták ökológiai értelmezésében.

Számos morfológiai tanulmány készült a *Vitis* nemzetség fajairól, fajtáiról is. Ez abból adódik, hogy bár az archaeobotanikai vizsgálatok során jellemzően a szaporító képletek taxonómiai besorolása általában az *ex situ* maggyűjtemények egyszerű morfológiai megfigyelésével történt, ugyanakkor a biometrikus mutatók használata általában komoly szerepet játszott a *Vitis* nemzetség taxonómiai tanulmányaiban, valamint a régészeti maradványok fajtákba történő besorolásában.

Orrú és munkatársai egy 2013-ban publikált tanulmányban képelemzési technikák segítségével két Szardíniai régészeti lelőhelyről, a Középanyugat-szardíniai SaOsaprenuragikus és nuragikus komplexjéről, ami a legrégebbi szőlőmaradványokat is tartalmazó lelőhely, valamint a Szardínia délnyugati részéről, Isola di Coltellazzo-ról származó magokat választottak ki vizsgálatra, melyeket morfológiai jellemzők és az elliptikus Fourier-deszkriptorok alapján jellemeztek. Emellett számítógépes képelemzéssel megvizsgálták öt, Délnyugat-Szardíniából származó *V. vinifera* subsp. *sylvestris* modern populációt, valamint 41 db *V. vinifera* subsp. *vinifera* fajtát, melynek többsége Dél- és Középanyugat-Szardíniából származott.

A vizsgálathoz használt felvételek az itt elsőként bemutatott módszerhez hasonlóan kerültek rögzítésre, a recens magminták képeit egy 200 dpi felbontású Epson GT 15000 síkágyas lapszkenner segítségével készítették, 200 dpi felbontással és 1024x1024 képpontot nem meghaladó beolvasott területtel. A képek készítését a magok 15°C-ra és 15%-os nedvességtartalomra történő szárítása előtt végezték el, a dimenzióbeli, alak és színparaméterek hibás változásainak elkerülése céljából. A digitális képelemzéshez 100 magból álló minták kerültek szkennelésre, recens magok esetében – annak érdekében, hogy az egyes recens magok sokaságának teljes változatossága reprezentálva legyen – a magminták a síkágyas tálcán véletlenszerűen elhelyezve kerültek felvételezésre. A régészeti magvak vizsgálata során a szkennerbe tízszer tízes szervezett oszlopokba helyezték őket, egyedi számokkal címkézve, hogy az elemzés során azonosíthatók legyenek. A magok digitális képeit feldolgozták és elemezték egy KS-400V 3.0 szoftvercsomag segítségével (Carl Zeiss Vision, Oberkochen, Németország). A vad fajok magjainak jellemzésére lemértek több mint 20 morfo-kolorimetriás magjellemzőt, a régészeti minták esetében az alkalmatlan szintani jellemzők miatt csupán 13 vetőmagméretet és alakot leíró jellemzőre volt lehetőség. Mindemellett, a néhány elérhető magméretre és alakra vonatkozó leíró jellemző miatt a magok képelemzése során szegmentációs folyamat során kapott bináris képeket újradefiniálták 400 dpi-re, a képdefiniálás fokozása, az EFD módszer alkalmazása és a megkülönböztető paraméterek számának növelése céljából (Bacchetta et al. 2009, 2010). Ez a módszer lehetővé teszi a vetőmag-vetület határainak leírását olyan komplex számok sorozataként, amelyek megfelelnek a vetőmag határán lévő képpontpozícióknak. Tehát a magcsúcsból kiindulva, kiinduló pontként értelmezve azt egy Descartes rendszerben, lánckódok keletkeznek. A lánckód egy veszteségmentes tömörítési algoritmus a bináris képek számára. A lánckódok alapelve, hogy minden egyes csatlakoztatott komponenst (képpont) külön

kódoljon a képen. A kódoló ezután a kép határa mentén mozog, és minden lépésben a mozgás irányát jelző szimbólumot továbbít. Ez addig folytatódik, amíg a kódoló visszatér a kiindulási helyzetbe. Ez a módszer az X és Y koordináták inkrementális változásainak külön Fourier-dekompozícióin alapul, a kumulatív határ menti hosszúság függvényében (Kuhl és Giardina 1982). Terra és munkatársai (2010) alapján a magok körvonalának optimális leírásához, a mérési hibák minimalizálásától a formai rekonstrukció hatékonyságának optimalizálásáig, 20 harmóniát használtak a magok határvonalának meghatározásához, további 80 paramétert kinyerve, amelyek alkalmasak voltak a *Vitis* nemzetség vizsgált magjainak elkülönítésére. Az így kapott adatokat egy biometrikus paramétereket összegyűjtő adatbázis létrehozására alkalmazták. Ezen felül elvégezték az ismeretlen régészeti magok leírt mai magokkal történő összevetését lépcsőzetes Lineáris Diszkriminancia Analízist alkalmazva, SPSS szoftvercsomag segítségével. Ezt a megközelítést általában kvantitatív és kvalitatív változókkal jellemezhető ismeretlen csoportok osztályozására vagy azonosítására használják (Fisher 1936, 1940). A mért jellemzők alapján a lépésenkénti módszer meghatározza a magminta azonosítására leginkább használható paramétereket. Az így kapott eredményekkel sikerült kimutatni a régészeti magok hasonlóságát a *V. vinifera* subsp. *vinifera* fajtákkal, nagyobb mértékben, mint a *V. vinifera* subsp. *sylvestris* populációkkal, ami lehetővé tette annak megállapítását, hogy a középső és kései bronzkor között a modern *V. vinifera* subsp. *vinifera* fajtához közel eső szőlőket már használják bor előállításához és / vagy megőrizték élelmiszer alapanyagként. Mindemellett a régészeti magok nagyobb hasonlósága a fehér szőlőkhöz, mint a fekete szőlőfajtához jelezheti, hogy a fehér szőlő hagyományos termesztése Szardínia ezen részéről eredeztethető.

A magvizsgálatokhoz használt biometrikus indexek gyakran bizonyultak nagy jelentőségűnek modern *Vitis* taxonómiai tanulmányokban, a régészeti magok osztályozásában és a domesztikációs folyamatok megértésében (Rivera et al. 2007). Mangafa és Kotsakis (1994) 22 biometrikus változót és négy különböző algebrai képletet használt fel a görögországi Dikili Tash és a Toumba Thessaloniki vad vagy termesztett fajokhoz tartozó, őskori helyszíneken talált *Vitis* magjainak azonosítására. A képleteket felhasználták később a Jordán Petra-ban talált, Kr.e. 200-500-ra datált *Vitis* magok tanulmányozására is, lehetővé téve számos vadon élő növényfaj és néhány termesztett fajta magjának azonosítását. Az adatokat részben megerősítette a Stummer index kiszámítása (Jacquat és Martinoli 1999). A csőrhossz és a maghossz arányának öt szőlőfaján (Chasselas, Pinot Noir, Rèze, Amigne és

Fehér Humagne) végzett tanulmányozása során különböző eredmények mutatkoztak a Mangafa és a Kotsakis formulákhoz képest, ami azt mutatja, hogy a "*sylvestris*" típusú mag morfológiája nemcsak vadszőlővel, hanem archaikus fajtákkal is hasonlóságot mutat. A morfológiai jellemzők és a maghossz és magszélesség arányához kapcsolódó biometrikus indexek alapján a magok a *V. vinifera* fajhoz voltak hozzárendelve (Marinval és Cassien 2001). A tanulmány pontos azonosítási megközelítést javasol a *Vitis* nemzetséghez tartozó régészeti magok felismerésére, képelemzéssel történő jellemzés alapján, bizonyítva, hogy a képelemzési technikák nemcsak a taxonómiai vizsgálatokban, hanem az archaeobotanikai vizsgálatokban is hasznos eszköznek tekinthetők (Orrú et al. 2013).

Egy másik tanulmány a *Vitis* magvak biometrikus jellemzői alapján történő azonosításáról és csoportosításáról szól, melyet 142 különféle szőlőfajtán végeztek el, köztük öt *Vitis*-taxonon, 92 *V. vinifera* fajtán, 12 vad populáción és hibrid alanyfajtán, 11 morfometriai változó segítségével. A kapott adatokat klaszteranalízis alkalmazásával dolgozták fel, vadon élő populációkat és azokhoz kapcsolódó fajtákat helyeztek el az egyes klaszterekben, azonban a vizsgált mintákból hiányzott a vadon élő európai szőlő klasztere (Rivera et al. 2007).

Terra és munkatársai publikációjukban a morfometriai elemzés lehetőségeiről értekeznek. Jó állapotban fennmaradt régészeti magokat vizsgáltak, melyeket egy Dél-Franciaországi régészeti lelőhelyen tártak fel és Kr. e. 100-ra datáltak. Az elemzésbe bevontak néhány európai modern fajtát és vad egyedeket (Terra et al. 2010).

Gong és munkatársai Észak- Kelet-Tennessee-ben 2010-ben digitális képek segítségével fosszilis *Vitis* magokon végeztek morfometriai elemzést. 11 mért paraméter alapján a magokat három különböző morfotaxába helyezték (Gong et al. 2010).

Digitális képek felhasználásával Bacchetta munkatársaival (Bacchetta et al. 2008) a Földközi-tenger medencéjében jellemző vadon termő magvakat jellemezte, statisztikai osztályozókat alkalmazva, amelyek képesek megkülönböztetni a különböző nemzetségekhez és fajokhoz tartozó magokat, és ígéretes eredményeket értek el. Ezt a rendszert később javították, hozzáadva 20 új morfometriai és kolorimetriás jellemzőt (Mattana et al. 2008).

Grillo 2010-ben (Grillo et al. 2010) publikált tanulmányában morfológiai és klorimétrikus magtulajdonságokon alapuló statisztikai osztályozás eredményeiről számolt be a Mediterrán vaszkuláris flóra reprezentatív családjainak vonatkozásában, bemutatva a módszer eredményességének megerősítését. Jelenleg ezt a módszert teljesen elfogadják és felhasználják, nem csak a vadon élő taxonok régészeti tanulmányai vagy taxonómiai vizsgálata során (Bacchetta et al. 2011a, 2011b), hanem a termesztett növények tanulmányozására, a különböző fajták összehasonlítására, hozzájárulva a katalógusok elkészítéséhez, vagy lehetővé teszik az európai védjegyek, például az oltalom alatt álló eredetmegjelölés (OEM) és az oltalom alatt álló földrajzi jelzés (OFJ) megadására szolgáló objektív paraméterek meghatározását (Grillo et al. 2011, Kiliç, et al. 2007, Venora et al. 2007, 2009a, 2009b).

Mindezen vizsgálatok igazolják, hogy a magok morfológiai jellemzői, mint pl. alak, méret és külső mintázat, nagyon fontos diagnosztikai tényezők a növényrendszertani vizsgálatokban. Emellett a régészeti lelőhelyekről származó, és mindenekelőtt a magbankokban tárolt vadon élő növények magjainak növekvő elérhetősége hangsúlyozza a makro- és mikro morfológiai tanulmányok fontosságát a növényi taxonómiában (Grillo et al. 2010). A morfológiai-klorimétriai magkarakterizálás bizonyítottan egy megismételhető, megbízható és roncsolásmentes módszer, amely képes a termesztett (Grillo et al. 2011, Venora et al. 2007, Zapotocny et al. 2008) és a vadon élő növényfajok (Bacchetta et al. 2011b, Grillo et al. 2010, Mattana et al. 2008) magjainak pontos azonosítására.

2.2 A domesztikált alakor és progenitorja

2.2.1 A *T. monococcum* alfajok elnevezése, leírása

A *T. monococcum* alfajainak vizsgálata során is érzékelhető, hogy a vadon élő és termesztett búzák szisztematikája és nomenklatúrája nem tisztázott. Az irodalmi különbségek az eltérő megközelítés konfliktusain alapulnak. Más meghatározást és elnevezést használnak etnobotanikai fogalmak esetében és a Linné féle taxonómiában, mást a genetikai és botanikai taxonómiai vizsgálatok során és megint mások az elméleti és gyakorlati igények, követelmények. A Linné féle taxonómia eredetileg morfológiai karakterizációra épül, míg a bioszisztematikában a *Triticum* nemzetséghez keresztezhetőségi kritériumok alapján hagyományosan különböző

nemzetségekbe tartozó fajokat is besorolnak, figyelmen kívül hagyva, hogy domesztikált vagy vad fajról van-e szó (Szabó és Hammer 1995).

Zohary és Hopf 1993-ban azt javasolta, hogy a *T. monococcum* vad formáját *boeoticum* elnevezéssel, a termesztett formát *monococcum* néven alfajként kezeljék. (Perrino et al. 1996). Ez már szemben állt a Kimber és Feldman által 1987-ben leírt besorolással, melyben a *T. monococcum* fajt két változatra, a var. '*urartu*'-ra és a var. '*boeoticum*'-ra osztotta. Ezt követően a *T. boeoticum* változatot osztotta tovább, *subsp. aegilopoides*-re és *subsp. thaoudar*-ra. Már ebből a két említett példából is jól látható, hogy a használatban lévő osztályozások, elnevezések még a génbanki tételek esetében is jelentős eltéréseket mutatnak. A *monococcum*, a *boeoticum* és az *urartu* számos esetben faj szinten szerepel, és ezt bontják további alfajokra (Gorham et al. 1991, Rafi et al. 1992). Egyes génbanki gyűjteményekben az *aegilopoides* és a *thaoudar*, éppúgy, mint a *sinskajae* egy csupasz a *T. monococcum*-hoz formamorfológiailag hasonló taxa, fajként szerepel. Számos taxonok közötti és taxonon belüli variabilitási vizsgálat készült a *T. monococcum* morfológiai jellemzőiről (Sharma et al. 1981), a tárolási fehérje elektroforetikus variánsairól (Waines és Payne 1987), izozimeiről (Smith-Huerta et al. 1989, Nishikawa et al. 1992) és molekuláris markerekről (Vierling és Nguyen 1992; Tsunewaki et al. 1991). Egy restrikciós fragmenthossz-polimorfizmus (RFLP) analízis segítségével 55 különböző alakortételt elemeztek annak érdekében, hogy felmérjék a DNS szinten vizsgált variációk és a napjainkban elfogadott taxonómiai alosztályok közötti koincidencia szintet. Az eredmény alátámasztotta a felvetést, miszerint a *T. monococcum* alfajok taxonómiai besorolása pontatlan és igazolja, hogy szükség van azok valós variabilitásának és alcsoportjainak felmérésére (Castagna et al. 1994).

A taxonómiai besorolás ellentmondásai minden búzakutatót érintenek, vizsgálataim során is nehézséget okoztak. A génbankok számára sok esetben félrevezető, ha a szaporítóanyagot a génbank által követett taxonómiai rendszertől eltérő elnevezéssel igényelnek. A taxonómiai fogalmak, fajtanevek félreértése azok téves kiválasztásához vezethetnek. Emellett problémás, hogy a felhasznált szakirodalomban a szerzők sok esetben a taxonómiai besorolástól független, saját elnevezésekkel dolgoznak, vagy meg sem adják az általuk követett besorolást. Vizsgálataim során ez a *T. monococcum* *subsp. aegilopoides* tételleket érintette, az alfaj a szakirodalomban számos elnevezéssel és rendszertani besorolással szerepel. Az említett hiba kiküszöbölése érdekében vizsgálataimban ennek tisztázására a Grain

Genes honlapon található Synonymy Tables interaktív adatbázisát használtam fel. Az 1998-ban rendezett IX. Nemzetközi Búza Genetikai Szimpóziumban (1998. augusztus 2-7., Saskatoon, Kanada) megrendezett Taxonómiai Műhely résztvevői tettek javaslatot ennek megalkotására az említett probléma megoldásának céljából. A rendszer eszközt biztosít a kutatók számára, hogy lekövethessék a különböző osztályozási rendszereket és elnevezéseket. Ezzel együtt is kijelenthető, hogy a jövőben szükség lesz a *Triticum* nemzetség taxonómiai, monográfiai felülvizsgálatára (GrainGenes Database).

A Synonymy Tables adatbázis lehetőséget nyújt a szinonimák és nevek osztályokhoz való hozzárendelésére. Felsorolja a fajtaneveket szerzőkkel, a fajknál alacsonyabb rendű és szubspezifikus taxonokkal. A *Triticum* esetében: van Slageren (1994), Kimber és Sears / Kimber és Feldman (1987), Davis (1985), Löve (1984), Dorofeev és munkatársai (1979), Mac Key (1975), az *Aegilops* és *Amblyopyrum* esetében: van Slageren (1994), Davis (1985), Witcombe (1983), Hammer (1980), Kihara (1954), Eig (1929). A rendszer megalkotói felhívják a figyelmet arra, hogy a *Triticum* és *Aegilops* fajok esetében nem létezik helyes besorolás, az ebben szereplő osztályozások is tartalmaznak elfogadhatatlan neveket vagy problémás szinonimákat. A rendszer nem támogat egyetlen besorolást sem, de javasolja az osztályozások keverésének elkerülését, egy osztályozás következetes használatát és annak megjelölését. Az alakor esetében az alábbi leggyakoribb elnevezéseket említi (6. táblázat):

6. táblázat. A diploid *Triticum* fajok leggyakrabban alkalmazott elnevezései (GrainGenes Database).

<i>Genom</i>	Osztályozások			
	Dorofeev et al.	Mac Key	van Slageren	Kimber & Sears
A ^u	<i>T. urartu</i>	<i>T. urartu</i>	<i>T. urartu</i>	<i>T. monococcum</i>
A ^b	<i>T. boeoticum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>boeoticum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>aegilopoides</i>	<i>T. monococcum</i>
A ^b	<i>T. monococcum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i>	<i>T. monococcum</i>

Követve ezen instrukciókat, a *T. monococcum* subspecies szinten történő tárgyalása előtt megjelölöm a van Slageren féle besorolást, vizsgálataim során a *T. monococcum* faj két alfaja esetében az *aegilopoides* és *monococcum* elnevezést használom. Ennek

oka, hogy a génbankokból igényelt tételek ezt az elnevezést kapták, melytől nem akartam eltérni. Annak érdekében, hogy az eltérő névhasználat az irodalmak esetében sem legyen zavaró, ott is ezt alkalmazom, de meg kell jegyezni, hogy a szakirodalmak többsége a *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* elnevezés helyett a *T. boeoticum* vagy *T. monococcum* subsp. *boeoticum* neveket alkalmazza.

A domesztikált alakor a vad *T. monococcum* subsp. *aegilopoides*-től három fő tulajdonságban tér el: szemei nagyobbak és teltebbek, kalászorsója keményebb, megakadályozva éréskor a kalászkák szétszóródását és viszonylag egyszerűbben csépelhető (Salamini et al. 2002). Emellett a háziasított alakor esetében általánosságban kalászkánként csak egy termékeny virág található, amelyben oldalirányban lapított, nagyméretű szemek fejlődnek. A vad változatokra ezzel szemben kalászkánként egy vagy két szem jellemző, utóbbi nagyobb arányban (3. ábra). Ezzel együtt sem keverendő össze a másik diploid fajjal, a *T. urartu*-val, amely szinte minden esetben két, tetraploid búzához hasonló alakú, de kisebb méretű szemmel rendelkezik. Emellett utóbbira a vörös vagy borostyánszín jellemző, míg a subsp. *aegilopoides* általában sárga vagy kék, esetenként piros. A Kelet-Európában és Közép-, Észak- és Nyugat-Törökországban élő vad, diploid populációk minden esetben *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* besorolásúak.



3. ábra. Diploid alakorbúzáék. Balra: a vad alakorra (*T. monococcum* subsp. *aegilopoides*) jellemző A–kalász, B–kalászká, C–szemtermés. Jobbra: a háziasított alakorra (*T. monococcum* subsp. *monococcum*) jellemző D–kalász, E–kalászká, F–szemtermés (Schiemann 1948).

1979-ben Yaghoobi-Saray, 1989-ben Smith-Huerta és munkatársai végezték el a *T. monococcum* subsp. az *aegilopoides* és a *T. urartu* izoenzim vizsgálatát, azonban egyik sem terjedt ki a házasított alakor vizsgálatára. Várhatóan a subsp. *monococcum* esetében kisebb genetikai variabilitást írtak volna le, mint az a subsp. *aegilopoides*-ben, de ezt az összehasonlítást nem végezték el. Eredményeik arra utaltak, hogy még az *aegilopoides* is relatíve alacsony genetikai diverzitást mutat, ami valószínűleg az önbeporzó szaporodásból adódhat, ez azonban a környezeti feltételektől függően változhat (Waines 1995).

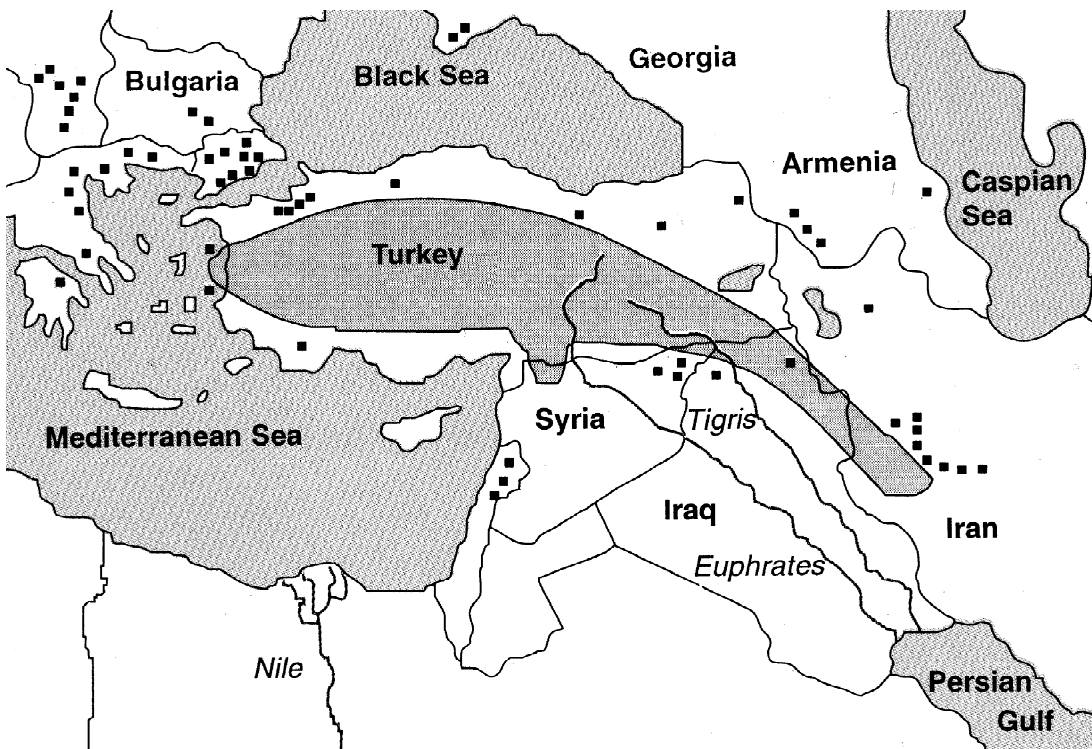
Metakovszkij és Baboev a szem gliadin fehérjéiről végeztek jelentős kutatást. A vizsgálat során nyert adatok alapján a házasított formák mintái a vad formában találtak halmazában egy részhalmazt képeztek (Metakovsky és Baboev 1992a, 1992b, Castagna et al. 1994).

A *T. monococcum* változatosságára RFLP, RAPD és DArT módszerekkel is készültek vizsgálatok. Eredményeik azt mutatták, hogy a három A-genomú diploid búzafajt magas genetikai diverzitás jellemzi, valamint a vizsgálataim szempontjából is jelentős eredmény, hogy igazolták a *T. monococcum* subsp. *monococcum* alacsonyabb genetikai diverzitását *T. monococcum* subsp. *aegilopoides*-hez és a *T. urartu*-hoz viszonyítva. A vizsgálatok emellett kimutatták, hogy a *T. monococcum* tételek mikroszatellit-klaszterezése a földrajzi eredettel csak korlátozott mértékben korrelált. Ez azt támasztja alá, hogy a *T. monococcum* a házasítást követően széles körben elterjedt, de nem ment át számottevő genetikai változáson az elmúlt tízezer évben (Zohary és Hopf, 1993). Természetes élőhelyein hagyományosan, érintetlenül természetük tovább, nem vonták be intenzív termesztésbe, nem volt kitéve intenzív emberi szelekciónak. Ez lehetővé tette a *T. monococcum* számára, hogy megőrizze ősi genetikai variabilitását, ideális gabonamodellt kínálva a genetikai sokféleség és a jelentős tulajdonságok vizsgálatához (Jing et al. 2007). Ahhoz, hogy a vizsgálatok során nyert variabilitásra vonatkozó eredmények teljes mértékben értelmezhetőek legyenek, szükséges a domesztikáció folyamatának és hatásainak részletes ismerete.

2.2.2 A *T. monococcum* előfordulása a régészeti korokban

A pelyvás búzafajok történelmének megismerése különösen tanulságos a növénygenetikai erőforrások megőrzésében. Az alakor az árpa, a lencse és a borsó mellett az úgynevezett "alapító növények" egyike, termesztésük indította el a tudatos földművelést a neolitikumban (Zohary és Hopf 1993). Egyike a kifejezetten

élelmezési célból termesztett kalászos növényeknek (Monneveux et al. 2000), származásának helyszínéként a vizsgálatok Közel-Keleten található „Termékeny félhold”-ként ismert területet jelölték meg (4. ábra) (Megyeri 2014).



4. ábra. A sötétített terület a *T. monococcum* subsp. *aegilopoides*, a *T. monococcum* subsp. *monococcum* vad progenitorjának fő származási központját, a pontok másodlagos jelentőségű előfordulási helyét jelzik (Harlan és Zohary 1966).

Az alakor Am genomja a *T. urartu* Au genomjával szoros kapcsolatban áll, szétválásuk a feltételezések szerint 0,5-1 millió évvel ezelőtre datálható, de az urartu nem jelölt faj a házasított alakor vadon élő őseként (Jaaska 1993, Waines és Barnhart 1990). Az 1900-as évek közepére széles körben elfogadták, hogy domesztikációja egyetlen vad ősből a *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* alfajból a dél-kelet törökországi Karacadağ hegységben (Heun et al. 2008) hozzávetőleg 10 000 évvel ezelőtt (Zohary 1999, Charmet 2011) történt (Megyeri 2014). A vad alakor elterjedési területe a Balkántól Iránig terjedt (Zohary és Hopf 1993), út és mezőgazdasági táblaszél jellegű, folyamatosan terjedő gyomnövény-élőhelyeken. Elsődleges, természetes élőhelyei a ligetes tölgyerdők leggyakoribb előfordulási területe a Termékeny Félhold északi és keleti része, de szintén ilyen társulások részeként megtalálható még Észak-Szíriától Délkelet-Törökországon, Észak-Irakon át egészen Nyugat-Iránig (Nesbitt és Samuel 1995). Elterjedési területeire elsősorban a viszonylag hideg időjárás jellemző, a melegebb régiókban kisebb mértékben

termesztették, az Egyiptomhoz és Dél-Mezopotámiához hasonló forró területeken pedig már egyáltalán nem volt jellemző. Görögországi előfordulását a 19. század közepén írták le (Jaaska 1993, Waines és Barnhart 1990).

Az alakor vadon élő ősének azonosítását követően a kutatók arra a következtetésre jutottak, hogy házasításának helyszíne megegyezik a vadon élő ős előfordulási területével. A vadon élő gabonafajok eloszlási területének azonosítására a domesztikáció idejéből, tízezer évvel ez előttről két fő információforrás áll rendelkezésre. Az egyik a vadon termő gabonafélék elterjedési területe napjainkban, a másik azok archaeobotanikai leletei a pre-agrárterületekről. Az elmúlt tízezer évben az éghajlat viszonylag csekély mértékű változáson ment keresztül, ennek okán a vadon termő gabonafélék eloszlására a holocén korban az emberi tevékenység gyakorolt a legnagyobb hatást. A vadon termő gabonafélék populációi erősen lecsökkentek az erdőirtások, a legeltetési állattartás és a gazdálkodás élőhelyekre gyakorolt hatásai következtében. Az archaeobotanikai bizonyítékok azt jelzik, hogy a vad alakor élőhelye a jelenlegi tartományokon túl, akár attól 100 km-re is kiterjedhetett egészen az észak-szíriai sztyeppéig (Nesbitt és Samuel 1995).

Az időszámítás előtti 9-10. évezredből származó *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* szemmaradványait a származási központjának keresésére irányuló régészeti felmérések során találták meg (Hillman 1975).

A mezőgazdaság eredetét körülvevő időszakot három részre osztják. Az első az apipalaeolitikus korszak (cca. Kr.e. 16.000–8000) az európai mezolitikummal nagyjából egyenértékű, azzal a különbséggel, hogy előbbi egy agrár-, vadász-, gyűjtögető korszaknak tekinthető, addig utóbbi már a mezőgazdasági társadalmak kezdetét jelentette. Ezt követte a pre-kerámia neolitikum A (cca. Kr.e. 8000-7600), és a pre-kerámia neolitikum B (cc. Kr.e. 7600-6000). Az ezen korszakokból, Kr.e. 7500 előtti időszakból származó lelőhelyek növényi maradványai közül csupán három volt, ahol egyértelműen pelyvás búza maradványait tárták fel: Ohalo II, Abu Hureyra és Mureybet (7. táblázat). Az utóbbi két lelőhely esetében a kalászsorsó szegmensek morfológiája kevésbé játszott szerepet az azonosításban, de a búzaszemek a vad alakorszem morfológiájával egyezést mutattak, mindent összevetve a növényi maradványokat vad alakorként dokumentálták. A két lelőhely azonban csupán 100 km-re délre található a vad alakor jelenlegi élőhelyétől, ami egyaránt utalhat a házasításra és a gyűjtögetésre.

7. táblázat. Vad és domesztikált alakor leletek Európából és a Közel-Keletről Kr.e. 5000 előttről (Renfrew 1969, Nesbitt és Samuel 1995).

Lelőhely	Dátum	Vad alakor	Alakor
Ali Kosh	7500-6750 BC	X	X
Çavönü, Turkey	7500-6500 BC	X	X
Tell as-Sawwan	5800-5600 BC	-	X
Tell Mureybet, Ohalo II, Abu Hureyra	17050-7542 BC	X	-
Bcidha	ca. 6750	X	-
Tell Ramad	ca. 6500	-	X
Çatalhöyük, Turkey	5850-5600 BC	-	X
Hacilar, aceramic, Turkey	ca. 7000	-	X
Hacilar, ceramic, Turkey	5800-5000 BC	-	X
Ghediki, aceramic	ca. 6000-5000	-	X
Argissa, aceramic	ca. 6000-5000	-	X
Karanova I	ca. 5000	-	X
Azmaska Moghila	ca. 5200	-	X

A vizsgálat során azonban felmerült a kérdés, hogy a vadon termő gabonaféléket a morfológiai domesztikációs változásokat megelőzően természetűek vagy gyűjtögetésből származtak. Erre a kérdésre napjainkig nem született válasz. Jelenleg is problémát jelent annak eldöntése, hogy egy növényi maradvány esetében mezőgazdasági társuláshoz tartozó, morfológiailag házasított növényről beszélünk vagy sem. Mordechai Kislev (1988, 1992) úgy vélte, hogy a korai leletek esetében a házasított növények megbízható azonosítása kizárólag a házasításra utaló szakadt kalászorsó hegek arányai alapján végezhető el, mivel ebben az időszakban a szem morfológiája meglehetősen kétértelmű. Számos archaeobotanikus jutott ezzel megegyező következtetésre, miszerint régészeti leletek alapján a házasításnak nincs egyértelmű bizonyítéka, még bőséges növényi maradvány esetében sem, mert azok nem megkülönböztethetőek (Nesbitt és Samuel 1995).

Erre a problémára jelenthet potenciális megoldást a magmorfometria és annak itt bemutatott eredményei. A szenült magok ugyanis megőrzik anatómiai jellemzőiket, alakjukat, így összevethetőek a modern referenciaanyagokkal. A régészeti lelőhelyek többsége szenült növényi maradványokban gazdag. A pelyvás gabonák fitolitok formájában a régészeti rétegekben is reprezentálva vannak, azonban ezek analízise még nem elég kidolgozott, a gabona fitolitlemezeit csupán nemzettség szinten képesek azonosítani (Ball 1992, Kaplan et al. 1992, Rosen 1992). A pollenanalízis sem jelent megoldást a pelyvás búzák történetének tanulmányozására, ugyanis azok pollenje a fűfélékétől nehezen elkülöníthető, ami a Közel-Keleten különösen problémás (Edwards 1989, Bottema 1992). Az eltérő csoportok különbségeinek alátámasztásában a szemek vizsgálatát azért nem tartották megfelelőnek, mert az

eddig használt módszerekkel azokat kerek alakjuk miatt nehezen azonosíthatónak, különbségeiket nehezen leírhatónak ítélték. A modern megoldások, mint a gázkromatográfiás tömegspektrometria, az infravörös spektroszkópia vagy a DNS vizsgálat az azonosítás hatékony, de költséges technikailag komplex módszerei, melyek szerepe a morfológiai eredmények kiváltása helyett azok megerősítésében elképzelhető (Szabó és Hammer 1995).

2.2.3 A domesztikáció folyamata és hatásai

A növénytermesztés és a domesztikáció a termesztett növények és rokonaik genetikai diverzitását hasznosítja. A házasítás folyamatának és eseményeinek megértése segítséget nyújthat az eddig nem hasznosított génerőforrások felhasználására és a genetikai folyamatok felgyorsítására irányuló új vizsgálati módszerek kidolgozásában. A régészeti adatok a molekuláris genetika eszközeivel a jelenlegi fajtához vezető feltételezett domesztikációs folyamat rekonstrukcióját, a morfológiai tulajdonságok különbségei pedig a vad, törékeny és a házasított, nem törékeny kalászorsó, valamint a csupasz és pelyvás gabonák elkülönítését teszik lehetővé. A domesztikáció ugyanis a növények esetében az anatómiai és ez által morfológiai változások összességét jelenti, amelyek követik azok termesztését az antropizált új környezethez való alkalmazkodás irányába (Charmet 2011).

A búzafajok már a házasítást megelőzően és termesztésbe vonása alatt is számos, változáson mentek keresztül mutációk révén, melyek a kalász morfológiai tulajdonságaira is hatással voltak (Megyeri 2014). A pelyvás búzák termesztésének kezdetén valószínűleg nem volt szándékos cél a morfológia megváltoztatása, azonban a vad alakor ember által szabályozott vetése és betakarítása megnyitotta a lehetőséget az erős szelekciós nyomás számára (Nesbitt and Samuel 1995).

A domesztikációt megelőzően a vad alakornak három, genetikai és morfológiai polimorfizmus alapján elkülöníthető változata volt (α , β és γ) (Kilian et al. 2007), melyek közül a β változat volt az, melyet a termesztésbe vonásra kiválasztottak (Megyeri 2014).

Az alakor domesztikációs fázisa több évszázados folyamat volt, amely egyidejűleg kiterjedt a tönkebúzára (*Triticum dicoccum*), a rozsra (*Secale cereale*) és az árpára (*Hordeum vulgare*). Alakor esetében a domesztikációs szindróma elsősorban a nem törékeny kalászorsó rögzítése volt a termesztés során. Ezt számos egyéb, a gazdálkodók számára kedvező tulajdonság fokozatos fejlődése követte, mint például

a szemtermés mérete és a virágzás ideje. A mezőgazdasági előnyök biztosításához a változásokért felelős mutációk rögzítése, koncentrációja volt a cél. Annak időpontja, hogy mikor és hol kezdődött a tudatos szelekció eredményezte kedvező vonások megjelenése, teljeskörűen nem tisztázott. A domesztikáció, majd az azt később követő poliploidizáció feltételezhetően csupán néhány növényegyedet érintett. Ez drámai csökkenést eredményezett az effektív populációméretben, palacknyak hatást eredményezve. Molekuláris markereken alapuló módszerekkel megbecsülték, hogy ez a folyamat a tönkebúza esetében az effektív populációméret harmadára történő visszaesését okozta a vad populációkhoz viszonyítva. A genetikai palacknyak hatás veszélye, hogy a diverzitáscsökkenés egy változó környezetben csökkenti a további fejlődésre való képességet. Bár domesztikáció során nőtt a legadaptívabb allélok gyakorisága, ezzel egy időben elveszett számos más, potenciálisan adaptív allél. Olyan esetekben, mint például az alakor házasítása során, amikor a domesztikáció egyetlen helyen, egyetlen alkalommal fordul elő, a mai fajták evolválódásának alapját adó nyersanyag a vad ősökben fellelhető diverzitásvertikum csak kis részét reprezentálja, ami általában annak nem a legértékesebb, sokkal inkább random módon kiválasztott része (Charmet 2011). RFLP módszer alapján ezt igazolták, megállapították, hogy a taxonon belüli hasonlóság magasabb az *monococcum* subsp., mint az *aegilopoides* subsp. esetében, még azzal együtt is, hogy a vizsgálatban az előbbi alfaj mintája a *sinkskafe* tételleket is magában foglalta (Castagna et al. 1994). A domesztikációs központ területén gyakoriak a domináns tulajdonságok, míg attól távolodva csökken a formagazdagság és ezzel párhuzamosan nő a recesszív tulajdonságok aránya (Szabó 1976). A *T. monococcum* faj termesztése természetes élőhelyein domesztikációjától napjainkig, évezredek óta érintetlenül zajlik intenzív emberi szelekció nélkül, így megőrizte ősi genetikai diverzitási szintjét. Ennek köszönhetően az alakor ideális gabonamodellnek tekinthető a jelentős tulajdonságok sokféleségének és a domesztikációt követő genetikai diverzitás tanulmányozásához (Jing et al. 2007).

Törékeny kalászorsó

Amikor elkezdődött a helyileg adaptálódott vad növényfajok ember általi termesztése, az ehhez használt növények tápértéke valószínűleg megegyezett az általa gyűjtögetett fajokéval (Charmet 2011). A domesztikációs szindrómát kronológiailag elsőként egy monogénes determinizmussal jellemezhető tulajdonság, a vad búzákra teljesen törékeny és a pelyvás búzák félig törékeny kalászorsójának

elkülönülése karakterizálta (Charmet 2011, Nesbitt és Samuel 1995). A törékeny kalászorsó a vad fajok esetében a természetben való fennmaradást szolgáló monogénes tulajdonság, melyet a *Br* gén határoz meg (Doebley et al. 2006, Li és Gill 2006). A *br* gént egy allélmutáció alakította ki, elterjedése még nem tulajdonítható tudatos szelekciós tevékenységnek (Charmet 2011).

A nem törékeny kalászorsó a csökkent mag-diszperzió, a progenitás és a faj sikeressége révén egy vadon élő faj esetében negatív fitnessz okoz. Egy vad populációban esetlegesen feltűnő nem-törékeny kalászorsó mutáció valószínűleg megszűnt volna természetes szelekció útján. Azonban ha egy gazdálkodó egy művelés alatt álló földterületen preferálja, támogatja az ilyen tulajdonsággal bíró egyedeket, egy ilyen mutáció már pozitív fitnessz eredményez. Amennyiben a törékeny kalászorsójú növények betakarítását a szemtermések beérését és szóródását követően végezték, a begyűjtött szemtermés állományát nem-törékeny kalászorsójú típusokkal gazdagították, amely idővel dominánssá vált a populációban. A régészeti lelőhelyeken talált maradványok is ezt támasztják alá, mivel a törékeny kalászorsó cseréje nem törékeny típusra ezek alapján fokozatosan következett be (Charmet 2011). A kemény kalászorsóval rendelkező mutáns formáknak főképp egyes betakarítási módszerek kedveztek, mint például a sarlós vágás, mindezt vad alakoron végzett betakarítási kísérlettel is bizonyították (Anderson 1992, Anderson-Gerfaud et al. 1991, Willcox 1992). Egy populáció-genetikusok által készített demográfiai modellben becslést készítettek a nem-törékeny kalászorsójú növények törékenyekkel szembeni felülkerekedéséről, a kicserélődéshez szükséges időről. A vizsgálat során olyan paramétereket használtak, mint a mag nyugalmi állapota vagy magkészlet. Az eredmények alapján a teljes kicserélődés mintegy 500-1000 évet vehetett igénybe, ami összhangban van a régészeti lelőhelyeken végzett megfigyelésekkel. A nem-törékeny kalászorsó dominanciája egy populációban a neolitikum gazdálkodóinak tudatos szelekciója nélkül is bekövetkezhetett, mivel az éretten betakarított, nem törékeny kalászorsójú szemek egy részét letárolták a gazdaságokban a következő évi vetőmag felhasználás céljából, a szántás pedig megakadályozta a törékeny kalászorsó miatt elhullott szemek csírázását (Charmet 2011). A vad alakoron végzett betakarítási vizsgálat azt is kimutatta, hogy a vadon termő gabonafélék esetében módszertől függően a teljes termés maximum 80, jellemzően 50%-át lehet betakarítani, szemben a domesztikált pelyvás gabona akár 100%-os értékeivel (Davies és Hillman 1988). Beéréskor a vad kalászok diszartikulálódnak, a szemek maguktól szóródnak szét, szemben a háziasított pelyvás búzákkal, melyek esetében a

kalászkák szétválasztása cséplést igényel. Ezért előbbire a sima, szakadásmentes, utóbbira a durván szakított diszartikulációs heg jellemző, amely szinte kizárólagosan jellemző a mezőgazdasági régészeti lelőhelyeken. Azonban a szakadt kalászorsó csomópontok kis hányada (10% alatt), még nem jelez háziasítást, mivel kalász bazális részéből származó kalászkák nem minden esetben diszartikulálódnak, illetve akkor sem, ha enyhén alulérett kalászokat csépeltek röviddel a betakarítást követően. Mindezeket összefoglalva az archaeobotanikusok véleménye szerint a csévelt gabonaszemek nagyobb arányú jelenléte egy lelőhelyen jó indikátora lehet a domesztikációnak, ugyanakkor hozzá kell tenni, hogy a csévelt alakor ie. 7000-ig nem jelenik meg, így a korábbi, ie. 8000 körüli legkorábbi mezőgazdasági területeken ez nem jelent segítséget a mezőgazdasági közösségek azonosításához (Nesbitt és Samuel 1995). A háziasított alakort ugyanis sokkal nehezebb volt csépelni, mint a tönke vagy tönkölybúzákat, a vad alakor törzsek karcsúbb formájú és kisebb szemtermései pedig még nagyobb hántolási problémát jelentettek (Harlan 1967; Vallega 1992). A minőségi tulajdonságokat a nagy mennyiségű pelyva nem befolyásolta, a szemek méretét és alakját azonban igen (Millet 1988).

A szemek méretének növekedése

A domesztikáció a leírtakon kívül egyéb változásokat is magában foglal (Nesbitt és Samuel 1995). Ilyen az első olyan minőségi tulajdonság, melyet már tudatos szelekciónak vetettek alá: a szemméret. A háziasított alakor szemtömege a vad törzsekéhez viszonyítva (10 mg/mag) kétszer nagyobb, a szemek alakja sokkal kevésbé karcsú (Waines et al. 1987; Blanco et al. 1990). A szemméret a domesztikáció során növekedett, de ez még nem feltétlenül vezetett teljes hozamváltozáshoz, mivel az elsősorban a kalászkák számának függvénye (Nesbitt és Samuel 1995). Alaktani szempontból a háziasított alakor szemei jellemzően hosszúkásak, laposak, viszonylag kisméretűek (15-35 mg/szem) a mai poliploid búzafajták szemeihez képest (30-50 mg/szem). Az alakorszem fehérjetartalma a domesztikáció során drasztikusan lecsökkent, ami már a termésnövekedésből adódhat. A szem fehérjetartalma a subsp. *aegilopoides* esetében megközelítőleg hat százalékponttal magasabb a termesztett alakorénál, a mai poliploid búzák értékének nagyjából másfélszerese (Harlan 1967, Villegas et al. 1968, Waines et al. 1987, Blanco et al. 1990). Ugyanakkor még a háziasított alakor szemprotein tartalma is magasabb még a mai poliploid búzákkal összevetve, összehasonlítható

termésmennyiség mellett (Vallega 1979, 1992). Lizintartalom tekintetében azonban nem mértek jelentős különbséget a vad és házasított alakor között (Vallega 1995).

Egyéb hatások

A nagyobb méretű szemek, amellet, hogy megkönnyítették a hántolás folyamatát, nagyobb csíranövényhez is vezettek, ami segített a gyomokkal szembeni kompetícióban. A házasított búzák esetében a magasabb hozam számos más fiziológiai adaptációt is előidézett. Megnövekedett a levél és a floém területe, időbeli változások következtek be a fotoszintézisben és az asszimilátok növényen belüli szállításában (Bamakhramah et al. 1984, Dunstone és Evans 1974, Evans 1976, 1993; Evans és Dunstone 1970). Ezen változások esetében azonban nem tisztázott, hogy milyen mértékben képezték a házasítási folyamat kezdeti részeit vagy több ezer éves tudatos vagy nem tudatos szelekció eredményei, következményei (Nesbitt és Samuel 1995).

Az alakor és ez által más búzafajok széles körű elterjedését az eltérő klimatikus viszonyokhoz való alkalmazkodási képesség tette lehetővé és segítette. A vernalizációs és fotoperiódusos igény fontos szerepet játszik a kalászképződésben, ez által kulcsfontosságú reprodukciós szempontból, jelentős mértékben ezek változatosságára vezethető vissza az alakor alkalmazkodóképessége (Ortiz-Ferrara et al. 1995). A házasítást követő időszakban az első alakornövények még a vad ősvernalizációs és fotoperiódusos igényeivel rendelkeztek, de a faj új környezethez való alkalmazkodása új adaptív tulajdonságokat igényelt az elterjedés során. Ilyen jelentős esemény volt a tavaszi típus kiszelektálódása (Peng et al. 2011), melynek nincs vagy csak kis mértékű a vernalizációs igénye a generatív szakaszba történő átmenethez. Ez nagyhatású gének szabályozása alatt áll (*Vrn1*, *Vrn2*, *Vrn3*, *Vrn4*), a vernalizációra érzékeny genotípusok recesszívok, a domináns allél gátolja ezt az igényt, részlegesen vagy teljes mértékben (Pugsley 1972). A vernalizációs igény mellett az alakor elterjedését a nappalhossz érzékenységében rejlő diverzitás is elősegítette, melyet a *Ppd* gének szabályoznak (Peng et al. 2011).

Az azonosításra használt morfológiai kritériumok, a morfometria mérési adatai a további azonosítási cél mellett hasznosak lehetnek a különböző vizsgált helyszínek, élőhelyek, régészeti lelőhelyek esetében is (Jacomet 2006) és segítséget nyújthatnak az említett domesztikációs változások megértésében, folyamatok modellezésében, számos olyan esetben is, amikor más módszer alkalmazása nem lehetséges.

2.2.4 Domesztikált és vad tételek elkülönítésének magmorfometriai módszere

Rovner és Gyulai 2007-ben az *Economic Botany* folyóiratban közzétett publikációjában egy morfometriai adatbázis létrehozásáról számol be.

Egy magyar-amerikai archeobotanikai kutatási együttműködés keretében egy jelentős, a Magyar Agrobotanikai Intézetből származó mag referenciagyűjteményt vizsgáltak meg egy morfometriai adatbázis elkészítése céljából. Ez az adatbázis napjainkig közel 1500 különböző magpopulációt tartalmaz, amely több mint 1300 taxont reprezentál.

A digitális kamerával végzett képfelvételezés során 100 darabos mintastandardot használtak, az ennél kisebb méretű magpopulációk esetében pedig a teljes rendelkezésre álló mennyiség lemérésre került. A recens és a régészeti leletekből származó magok képi adatbázisáról a Russ (AnalyticalVision Inc.) által kifejlesztett Prism Image Analysis and Measurement Software segítségével végeztek méréseket.

A módszer hatékonyságát és gyorsaságát mutatja, hogy kevesebb, mint két hónap intenzív munkával, digitális videokamerát, standard asztali számítógépet és egy kereskedelmi forgalomban lévő képelemző szoftverrendszert alkalmazva két kutató 20 db egyidejű kétdimenziós mérést végzett el (méret és alak) nagyjából 150.000 különböző magról, összesen a becslések alapján mintegy 3 millió mérést. A morfometriai adatbázis létrehozásának, az így kapott eredmények elemzésének eredeti célja egy, a fosszilis magok rendszertani besorolásához, osztályozásához alkalmazható szoftver megalkotása volt.

A vizsgálatok során azonban számos kérdés merült fel az érvényben lévő hagyományos morfotípusos rendszerben a megfelelő magmorfológiai mintavételezéshez és paraméteres statisztikához használatos szabványokkal kapcsolatban, így a szoftver kifejlesztéséről áthelyezték a kutatás fókuszpontját a magpopulációk morfológiai változatosságának tanulmányozására. A vad és domesztikált magok mérési eredményeinek hisztogramjain is elvégezték a morfometriai analízist.

A vizsgálatot az első 10 db mag mért adataival kezdték, majd a következő 40 mag (n=50) adatait hozzáadták az első 10-hez és így tovább. Végül soron a 10, 50, 100, 150 és 207 minta eredményeit grafikus hisztogramon jelenítették meg. A hisztogram fájlokat, mint grafikus képet a statisztikai programból a Prism programba

exportálták, majd a szabálytalan alakú objektumon alkalmazott módszerrel feldolgozták. A hisztogram képeit közvetlenül átkonvertálták bináris képpé, a „radír” eszközzel eltávolították az idegen objektumokat (címké, számok, rácsok, jelölések, stb.). Mivel az alaki faktorok dimenzió nélküliek, azaz a méretek arányain alapulnak, pontosan kiszámíthatóak a pixelek számának arányaiból, függetlenül attól, hogy méretileg kalibráltak-e a pixelek. Mind a 10 elérhető alaki faktor hisztogramján eszerint elvégezték a méréseket. A cél az volt, hogy meghatározzák a minimális mintapopulációt, ami szükséges egy várhatóan normál, haranggörbe alakú eloszláshoz.

Az eredmények, a morfológiai változatosság megfigyelt mintázata szignifikánsan eltért az elvárttól. A vad és domesztikált magpopulációk méret szerinti eloszlásának normál ábrázolása következetes különbséget mutatott a hisztogram alakjában. A méretről és alakról végzett mérések hisztogramjai a vad fajok esetében nem feleltek meg az elvárt normál eloszlásnak, azaz a haranggörbére a nem normál (azaz nem paraméteres) méreti eloszlás volt a jellemző. A hagyományos leíró statisztikai értékek az ilyen jellegű különbségekre érzéketlenek voltak, a hisztogram alávetése a morfometrikus alakmérésnek sajátos alaki faktorokat tárt fel. A domesztikált magpopulációk általában a normál vagy hipernormális eloszlás felé tendáltak, az ilyen szűkebb eloszlás gyakran tükrözi azt, hogy a populáció nagyfokú szelektív torzításnak volt kitéve. Ezek a mezőgazdaságban ember általi domesztikáció alanyai, nem a természetes szelekcióé, ennek köszönhetően magasabb fokú morfológiai specializációt mutatnak.

A vizsgálat további részében három alaki faktor, a Formfaktor (Formfactor), a Konvexitás (Convexity) és a Görbület (Curl) biztosította az összehasonlító méréseket, amelyek elkülönítették a vad és domesztikált fajok hisztogramjainak ábrázolt mintázatát. Összességében ez a három morfometriai érték következetesen alacsonyabb volt a vad populációk és magasabb a domesztikált populációk esetében, ezért az eredmények egyszerűsítése érdekében a tizedes pontot minden alaki faktor esetében elhagyták és a három értéket összeadták, hogy létrehozzanak egyetlen index értéket ($\text{Formfactor} + \text{Convexity} + \text{Curl} = \text{RGiD}$), melyet RGiD-Rovner-Gyulai Index of (seed) Domestication (Rovner-Gyulai Domesztikációs Index) névvel jelöltek.

Ezen megfigyelés további vizsgálatához kiválasztották öt domesztikált búza mérési eredményeit az adatbázisból:

- *Triticum aestivum* L. var. *icterium* (Alef.) Mansf.,
- *T. aestivum* L. var. *lutescens* (Alef.) Mansf.,
- *T. aestivum* conv. *transilvanien* (Magyarod) (Gyimes-Transylvani),
- *T. monococcum* L. subsp. *monococcum* MacKey,
- *T. turgidum* conv. *polonicum* (L.) MacKey cv. *kamut*. (syn. (*T. t. ssp. turanicum*), vagy *T. t. subsp. durum* var. *egyptiaca*)

Valamint kijelöltek négy vad búzafajt:

- *T. dicoccoides*, (Körn.) Aarons,
- *T. turgidum* subsp. *carthlicum* (Nevsky) MacKey,
- *T. turgidum* subsp. *turanicum* (Jakubz.) A. Löve. & D. Löve.,
- *T. turgidum* L.

Az RGiD értékek egyértelműen képesek voltak különbséget tenni a domesztikált és a vad búzapopulációk (*Triticum* sp.) között, a domesztikált populációk magasabb értékeket mutattak, elkülönülve a vad populációk alacsonyabb értékeitől. Mindemellett meg kell jegyezni, hogy a vad fajok szórt, multimodális eloszlása a közel normálistól a hipermodálisig terjedő domesztikált fajok szerkezetétől a legtöbb hisztogram esetében egyszerű megfigyeléssel is könnyen megkülönböztethető.

A szerzők kitérnek egy fontos problémára, amely felmerül minden ilyen jellegű magmorfometriai vizsgálatnál. Az, hogy a vizsgált magtétélek eltérő évben és eltérő helyszínről lettek begyűjtve, feltételez egy nagyfokú környezeti eltérést, ami változást idézhet elő a mag morfológiájában. Montgomery (1977) már utalt arra, hogy a környezeti változásokat illetően a magok mérete változhat, míg az arányai (méretarányok – az alaki faktorok alapján) általában állandóak. Ezt azonban fontos volt ellenőrizni a kapott eredmények megbízhatósága érdekében. Arra számítottak, hogy a méretbeli paraméterek átlagainak összehasonlítása instabilitást fog mutatni, míg az alaki paraméterek átlagérték stabilitásának meg kell maradnia, ami tükrözi a magok alakjának szoros genetikai szabályozottságát az eltérő ökológiai környezetben is. Minden párban az 50 párhuzamos populáció esetében lemérték 8 méreti (400 eset) és 10 alaki (500 eset) paramétert, amelyek átlagát összehasonlították a Statview statisztikai program segítségével, hogy elvégezzék a páratlan t-próbát, ami egy parametrikus próba és a Mann-Whitney (Wilcoxon) próbát, ami egy nem-

parametrikus próba. A vizsgálattal sikerült igazolni, hogy a méreti átlagértékek az esetek túlnyomó részében eltértek egymástól, azonban az alaki mérések átlagértékei statisztikailag azonos eredményeket hoztak.

Rovner és Gyulai ismertetett tanulmánya számos olyan alapvető megállapítást tartalmaz, amely ezen morfometriai vizsgálatsorozat alapjául is szolgált, a domesztikált és vad populációk elkülönítésének módszere és a magok alaki paramétereinek genetikai determináltsága kulcsfontosságú volt az alakormagokon végzett vizsgálatok szempontjából. Az általuk kidolgozott módszer potenciálisan alkalmazható a régészeti magleletek esetében a történelem, etnobotanika és különösképp a mezőgazdaság tanulmányozása során (Rovner és Gyulai 2007).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálat első lépéseként szükség volt a vizsgálatban részt vevő minták meghatározására, ezt követte egy megfelelő módszertan összeállítása a magmorfometriai adatbázis elkészítéséhez.

3.1 A felhasznált alakor tételek ismertetése

A magmorfometriai vizsgálatokhoz szükséges *Triticum monococcum*. L. tétélekkel kapcsolatban elvárás volt, hogy lehetőség szerint minimálisan 50-es darabszámú és taxonómiailag ismert besorolású legyen. Ennek érdekében felkerestem a tápiószelei Növényi Diverzitásközpontot és a martonvásári Agrárkutató Központot. Előbbi intézmény kérésemre négy tételt adott ki a vizsgálatához. A génbankban tárolt minták tételenként 200 db hántolt szemet tartalmaztak az alábbi tulajdonságokkal (8. táblázat):

8. táblázat. A Növényi Diverzitásközpontból kiadott alakortételek adatai.

	1. minta	2. minta	3. minta	4. minta
NÓDIK nyilvántartási szám	RCAT072087	RCAT072092	RCAT074133	RCAT074129
Nemzettség (Genus)	<i>Triticum</i>	<i>Triticum</i>	<i>Triticum</i>	<i>Triticum</i>
Faj (Species)	<i>monococcum</i> L.	<i>monococcum</i> L.	<i>monococcum</i> L.	<i>monococcum</i> L.
Változat (Varietas)	-	-	laetissimum Körn.	flavescen sKörn.
Fajtanév	(tf.) FAZEKAS-2970	(tf.) JANICS-2400	EINKORN AUS OESTERREICH	COLL. SCHIEMANN
Származási ország	-	-	Ausztia	Marokkó
Küldő ország	Magyarország	Magyarország	Németország	Németország
Introdukciós szám	I-0130-00011/000	I-0130-00016/000	I-0130-00060/000	I-0130-00091/000
Életforma	őszi	őszi	őszi	Őszi
Beszerezés éve	1998	1998	1998	1998

Az 1. és 2. mintákat a szombathelyi Berzsényi Dániel Tanárképző Főiskola Botanikai Tanszéke, a 3. és 4. mintákat a németországi Institut für Pflanzenbau Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL) BAZ Genbank küldte a génbank számára. Ezekkel a tétélekkel kapcsolatban a vizsgálat szempontjából több probléma is felmerült. A négy mintából kettő csak faj szinten került meghatározásra és mivel ezek direkt módon kerültek a génbankba külső forrásokból, a termesztési körülmények nagymértékben eltérőek voltak és

ismeretlenek. Így, bár a fényképezési módszertan kidolgozásában szerepeltek ezek a tételek, a konkrét mérésekben, adatfeldolgozásban már nem.

A martonvásári Agrártudományi Kutatóközpontból 17 db mintát tudtak a vizsgálathoz biztosítani, az alábbi információkkal (9. táblázat):

9. táblázat. Az Agrártudományi Kutatóközpontból kiadott alakorminták tulajdonságai.

Faj (<i>Species</i>)	Alfaj (<i>Subspecies</i>)	Változat (<i>Varietas</i>)	Fajtakör (<i>Convarietas</i>)	Minta azonosítója	Minta darab - száma	Minta évjárata
<i>Triticum monococcum</i>	<i>aegilopoides</i>			MVGB 87	200	2013
<i>Triticum monococcum</i>	<i>aegilopoides</i>	<i>nigrireuteri</i>		MVGB839	200	2012
<i>Triticum monococcum</i>	<i>aegilopoides</i>	<i>symbolense</i>		MVGB66	200	2013
<i>Triticum monococcum</i>	<i>aegilopoides</i>	<i>mayssuriani</i>		MVGB100	200	2013
<i>Triticum monococcum</i>	<i>aegilopoides</i>	<i>thaoudar</i>		MVGB101	200	2013
<i>Triticum monococcum</i>	<i>aegilopoides</i>	<i>pseudoboeoticum</i>		MVGB102	200	2013
<i>Triticum monococcum</i>	<i>monococcum</i>	<i>vulgare</i>		MVGB4	200	2013
<i>Triticum monococcum</i>	<i>monococcum</i>	<i>albohornemannii</i>		MVGB550	200	2010
<i>Triticum monococcum</i>	<i>monococcum</i>	<i>macedonicum</i>		MVGB39	200	2013
<i>Triticum monococcum</i>	<i>monococcum</i>	<i>hornemannii</i>		MVGB40	200	2013
<i>Triticum monococcum</i>	<i>monococcum</i>	<i>flavescens</i>		MVGB47	200	2013
<i>Triticum monococcum</i>	<i>monococcum</i>	<i>atriaristatum</i>		MVGB572	200	2013
<i>Triticum monococcum</i>	<i>monococcum</i>	<i>vulgare</i>	<i>Balkan</i>	MVGB547	50	2010
<i>Triticum monococcum</i>	<i>monococcum</i>	<i>vulgare</i>	<i>Schwedisches Einkorn</i>	MVGB752	50	2012
<i>Triticum monococcum</i>	<i>monococcum</i>	<i>vulgare</i>	GÖROG-TAJFAJTA	MVGB1262	50	2012
<i>Triticum monococcum</i>	<i>monococcum</i>	<i>vulgare</i>	Csanaki	MVGB1156	50	2012
<i>Triticum monococcum</i>	<i>monococcum</i>	<i>vulgare</i>	EPEAUTRE	MVGB1259	50	2012

Ez a 17 tétel minden szempontból megfelelt a követelményeknek. Taxonómiai besorolásuk változat szinten ismert, bár a fajtakör szinten beazonosított öt tétel csak

50 alakorszemet tartalmazott, a tételek darabszáma elegendő volt a vizsgálathoz (5. ábra).



5. ábra. Az Agrártudományi Kutatóközpontból igényelt minták.

A különböző helyről származó mintákat a Kutatóintézetben fenntartás céljából újrajavították, így a számomra megküldött minták kivétel nélkül azonos területről kerültek betakarításra, termőhelyi adottságok nem befolyásolták a szemek nagyságát. A tételek termesztésének éve a legtöbb esetben 2013 volt, így azokhoz a vizsgálatokhoz is rendelkezésre állt elegendő tétel, ahol az évjárathatás kiküszöbölése céljából csak azonos évben betakarított minták jöhettek szóba. A tételeket alkotó alakorszemeket hántolva tárolták, így a vizsgálatok megkezdéséhez nem volt szükség előkészítő munkálatokra.

3.2 *Triticum monococcum* magmorfometriai adatbázis készítése digitális képfeldolgozás alkalmazásával

A morfometriai adatbázis elkészítéséhez, a *Triticum monococcum* tételek leméréséhez a Fovea Pro 4.0 szoftvert használtam, így a mérés módszertanát, a szükséges eszközöket is alapvetően ezen program inputigényei határozták meg. Ahhoz, hogy a mérések során az alakorszemek adatait a legpontosabban vételezhessem fel, kulcsfontosságú volt az azokról készített felvétel, az input felvételek megfelelő minősége.

3.2.1 A méréshez szükséges képtulajdonságok

A felvételekkel szembeni elvárások egy része alapvető fontosságú, azok nem megfelelésége esetében a mérés során kapott eredmények nem pontosak,

félrevezetőek. Az ilyen hibák felismerése nehézkes, sok esetben nem történik meg, amennyiben mégis, vagy egyáltalán nem, vagy csak hosszadalmas és bonyolult utómunkálatok alkalmazásával lehetséges, amely fölöslegesen növeli a módszer időigényét és rontja a megbízhatóságot. Ezek alapján a készítendő felvételeknek az alábbi alapvető kritériumnak szükséges megfelelni:

- a felvételezések során nem szabad változnia a kamera-minta távolságnak,
- a felvételezések során a kamera optikai tengelyének merőlegesnek kell lenni a minták síkjára,
- egyenletes megvilágítás szükséges,
- a felvételezési beállítások megléte.

Emellett vannak olyan elvárások is, amelyek különböző mértékben teljesíthetőek, a mérés szempontjából minél jobban sikerül ezeket teljesíteni, annál pontosabb, egyszerűbb, gyorsabb és megbízhatóbb lesz a mérés, a kinyert adatok annál kifinomultabb vizsgálatokra alkalmazhatóak. Sok esetben ezek egymással fordítottan arányosak (pl. a felbontás nagysága és az egy időben felvételezhető objektumok száma), így ezek esetében a legoptimálisabb kompromisszumra szükséges törekedni. Ilyen elvárások a felvétellel szemben:

- egy időben felvételezett objektumok lehető legnagyobb száma,
- lehető legnagyobb felbontású felvétel készítése,
- árnyék és egyéb nem kívánatos objektumok számának minimalizálása a felvételen,
- zajok minimalizálása,
- objektumok egymással és a felvétel szélével való érintkezésének elkerülése.

Mindezeket figyelembe véve a módszer kidolgozásában az első, nagy körütekintést igénylő feladat a megfelelő eszköz megtalálása volt a felvételek elkészítéséhez.

3.2.2 A kísérletek elemzéséhez és kiértékeléséhez használt eszközrendszer meghatározása

A morfológiai paraméterek mérése alapvetően – ezért módszereiben is – különbözik az Euklideszi geometrián alapuló szabványos mérésektől. A számítógépes morfometria során egy képmezőben lévő egy vagy több (gyakran igen nagyszámú) tárgyról digitalizált képre van szükség (Rovner és Gyulai 2007). A korábbiakban bemutatott példákban is látható, hogy ez többféle eszközzel is elkészíthető. Ilyen a mikroszkóp, a szkanner, valamint a digitális fényképezőgép.

A vizsgálatok megkezdésekor a lehető legnagyobb felbontású felvételek elkészítéséhez első körben a háromdimenziós szkener és a mikroszkóp alkalmazása merült föl, azonban ennek hátránya már ekkor is egyértelmű volt. Mindkét eszköz egyszerre egy mag felvételezésére alkalmas, ami nem felelt meg a vizsgálat elsődleges céljának, egy költséghatékony és nagy mintaszám esetén is gyors módszer megalkotásának.

3.2.2.1 Mikroszkóp alkalmazása

Első lépésként felvételeket készítettem egy Zeiss Discovery V8 típusú sztereo mikroszkóppal. A tárgylemezre maximálisan két alakorszem felhelyezése volt lehetséges, azonban azok eltérő mérete nem tette lehetővé a megfelelő fókusztávolság és mélységélesség beállítását, két mag esetén két különböző beállításra lett volna szükség. Egyetlen magot téve a tárgylemezre felmerül a módszer jelentős időigénye, különösképpen a szem megfelelő beállítása majd a megfelelő fókusztávolság megtalálása miatt. Ez azonban kiküszöbölhető a képek automatikus összeillesztésével vagy a mérés automatizálásával, az azonos tételbe tartozó mérési eredmények azonos fájlba való mentésével, így ezen a ponton még nem vettem el a mikroszkóp alkalmazásának lehetőségét. Azonban a felvételek készítésekor egy másik nehezítő tényező is felmerült. A tárgylemezre helyezett mag háromdimenziós kiterjedése, a mező optikai mélysége a mikroszkóp által általánosságban vizsgált objektumokhoz képest nem tette lehetővé olyan felvétel készítését, amelyen a vizsgált alakorszem minden pontja fókuszbán van, megfelelően éles. Ahhoz, hogy a méréshez megfelelő felvételt készítssek minden alakorszembről annak megfelelő módon való tárgylemezre helyezését követően egy képsorozatot szükséges készíteni különböző lencsetávolságokkal, majd ezeket kombinálni. Ebből egyértelműen kitűnt, hogy a mikroszkóp alkalmazása kizárólag abban az esetben javasolt a magmorfometriai felvételezésben, ha nem számít a felvételezés időigénye, illetve kis mintaszámú tételek (pl. archaeológiai leletek) vizsgálatánál. Javasolt lehet a módszer oly módon is, hogy a vizsgálandó mag beállítása, tárgylemezen való elhelyezése, a megfelelő fókusztávolságok beállítása és a felvételek készítése automatizált folyamat, ez azonban egy teljes eszközrendszer megtervezését és kidolgozását feltételezi, amely ellentmond az ebben a vizsgálatban kívánatos költséghatékony módszer alkalmazásának.

3.2.2.2 Szkenner alkalmazása

A mikroszkóppal készített felvételezést követően a szkennelés alkalmazása merült fel. A szkennelés nagy előnye, hogy alkalmas egyszerre nagy mintaszámú felvételek készítésére, a forgalomban lévő szkennerek felbontása azonban behatárolja a minőséget, mindemellett képes teljesíteni a fent említett három alapvető felvételezési kritériumot.

A szkennelés a síkban vagy három dimenzióban elhelyezkedő objektumok képének, mintázatának digitalizálására, információt tartalmazó bitekké alakítására alkalmas eszközök egyike. A beszkennelt objektumok képe alkalmas számítógép segítségével történő vizsgálatra, módosításra, digitális formában való tárolásra, másolatok készítésére. A digitális kép pixelnek (Picture elements) nevezett képpontokból épül fel, melyek adatot hordoznak. Ezek az adatok bitek formájában tárolhatók, számuk adja meg a színmélységet, a kép részletgazdagságát. A szkennerek által leggyakrabban használt fájlformátumok a JPEG, a BMP és a TIFF (Berke et al. 2010).

A szkennerek több szempont alapján csoportosíthatók. A szkennelés tárgya alapján három csoportra bonthatók. A ránézeti szkennelés a céltárgyról visszaverődő, az átnézeti a céltárgy által áteresztett fényt érzékeli és létezik a kettőt ötvöző, mindkét feladatnak megfelelő szkennelés (Grósz 2010).

Technológiai csoportosítás szerint szintén három alapvető típus különböztethető meg. A kézi vagy handy szkennelés használata során a szkennert szükséges a beolvasandó objektum fölött merőlegesen, egyenletesen mozgatni, melynek során egyidejűleg egy, kisebb szélességű sor digitalizálása történik. Kisebb méretű dokumentum, objektum színes vagy fekete-fehér szkennelésére alkalmas (Grósz 2010).

Másik, speciális típus az úgynevezett dob szkennelés. Professzionális képfeldolgozáshoz alkalmazzák, jó minőségű, nagyméretű dokumentumok, filmek, úrfelvételek beolvasására. Felépítése azonban háromdimenziós objektumok szkennelését nem teszi lehetővé, ugyanis az egy dobra kerül felrögzítésre, melyet beolvasás során nagy sebességgel megforgatnak. Ezzel mind az érzékelő, mind a pontszerű fényforrás egy spirális mozgást végezve tapogatja le a képet.

Jelen vizsgálat során az eszköz harmadik típusa, a síkágyas vagy flat-badszkennelés segítségével készítettünk felvételeket a vizsgálni kívánt magokról. A beolvasás során

a papírt mozgató, átmenő fényt érzékelő változat kizárólag dokumentumok digitalizálására alkalmas, az érzékelőt a beépített fényforrással együtt mozgató, a visszavert fényt érzékelő síkágys szkenner azonban megfelelő digitális kép készítésére a síkagy felületére elhelyezett háromdimenziós objektumokról.

A síkágys szkenner felépítését illetően CCD vagy CMOS érzékelőket valamint a mesterséges megvilágítást biztosító integrált hidegfényű fényforrásokat tartalmaz, melyet fejmozgató mechanikával mozgat az érzékelők geometriai kialakítására merőlegesen. Használata során típustól függően többféle üzemmód, beállítás közül választható ki az adott célnak leginkább megfelelő (Grósz 2010).

A vizsgált objektum jellege alapján megválasztható, hogy a képi adatok kinyerésében a visszavert vagy áteresztett fény érzékelése a cél, ennek megfelelően a visszavert (reflective), dia (slide) vagy negatív (negative) beállítás alkalmazható.

A legtöbb típus esetében állítható a szkennelési méret, azaz egyetlen beolvasás során letapogatott maximális terület, amely A4-es szkenner esetében 210x197 mm.

Egy kutatás esetében az eszköz megválasztása során az egyik legfontosabb paraméter az eszköz felbontóképessége. Egy szkenner esetében két meghatározó adat az optikai (fizikai) valamint a szoftveres (kimenő) felbontóképesség. A megadott, két számból álló paraméter első tagja az inchenkénti vonali érzékelőbe integrált detektorszám, a második egy, a detektorok szélessége és a mozgatómechanika adta lehetőségek által meghatározott paramétert jelöl. A szoftveres felbontóképesség a fizikai jellemzők és egyfajta interpolációs függvény által kapható meg (Grósz 2010).

A kapott kép minőségét, főképp képelemzés esetén, jelentősen befolyásolja az elektronikus zaj, amely az épített érzékelők adatait terheli és főképp A/D átalakítás során lép fel. Sötétebb részekben, kevés fény mellett az érzékelők alacsony érzékenysége miatt jelentősebb (Grósz 2010).

A kép jelentős tulajdonságát a színparaméterek adják, a szkennerral végzett vizsgálat során azonban bináris képek kerültek elemzésre, így ezeknek jelen esetben nem volt szerepe.

A megfelelő szkenner kiválasztásában nagyon fontos szempont volt, hogy az eszköz kialakítása lehetővé tegye háromdimenziós objektumok felvételezését. A jelenleg forgalomban lévő szkennerek közül a Canon cég CanoScanLiDE 700F készüléke bizonyult megfelelőnek, melynek háromutas kialakítása és 180°-ban

nyitható fedélmérettől függetlenül biztosítja a munkaszíntér számára a nagyfelbontású beolvasást (10. táblázat). A nyitható fedél kulcsfontosságú, hiszen a munkaszíntéren megfelelő módon elhelyezett alakorszemek egy ráhelyezett fedél hatására könnyen elmozdulhatnak.

10. táblázat. A CanoScanLiDE 700F alapvető tulajdonságai ([http3](http://3)).

Tulajdonság	CanoScanLiDE 700F
Típus	Színes síkágvas asztali lapolvasó
Beolvasóegység	CIS (színes CIS)
Fényforrás	3 színű (RGB) LED
Optikai felbontás	9600×9600 dpi (film) 4800×4800 dpi (tükröződő dokumentumok)
Választható felbontás	25–19 200 dpi
Csatlakozók	Nagy sebességű USB
Beolvasási árnyalás (színes)	48 bites bemenet -> 48/24 bites kimenet
Maximális dokumentumméret	A4/Letter [216×297 mm]
Beolvasási sebesség (színes)	2,4 msec/sor (300 dpi), 33,5 msec/sor (4800 dpi) ¹

Az eszköz rendelkezik emellett QARE automatikus por- és karcoláseltávolító funkcióval, amely automatikusan érzékelve és eltávolítva a port a beolvasott felvételtől, megkönnyíti az utómunkálatokat. Ezt azonban az információvesztés elkerülése érdekében letiltottam, az ilyen jellegű zavaró objektumot az előfeldolgozás során többféle módszerrel távolítottam el.

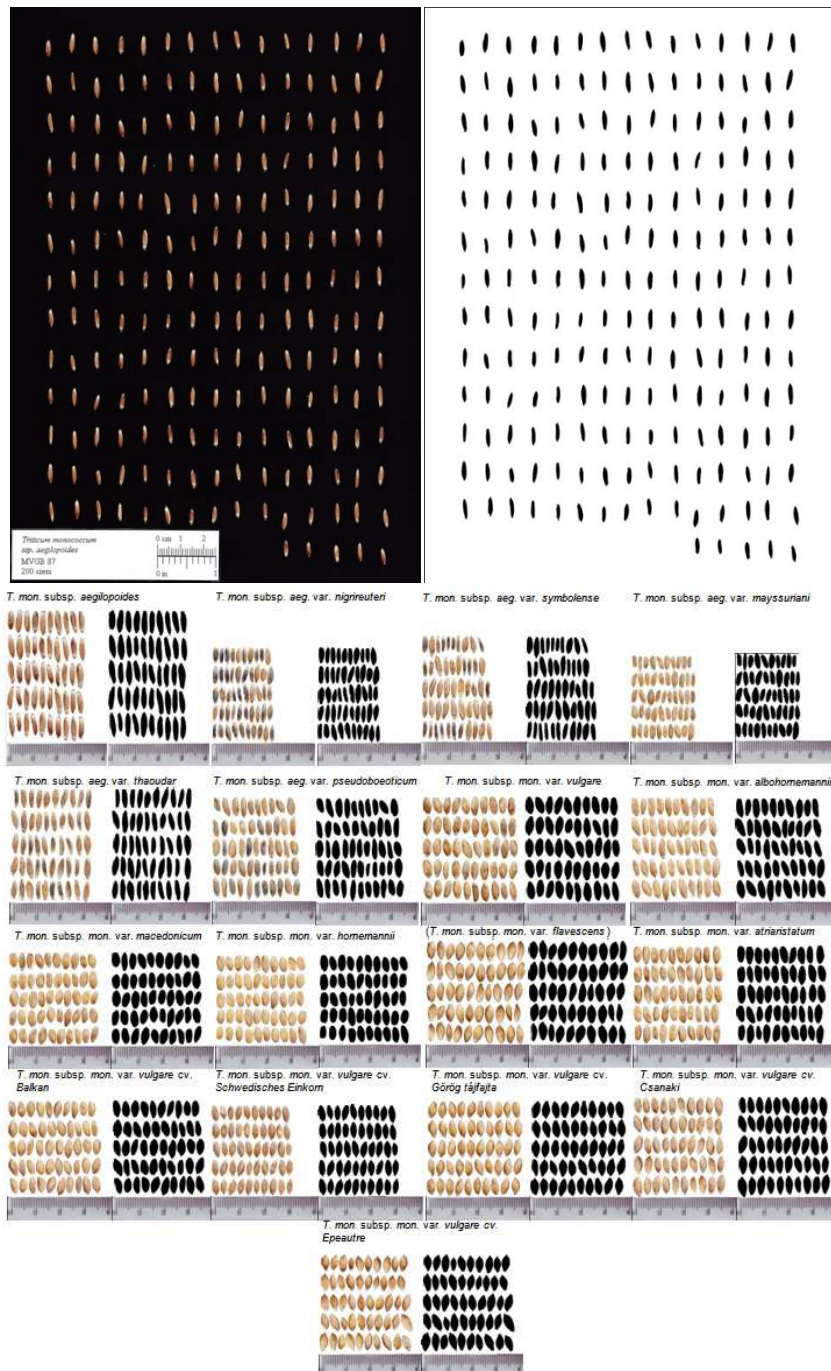
Ahhoz, hogy a felvételek megfelelőek legyenek, az alakorszemeket egyesével a munkaszíntérre helyeztem, ügyelve arra, hogy azok egymással és a beolvasott terület szélével ne érintkezzenek. A 216x297 mm területű munkaszíntéren a vizsgálathoz szükséges 200 db alakorszem érintkezés nélkül elhelyezhető, így egy tétel egyetlen beolvasással felvételezhető. Ahhoz, hogy a felvételeken ne jelentkezzen árnyék, a beolvasás időtartama alatt minden külső megvilágítást meg kell szüntetni. Az elkészült felvételt, annak érdekében, hogy ne történjen adatvesztés, TIFF formátumban mentettem el (M2).

Az elkészült felvételek tulajdonságai:

- Méretek 4960x7015 képpont
- Szélesség 4960 képpont
- Magasság 7015 képpont
- Vízszintes felbontás 600 dpi

- Fügőleges felbontás 600 dpi
- Bitmélység 24 bit
- Színreprezentáció sRGB

Ezzel a módszerrel minden vizsgálatban szereplő alakortételről készült felvételezés, majd utófeldolgozást követően morfometriai vizsgálat (6. ábra).



6. ábra. A vizsgált alakor tételek szkennelt (bal) és mérésre előkészített (jobb) felvételei.

Az ily módon nyert adatok alkalmasnak bizonyultak arra, hogy hisztogramjaik alapján elkülöníthető legyen a *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* és a *T.*

monococcum subsp. *monococcum*, azonban a tételek megbízható elkülönítéséhez nagyobb felbontású felvételekre volt szükség. Így a megfelelő módszertan kidolgozásában a következő lépés a fényképezőgéppel való felvételezés volt, amely megfelelő kiegészítőkkal alkalmasnak tűnt egyszerre több, akár egy 200 darabszámú minta egyszerre történő, nagy felbontású felvételezésére.

3.2.2.3 Fényképezőgép alkalmazása

A vizsgálatokhoz a szkeneren kívül digitális fényképezővel történt a képrögzítés. A digitális tükörreflexes fényképezők működése és felépítése gyártónként, típusonként kismértékben eltér, de alapvetően megegyezik. A fényképező mechanikus és elektronikus részeinek háza a legtöbbször műanyagból vagy magnéziumötvözetből készült vázszerkezet, gumi és műanyag borítással kiegészítve. A lencsék csatlakoztatását az objektívfoglalat biztosítja, az itt található érintkezők teszik lehetővé a rekesz és a zár állítását, valamint az automatikus élességállítást (attól függően, hogy manuális és/vagy autófókuszos objektívről van szó). A kép készítésekor egy felcsapható tükör a zár kinyitásakor a fényt az objektív lencserendszerén keresztül az érzékelőre juttatja. Azonos megvilágítás esetén a szükséges záridő a nyílás nagyságával fordítottan arányos. Alap objektív esetében a látószög 46° , a fókusz távolság 50 mm (Grósz 2010). A kép rögzítését a képérzékelő és rögzítő eszköz végzi, melynek két fajtája a CCD-CMOS Complementary Metal-Oxide-Semiconductor – kiegészítő fém-oxid félvezető) és a CCD-NMOS (Charge-Coupled Device – töltéscsatolt eszköz). Ezek a chippek pixelekből, azaz 2 dimenziós mátrixba rendezett fényérzékeny elemekből épülnek fel, melyekben az optikai úton leképezett kép megváltoztatja a töltésmennyiséget (Berke et al. 2010). A képérzékelő színeket nem érzékel, a fényt prizmák és szűrők segítségével bontják a három alapszínre, amelyet vagy 3 különböző CCD mátrixra vetítenek vagy egy CCD mátrixra telepített mozaikszűrővel pixelenként választanak szét. A végleges képet képfeldolgozó algoritmusok segítségével számoljuk ki a szomszédos árnyalati- és színinformációk alapján (Vastag et al. 2018). A képek tárolásra használt fájlformátum digitális fényképező esetén általában JPEG, TIFF vagy RAW. A JPEG (Joint Photographic Experts Group) egy elsődlegesen veszteséges képtömörítési szabvány. Veszteségmentesen 50%-os tömörítés érhető el, kisebb romlással, felhasználó által beállítva 30:1, 40:1 tömörítési arány esetén. A TIFF (Tagged Image File Format) veszteségmentes tömörítésre alkalmas, hardver- és operációs rendszerfüggetlen, legtöbb képfeldolgozó program által kezelt fájlformátum (Berke et al.

2010). A RAW fényképezőgép specifikus fájlformátum, amely az eredeti nyers állomány veszteségmentes, tömörítetlen tárolására szolgál, paraméterei utólag a számítógépen egyénileg változtathatóak (Grósz 2010, Sheppard 2003). Vizsgálataim során mindhárom formátum kipróbálásra került.

A digitális képelemzés eredményét jelentősen meghatározza a vizsgált kép minősége. Ebből adódik, hogy az ideális kép elkészítéséhez szükséges optimális körülmények és beállítások megtalálásával együtt fontos az úgynevezett képet érő zavaró hatások kiküszöbölése, amelyet mindenképp szükséges megemlíteni. A zavaró hatások egy része a képpontok eredeti világosságkódjának véletlenszerű megváltozásában nyilvánul meg, ez a képre rakódott „zaj”, amelyet képfeldolgozás előtt zajszűréssel el kell távolítani. A digitális képérzékelőkön közvetlenül jelentkező zajnak is több típusa fordul elő (Berke et al. 2010):

A sötét zaj egy nem véletlenszerű, ezáltal szűrhető zajtípus, amely a szenzorban hő hatására felszabaduló elektronok felhalmozódásából adódik. Mértéke egyenes arányos a szenzor hőmérsékletével és az expozíciós idővel, előbbi 6-10 C°-os eltérése, utóbbi kétszeresére emelkedése okozza annak megkétszereződését.

A kiolvasási zaj szintén nem véletlenszerű, a szenzor kiolvasása során alkalmazott erősítés, azaz az ISO érték határozza meg, mennyisége, eloszlása annak függvényében állandó és azzal egyenesen arányos. Kiszűrése a kamerára jellemző zajprofil meghatározásával, alkalmazásával, professzionális érzékelő esetén általában speciális szoftverrel (pl. DxO) történik.

Véletlenszerű, de beállításokkal még csökkenthető a foton zaj, amely a szenzorra beérkező fotonok eltérő sebességéből adódik, mértéke pszeudo-véletlenszerű, képenként eltérő. Előfordulását és nagyságát növeli a záridő rövidsége, a gyenge megvilágítás illetve magas ISO érték, ezek megfelelő beállításával mérsékelhető.

A pszeudo-zajt az érzékelők érzékenységének eltérései illetve az érzékelőre rakódó fizikai szennyezés okozza, előbbi az érzékelő profilja alapján, utóbbi utólag, szoftverek segítségével mérsékelhető.

Nehezen, vagy egyáltalán nem szűrhető zaj a szenzort érő kozmikus háttérsugárzásból adódó kozmikus zaj, valamint az általában jelentéktelen mértékű, a fényképezőben fellépő feszültség-, áramingadozás és interferencia okozta véletlen zaj.

A jó beállítások megtalálása, a zajok kiszűrése, kiküszöbölése lényeges momentum a vizsgálat során, révén, hogy a digitális képelemzés egyik kulcsfontosságú eleme a lehető legjobb minőségű felvétel készítése, melyet az alkalmazott képelemző szoftver igényei határoznak meg.

A fényképezővel történő képrögzítéshez való eszközrendszer kiválasztásánál egyrészt meg kellett találni a legmegfelelőbb fényképezőt és objektívet, ami a felvételezés alapját adta. Másrészt szükség volt olyan kiegészítőkre, melyek az egyéb feltételek teljesítésére alkalmassá tették a készüléket, biztosítva a megfelelő megvilágítást, képrögzítési pozíciót.

A vizsgálatok további részében a Nikon D5200 modelljét alkalmaztam, amely az alábbi tulajdonságokkal rendelkezik (11. táblázat):

11. táblázat. A Nikon D5200 tulajdonságai (http4).

Tulajdonság	Nikon D5200
Típus	Tükörreflexes digitális fényképezőgép
Tényleges látószög	Nikon DX-formátum; a gyújtótávolság az FX-formátumú látószög körülbelül 1,5-szeresének megfelelő
Tényleges pixelszám	24,1 millió
Képérzékelő	23,5 x 15,6 mm-es CMOS-érzékelő
Teljes pixelszám	24,71 millió
Adattárolás-fájlformátum	NEF (RAW): 14 bites tömörített JPEG: JPEG-alapszabvánnyal kompatibilis, beállítások és tömörítési arányok: fine (kb. 1:4), normal (kb. 1:8) és basic (kb. 1:16) NEF (RAW)+JPEG: egyazon kép NEF (RAW) és JPEG formátumban is rögzítésre kerül
ISO érzékenység	ISO 100–6400 1/3 Fé lépésekben. Az érzékenység körülbelül 0,3; 0,7; 1 vagy 2 Fé értékkel ISO 6400 fölé növelhető (ez ISO 25 600-nak felel meg), ISO érzékenység automatikus szabályozása használható
Záridő	1/4000–30 mp, 1/3 vagy 1/2 Fé lépésekben, hosszú expozíció, időzített (külön megvásárolható ML-L3 távvezérlő szükséges)

A váz mellett a legfontosabb a megfelelő objektív kiválasztása volt, melyben segítséget adott a Növényi Diverzitás Központ tapasztalata a különböző magok

képrögzítésében, továbbá fontos szempont volt a lehető legjobb minőségű felvétel készítése akkora látószög mellett is, amellyel akár 200 db alakorszem felvételezése is megoldható. Így került kiválasztásra az AF-S DX Micro NIKKOR 40mm f/2.8G objektív, az alábbi tulajdonságokkal (12. táblázat):

12. táblázat. Az AF-S DX Micro NIKKOR 40mm f/2.8G objektív tulajdonságai (http5).

Tulajdonság	AF-S DX Micro NIKKOR 40mm f/2.8G objektív
Gyújtótávolság	40 mm
Maximális rekesz	f/2,8
Minimális rekesz	f/22
Az objektív felépítése	9 objektívelem 7 csoportban
Látószög	38° 50'
Minimális fókusz távolság	0,163 m (a fókusz síktól számítva)
Maximális leképezési arány	1x

Az objektívre kiegészítésként rögzítettem egy Hoya HMC UV(C) szűrőt, melynek előnye, hogy az UV sugarak teljes hullámhossz tartományát elnyeli, minimalizálja a becsillanást, a fényvisszaverődést a szűrőfelszíneken, ugyanakkor nem módosítja a színegyensúlyt. Annak érdekében, hogy az exponálás során ne mozdítsam meg a vázat, a felvételek készítését Meike ML-L3 infrás távkioldó (Nikon) segítségével végeztem. Az adatok SanDisk SDHC 8GB Ultra (class 10) memóriakártyán kerültek átmeneti rögzítésre.

Azt követően, hogy összeállításra került a képrögzítéshez szükséges eszközrendszer, szükség volt még egy olyan állványrendszerre, amellyel biztosítható a felvételezések során a kamera optikai tengelyének a minta síkjára merőleges pozíciója, illetve egyenletes megvilágítása. Előbbire megoldást nyújtott egy Manfrotto 190XPROB állvány, 056 3D típusú állványfejjel. Az állvány magassága 85-1220 mm között változtatható, terpeszben állítható így egy asztalra helyezve a horizontálisan és vertikálisan 360°-ban forgatható fejjel tökéletesen beállítható az elhelyezett minták fölé. A megfelelő pozíció biztosításához fényképezőre szerelhető libellát és az asztal esetében 3 dimenziós vízmértéket használtam. Az utolsó feltétel az egyenletes megvilágítás volt. Kezdetben azonos erősségű fényforrással próbáltam a minták

megvilágítását 3 oldalról, de ez nem adott megfelelő egyenletességet, így megoldásként az objektívre rögzített Dörr Daf-14 körvakut (Nikon) használtam, egyenletes, 5600 K-es színhőmérsékletű megvilágítást biztosítva. A felvételezések során egyéb fényforrást nem alkalmaztam.

Az imént ismertetett eszközök minden alapot biztosítottak megfelelő minőségű felvételek készítésére a vizsgálat tárgyát képező alakortételekről.

A felvételezés előkészítése során az egy adott mintához tartozó alakorszemeket egyesével elhelyeztem a kép háttérét adó lapon. Kezdetben a háttér A4-es nagyságú fehér papírlap volt, azonban ez az előfeldolgozás során nem bizonyult megfelelőnek, a szemek világos részei nem voltak elkülöníthetőek a háttértől. Ugyanez a probléma merült fel a fekete és szürke hátterek alkalmazása esetében is, végül a sötétzöld A4-es dekorációs szivacs hozta a várt eredményt. Ezen a lapon a szemek úgy kerültek elhelyezésre, hogy azok sem egymással, sem a lap szélével nem érintkezhetek. A magok mellé elhelyeztem egy milliméterpapírt a mérés során szükséges kalibráció elvégzéséhez. Egy felvételen 96 db alakorszem szerepel, így azok a tételek, amelyek 192 db szemet tartalmaztak, két részletben, azok amelyek 50 db-ot, egyszerre kerültek felvételezésre. A képek az alábbi beállításokkal készültek:

- Méretek	4000 x 6000
- Szélesség	4000 képpont
- Magasság	6000 képpont
- Bitmélység	24
- Tömörítés	Tömörítetlen
- Rekesz	f/3,2
- Expozíciós idő	2,5 mp
- Érzékenység (ISO)	ISO-100
- Fókusz távolság	40 mm
- Maximális rekesz	3,4
- Vakumód	Nincs vaku (kizárólag körvaku)

A képeket RAW (NEF) formátumban mentettem el (M3). Az összes alakortétel felvételezése ezzel a módszerrel történt, a képek elkészítését és mentését a mérésre való előkészítés követte.

3.2.3 A vizsgálatok során alkalmazott digitális elemzési módszerek, szoftverek, a Fovea Pro

A digitális képelemzés módszerének tudományos kutatásokban való megjelenését és elterjedését az ezen célt szolgáló, folyamatosan fejlődő és széles alkalmazási kört biztosító szoftverek tették lehetővé. A képrögzítés fejlődésével az erre kifejlesztett számítógépes alkalmazások is egyre bővültek, pontosabb méréseket tettek lehetővé, a mérhető paraméterek száma is folyamatosan nő. Ma már több olyan szoftver is forgalomban van, amely digitális morfometriára alkalmas, kiválasztható a konkrét feladatra legalkalmasabb változat. A magmorfometriában, mint szűk kutatási témakörben is különböző szoftverek kerülnek említésre, úgy, mint a viszonylag gyakran, többek között *Vitis* vagy vadon termő növényi magok mérésére használt KS-400V 3.0 szoftvercsomag (Carl Zeiss, Vision, Oberkochen, Németország) vagy a John C. Russ (Analytical Vision, Inc.) által kifejlesztett Prism Image Analysis and Measurement Software, illetve ennek továbbfejlesztett változata, a Fovea széria. Utóbbi része a vizsgálataink során alkalmazott Fovea Pro 4.0, amely a Photoshop program ismert környezetébe beépülő, képek mérésére és számítógépes képfeldolgozásra kifejlesztett eszközrendszer. Windows és Macintosh számítógépeken egyaránt biztosítja a kvantitatív információk kinyeréséhez szükséges eszközöket 8 és 16 bites, szürkeárnyalatos és RGB képeken egyaránt, modern algoritmusokkal és analitikus teljesítménnyel biztosítva a funkcionalitást. A képelemzés folyamata – a lényegi kvalitatív és kvantitatív képi információk kinyerése – általában több egymást követő lépés folyamatából áll. Számos szoftver tartalmaz erre alkalmas eszközöket, de a Fovea Pro programot, annak eszközkészletét alapvetően úgy tervezték, hogy széles körű algoritmusokat állítson elő különféle programokhoz használható plug-inek formájában. Ez különösen az Adobe Photoshop használatával hatékony, ezzel képes a csatornánkénti 8 és 16 bites képek mérésére, akár rétegekben is, kezelve a színtereket. Előnye emellett, hogy a Photoshop jól dokumentált, ismerős környezetet biztosít a felhasználó számára, támogatja a különböző forrásból származó (kamera, szkennerek) fájlokat, számos formátumban (Russ 2006).

A morfometria módszere nem más, mint az alak és a méret kvantitatív mérése. A statisztikai, az elemzési és az osztályozási rutinok során alkalmazható stabil és a vizsgálatot végző személytől független paramétereket kínál. Egy objektum alakjának mérése és felismerése öt paraméterkategóriával érhető el: méretdimenziók, dimenzió

nélküli alaki arányok, topológia, harmonikus elemzés valamint fraktál dimenzió (Russ és Rovner 1989).

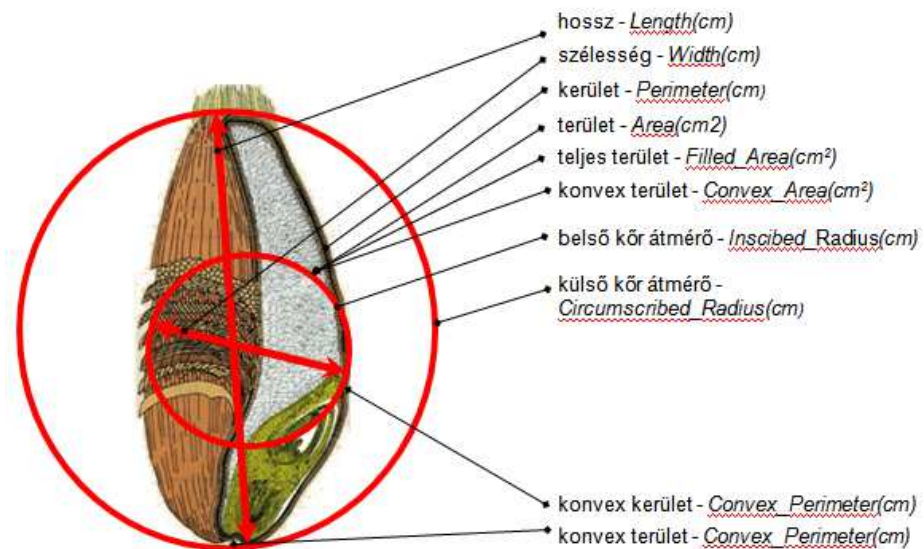
Az objektumok határait, éleit megtaláló algoritmusok gyakran azok küszöbszintezéssel megkülönböztetésén alapulnak, amely szín vagy szürkeárnyalatos kontraszt alapján elválasztja azt a háttértől és/vagy nem kívánt objektumoktól. A valódi kiterjedése alapján izolált magot bináris képpé (fekete képpontok fehér háttéren) konvertálja. A pixelméret kalibrálása lehetővé teszi a képen szereplő fekete objektumok méret- és alakparamétereinek (Fovea Pro esetében 42 paraméter) lemérését, klaszterezési, helymeghatározási tulajdonságainak meghatározását. Utóbbi tulajdonságok, a magok helymeghatározási mérése a magok morfológiájához nem kapcsolódik, az ilyen jellegű vizsgálatokban nem releváns, figyelmen kívül hagyható. A Fovea Pro 4.0 szoftverrel mérhető legjelentősebb paraméterek mérési elemei (7. ábra):

- **Terület (Area):** a kalibrált pixelméret és a mérendő bináris objektum területén belül eső pixelek specifikus mérésekkel módosított szorzata. A terület mérésében a határvonalon belül eső pixelek mellett a mérés részét képezik a kerületi vagy marginális pixelek. Az objektum valós fizikai határvonala ezen marginális pixelek területére esik, egyes esetekben a pixel külső, más esetben a belső felére, így átlagban a valós határ ezen marginális pixelek szorzata a kalibrációs méret felével. Mindezt összegezve elmondható, hogy a szoftver által mért, a valós terület nagyság nagy pontosságú megközelítése nem más, mint az objektum határán belül eső pixelek összeadva a határt képező pixelek és a kalibrációs méret 0,5-szörösének szorzatával. Mértékegysége: mm^2 .
- **Konvex terület (ConvexArea):** olyan objektumoknál, mint például a gabonamagvak, melyen nincsenek horpadások, bemélyedések, megegyezik a terület mért adatával. Mértékegysége: mm^2 .
- **Hosszúság (Length):** az objektum kerületének bármely két pontja közötti leghosszabb húr vagy egyenes vonal, a maximális hosszúsági dimenzió. Mértékegysége: mm.
- **Szélesség (Breadth):** a mért objektum maximális vastagsági dimenziója, általában a hosszúságra merőleges irányban. Mértékegysége: mm.
- **X- és Y-Feret átmérő (X-Feret, Y-Feret):** az alakzat tolómérővel mérhető horizontális és vertikális dimenziói, az objektum vízszintes és függőleges

irányú méretei. Két párhuzamos, az objektumot bekorlátozó, adott irányra merőleges tangencionális vonal közötti távolságok. A Feret átmérő minden irányra átlagolt értéke megegyezik a alakzat területének és a pi értékének átlagával. Az értékek megadása kalibrált egységek helyett pixelben történik.

- **Ekvivalens átmérő (Equivalent Diameter):** az alakzat területével azonos kör átmérője. Mértékegysége: mm.
- **Belső kör sugara (Inscribed Radius):** az objektum belsejébe írható kör sugara. Mértékegysége: mm.
- **Külső kör sugara (Circumed Radius):** az objektum köré írható kör sugara. Mértékegysége: mm.
- **Kerület (Perimeter):** határvonal mentén lévő pixelek. Mértékegysége: mm.
- **Konvex kerület (Convex Perimeter):** az objektumot határoló konvex sokszög kerülete. Mértékegysége: mm.
- **Képarány (Aspect Ratio):** a méretparaméterek arányain alapuló alaki faktorok egyike, melyek célja, hogy méretfüggetlenül, azaz dimenzió nélkül írják le az objektum tulajdonságait. Ezen alaki faktorok közül az egyik legegyszerűbben mérhető tulajdonság a képarány, a hosszúság és szélesség hányadosa, az objektum nyújtottságának egyik aspektusa.
- **Kerekség (Roundness):** A kerekség mérése azon a matematikai tényen alapul, hogy egy rögzített területű kör alakú objektum esetében a tárgy hosszúságának növekedése a kör alakjától való eltérést okoz. A kerekség ezt, azaz egy tárgy kétdimenziós kiterjedésének a köralaktól való eltérési szintjét méri oly módon, hogy a kör értéke az 1,0 értékkel azonos, az attól való eltérés az érték 1,0 alá csökkenését eredményezi, a deformáció mértékével egyenes arányban. Képletben kifejezve: $4 \times \text{Terület} / \pi \times \text{Maximális dimenzió}$.
- **Formfaktor (Formfactor):** a kerekséghez hasonló paraméter, de azzal ellentétben a hosszúság helyett a kerület kiterjedését hangsúlyozza az objektív területhez viszonyítva. Matematikai alapját az adja, hogy a körnek, összehasonlítva más szabályos vagy szabálytalan kétdimenziós alakzattal, van a legkisebb kerülete a területéhez viszonyítva. A Formfactor úgy lett kialakítva, hogy maximális értéke egyenlő legyen 1,0-el. Mivel minden tárgynak van kerületi hossza és területe, ez a matematikai összefüggés használható annak a számszerűsítésére, hogy egy objektum kerülete milyen mértékben tér el a tökéletes körtől, egy 1,0-nál alacsonyabb értéket eredményezve. Képletben kifejezve a Formfactor: $4\pi \times \text{Terület} / \text{Kerület}^2$.

- **Konvexitás (Convexity) és Szilárdság (Solidity):** az objektum szabálytalanságának mérésére szolgáló paraméter, a morfológia számszerűsíthető szempontjává téve azt. A szilárdság az objektum területének, a konvexitás a területének aránya egy, az objektum köré szorosan illeszkedő sokszög területével, illetve területével, mérve az alakzat sokszögtől való eltérését (Rovner és Gyulai 2007).
- **Szimmetria (Symmetry):** az alakzat szimmetriája határvonalának Fourier transzformációjában van kódolva.
- **Sugárarány (Radius Ratio):** Az objektum belsejébe és köré írható kör sugarának hányadosa.
- **Nyújtottság (Elongation):** az objektum területének és konvex területének hányadosa (Emódi et al. 2015).



7. ábra. A vizsgált mérettani paraméterek ábrázolása egy búza szemtermésén (saját forrás).

- **Intenzitás (Intensity):** az átlag intenzitás (átlagos fényerősség), a minimális intenzitás, a maximális intenzitás és az intenzitás standard eltérése a 0 (fekete) -255 (fehér) skálán szereplő pixelértékek alapján kerül meghatározásra.
- **Átlag piros, zöld és kék színértékek (Mean Red, Green, Blue):** színes képek esetében a pixelek rendelkeznek piros, zöld és kék komponensekkel, melyek értéke a 0-tól (fekete) a 255-es maximum intenzitásig terjed, az adatokban az objektumon belül található minden pixel értéke reprezentálva van.

- **Átlagárnyalat, átlagtelítettség, átlagos luminancia (Mean Hue, Saturation, Luminance):** az R, G és B értékek H, S, I térbe való konvertálásával számított értékek.

Az alakorral, mint ősi, taxonómiaiilag kevésbé vizsgált növényfajjal kapcsolatban jelentős információmennyiséget szolgáltathat a fent leírt paraméterek lemérése, az adatok összegyűjtése, elemzése. E tanulmány célja annak eldöntése volt, hogy a digitális képfeldolgozás kínálhat-e objektív, statisztikai szempontokat a különböző alakor fajták, tájfajták azonosításához, elkülönítéséhez.

3.2.3.1 Az elkészült képek előkészítése, zajszűrés

A méréshez arra van szükség, hogy a képeken már csak mérendő objektumok legyenek jelen, a háttér és az esetleges egyéb objektumokat (pl. por, szennyeződések) el kell távolítani. A képet megnyitottam az előfeldolgozás során használt, legújabb verziójú Adobe Photoshop CC programban, amely a Fovea Pro 4.0 szoftverhez szükséges CS2 verzióval ellentétben már képes kezelni a NEF formátumot is. A mérni kívánt alakor szemeket egyesével kijelöltem a „MagicWand” eszközzel, amely a kép azonos színű területeit jelöli ki. A szemek egyenkénti kijelölése jelen esetben a módszer kísérleti jellegére való tekintettel volt fontos, mert kérdés volt, hogy az egyes szemek határvonalát a program megfelelően azonosítja vagy szükség van korrekcióra. Miután minden mag kijelölésre került, majd a "Select->Inverse Selection" eszközzel megfordítva a háttér kerül kijelölésre, így azt a "Delete" paranccsal eltávolítottam. Amennyiben egyértelmű, hogy a "MagicWand" eszköz kijelölésében nincsen hiba, ez a művelet leegyszerűsíthető kezdve a háttér direkt kijelölésével. Az így kapott kép már csupán a mérendő objektumokat tartalmazza, de bármennyire is törekedtünk a felvételezés során a különböző zajok minimalizálására, véletlenszerűen és lokálisan megjelenhetnek a környezetüktől jelentős mértékben eltérő világosságkódok. Ennek kiküszöbölésére a lokális zajelnyomó módszerek közül a 3x3-as konvolúciós szűrőt alkalmaztam, megszüntetve a pontszerű zajok zavaró hatását a mérési eredményekben. Mindez a legkisebb méretű konvolúciós szűrő és az objektum méretéhez képest elhanyagolható hatású.

Az így letisztított felvételt elmentettem 16 bites TIFF formátumban, a mentés során ügyelve arra, hogy tömörítés nélkül és "Per Channel" (RRGGBB) pixelsorrendben végezzem a mentést.

3.2.3.2 A mérés, az adatok mentése

A mérés elvégzéséhez az elmentett fájlokat megnyitottam az Adobe Photoshop CS2 verziójába beépülő Fovea Pro 4.0 programmal. Első lépésként a képméret kalibrálását végeztem el. Egy olyan kalibráció létrehozásához, melyet a különböző mérési gyakorlatoknál használhattam, szükség volt a felvételek készítésekor egy méretskáláról készített felvételre. A szkennelt képek esetében az alakorszemek alá, a munkaterület alján egy skálával és a tétel nevével ellátott címkét helyeztem el. A fényképezővel készült felvételeken a tételek mellé, a háttérfelület szélén egy milliméterpapír-csík biztosította a kalibrálás alapját. Az eljárás az "IP*Measure Global ->Calibrate Magnification" gyakorlatnál az volt, hogy megjelöltem két pontot a képen és megadtam a köztük lévő távolságot (kiválasztva a mértékegységet). A szkennelt felvételek esetében egy pixel 0,00362 cm volt. A kalibrációt névvel ellátva az adott tételhez lementettem, így az a későbbiekben is bármikor behívható volt. Meg kell jegyezni, hogy a nagyítás kalibrálása nem kötődik egy adott képhez, hanem olyan rendszerállandó, ami az összes mérésnél érvényben marad, amíg meg nem változtatjuk.

A fényképek felbontása és minősége lehetővé tette a szín és textúra bevételeit a vizsgálatba, a szkennelre készült vizsgálatokhoz viszont a félrevezető adatok elkerülése érdekében még bináris végeztem a méréseket. Ehhez a kalibrálást követően szükséges volt az "Image ->Adjustment ->Bilevel Thresholding" funkcióra, amely használatával a két szintre vágott kép már csak fekete (alakorszemek) és fehér (háttér) képpontokat tartalmazott. Annak érdekében, hogy a becsillanás vagy egyéb okok miatt ne maradjon fehér pixel a szemeken belül, minden esetben elvégeztem az "IP-Morphology ->Fill Holes" parancsot, amely kitöltve az esetleges lyukakat, maradéktalanul korrigálja az ilyen jellegű hibákat.

A mérés előtt mind a színes, mind a bináris képeken lefuttattam az "IP Measure ->Count" parancsot, melynek eredményeként a program kiírja a képen található objektumok számát. Amennyiben ez nem egyezett a mérni kívánt alakorszemek számával, szennyeződés maradt a képen. Észlelt szennyeződés esetén kijelöltem és töröltem azt, kivételes esetekben, ahol csupán egy sötét pixel maradt hibaként a képen, azt a kiugróan minimális adatokból érzékelve a mérési eredményekből töröltem ki.

Amikor már kizárólag a mérni kívánt alakorszemek maradtak a kalibrált képen, az "IP Measure Features ->Measure All Features" parancsot kiadva elvégeztem a

mérést. Az így kapott adatokat a program .txt kiterjesztéssel exportálja, ezt azonban további feldolgozás céljából megnyitottam Microsoft Excel programmal és .xlsx kiterjesztéssel is lementettem. Ennek végeredményeként tételenként egy, a vizsgált alakorszemek 42 mért paraméterét tartalmazó táblázatot kaptam (M4).

3.2.3.3 Az *adatok szelektálása*

A mérés elvégzését követően fontos volt, hogy kiválasszam a rendelkezésre álló 42-ből az adatfeldolgozáshoz szükséges paramétereket. Ezt két lépésben végeztem el. Az első lépés az objektív szelekció volt, melynek során kivettem a vizsgálatból azon paramétereket, amelyek magmorfometriai szempontból semmiképpen sem relevánsak illetve azokat, amelyek egy adott vizsgálat során nem értelmezhetőek. Ezt követte egy szakmai szelekció, melynek során azt vizsgáltam, hogy az alakorszem adott paramétere milyen kapcsolatban van a várt eredménnyel. Az alakzatok mérései négy kategóriába csoportosíthatók:

- méret (terület, hosszúság, szélesség, kerület, stb.),
- alak (topológia, kiterjedés nélküli arányok, fraktál dimenziók),
- intenzitás (sűrűség, szín),
- elhelyezkedés (abszolút koordináták vagy távolságok más objektumoktól).

Az objektív szelekció során kivontam a vizsgálatból az elhelyezkedésre vonatkozó paramétereket. Az alakzatok koordináta pozícióját a kép bal felső sarkához viszonyítva méri a program, ez olyan speciális esetben lehet fontos, mint a szkennelt gélek esetében, az abban elhelyezett pontok meghatározásában. Az objektumok más objektumoktól való távolsága már szélesebb körben alkalmazott, a szomszédkapcsolatok például a különböző szerkezetek vizsgálata során, azok megértésében fontos paraméterek. A magok alaktani vizsgálatában azonban egyetlen ilyen paraméternek sem volt szerepe. A másik ilyen objektív szűrés a bináris képek esetében az intenzitásra vonatkozó paraméterek kivétele volt, hiszen itt sem a színadatok sem a fényintenzitásra vonatkozó információk nem voltak relevánsak.

A szakmai szelekció vizsgálatonként változott, hiszen a diverzitásvizsgálatban például releváns minden méretre vonatkozó adat, a fajták elkülönítésében azonban előnyösebb volt az alakra vonatkozó adatok használata, mert míg előbbit jelentősen befolyásolják a környezeti, természeti körülmények, addig utóbbinál a genetikai háttér a meghatározóbb.

Az adatok szelekciójával kapcsolatban ki kell térnem azokra az esetekre, ahol minden előzetes képfeldolgozás ellenére maradt szennyeződés, zaj, nem kívánatos objektum a képen. Ez olyankor fordult elő, amikor észleltem, hogy több objektum van a képen a mérni kívánt alakorszemek számánál, de annak megtalálása túl sok időt vett volna igénybe. Ilyen esetekben a méréseket egy tetszőleges mérettani paraméter alapján sorba rendeztem, a legkisebb, nagyságrendben is eltérő adatsort kitöröltem. Ennek megemlítése annyiban lehet fontos, hogy egy automatizált digitális magfelismerő rendszer kidolgozása során hasznos lehet egy ilyen jellegű biztonsági művelet beépítése.

3.3 A domesztikált alakor elkülönítése a vad őstől

Az elkészült adatbázisból elsőként azt vizsgáltam, hogy az alakor, mint a ma termesztett őszi búza őse, domesztikációs folyamatának első lépcsője esetében is leírható-e a Rovner és Gyulai (2007) publikációjában ismertetett jelenség, miszerint a vad ős hisztogram alapján elkülöníthető a domesztikált alakortól.

3.3.1. Az adatbázisban lévő adatok elemzése

Mivel a cél a házasítás folyamatának vizsgálata, a domesztikáció okozta genetikai változások feltárása volt, annak érdekében, hogy a környezeti tényezők befolyásoló hatását kizárjam, kizárólag az azonos évjáratból származó tétéleket vontam be a vizsgálatba. Így mivel a martonvásári Agrártudományi Kutatóközpontban fenntartott tétélek azonos termőterületről származtak, termesztésüket szomszédos kisparcellákon végezték és az évjáratot is kiküszöböltem, az eredmények kizárólag a genetikai információkat tükrözik. Így a vizsgálatban a méretre vonatkozó paraméterek is szerepelnek. Az adatbázisból egy fájlba másoltam a tétélekre vonatkozó adatokat. Nem kerültek be a tétélek közül a *Triticum monococcum* subsp. *aegilopoides* var. *nigrireuteri*, amely 2012-es évjáratú, a 2010-ben termesztett *Triticum monococcum* subsp. *monococcum* var. *albohornemannii*, valamint a szintén ezekben az években termesztett tájfajták. Utóbbiak kizárása azért is volt célszerű, mert az ilyen jellegű elemzések esetében a tétélekben szereplő mintaszám növekedésével nő az eredmények pontossága, ezekből azonban csak 50 alakorszem állt rendelkezésre, szemben a többi tétel 192 darabos mintaszámával. A vizsgálatban így öt subsp. *aegilopoides* és öt subsp. *monococcum* szerepelt. Az adatokból a tizedespontot vesszőre cseréltem, mivel output adatokban az előbbi szerepel, melyet az általam használt Microsoft Excel nem tudott kezelni. Ezt követően a különböző paraméterek

adataiból a Microsoft Excel 2007 programban egyesével hisztogramokat készítettem, elkülönítve az *aegilopoides* és a *monococcum subspecies*-be tartozó tétéleket. Az "Adatelemzés ->Hisztogram" parancson belül bemeneti tartományként kijelöltem az egyes mérettani paramétereket, rekesztartomány megadása nélkül. Beállítottam a diagramkimenetet, így szemléltetve hogy az adott paraméter esetében jelentkezik-e eltérés a vad és domesztikált alfaj között. A vizsgálatot első alkalommal a szkennelt képekből nyert adatokon végeztem el, majd a módszer fényképezőgéppel való fejlesztését követően az így nyert eredményeken is megismételtem. A Fovea Pro 4.0 verziója már nem méri az ún. "Curl" paramétert, mely az Rovner-Gyulai Index részét képezte, így az unimodális hisztogram elkülönítése a multimodálistól ily módon nem volt számszerűsíthető, de a hisztogramadatokból készült diagramon felvehető trendvonalak segítségével szintén lehetséges ezek egzakt módon történő elkülönítése. A grafikon adatsorát kijelölve a "Trendvonal felvétele" parancson belül a "Mozgó átlag" típust kiválasztva, 2-es értékű periódust megadva a trendvonal leköveti az egyes paraméterértékek gyakoriságának alakulását, azaz az unimodális vagy multimodális alakú hisztogramot kiadó trendvonalat. A 2-es sorrendű polinomiális trendvonalat mellétéve a kettő metszéspontjából látható, hogy amennyiben a metszéspontok száma meghaladja a kettőt, úgy a haranggörbéhez viszonyítva a grafikon multimodális. Két metszéspont esetén a grafikon unimodális alakja bizonyítható. Az így kapott eredmények alapján igazolható, hogy a Rovner-Gyulai által publikált módszer alkalmazható-e az alakor esetében és ha igen, melyek azok a paraméterek, amelyek mutatnak eltérést a vad és domesztikált tétélek között.

3.4 Egy ismeretlen taxonómiai besorolású mag meghatározása, besorolása varietas szinten

Azon túl, hogy az elkészült adatbázis alapján elkülönítsem a vad és domesztikált tétéleket, cél volt, hogy az azonosítást tovább bontsam a *subspecies* szintről a *varietas*-ok szintjéig, a tételszintű azonosítástól a szemek azonosításának, taxonómiai besorolásának szintjére. Egy ismeretlen alakorszem beazonosítása lehetővé válik informatikai módszerekkel, pontosan, gyorsan és objektív módon, támogatva a régészeti beazonosítást, génbanki tárolást.

3.4.1 A képosztályozás, az LKM módszer ismertetése

Az alakfelismerés a digitális képfeldolgozás számottevő területe, amely tömören leírja a képen tárolt információkat, elősegítve a képfelismerést. Az emberi agyhoz hasonlóan kiszűri a lényeges érzékelt képi információkat, majd osztályozza a

részleteket. Az értékelés során figyelembe veszi a hasonlóságokat és különbözőségeket egyaránt, majd tanulás és absztrakció útján osztályokat alakít ki. Ezt modellezi a digitális alakfelismerés, amely módszerét tekintve statisztikus, döntéseméleti vagy szintaktikus, strukturális lehet. A feldolgozás során az előbbit alkalmaztam, az alakfelismerés ezen módszere két lépésre bontható. Az elsőben az objektumok tulajdonságainak meghatározása és mérhető formában való rögzítése történik, a második lépés maga az osztályozás. Utóbbi során a vizsgált objektum besorolása történik az attól legkevésbé eltérő osztályba, a mért tulajdonságok alapján. Erre jellemzően három döntésfüggvényen alapuló eljárás alkalmazható:

- Bayes-módszer, ha az osztályok teljes körűen ismertek, meghatározhatóak,
- távolságmérés alapú módszerek, ha az osztályok leírása hiányos,
- klaszterezéssel, abban az esetben, ha az osztályok nem ismertek, vagy előzetesen nem határozhatóak meg.

A vizsgált objektum sajáttságvektorainak létrehozásához az előkészített képen megfelelő méréseket szükséges végezni, majd a döntési folyamat gyorsítása és megbízhatóságának növelése érdekében ki kell szűrni azokból az új információt nem tartalmazó, egymással párhuzamos információkat. A sajáttságvektor előállítható strukturális jellemzők mérésével (pl. kerület, terület, alaki tényezők, Fourier-jellemzők) vagy texturális jellemzők számításával (pl. Fourier transzformációk segítségével nyerhető jellemzők, szerkezeti paraméterek). Előbbiek nagy számban állnak rendelkezésre, de a jellemzők között összefüggés van.

Olyan esetekben, amikor az osztályok valószínűségi jellemzői csak részben ismertek, a távolságmérésen alapuló módszert szükséges alkalmazni, melyben a döntések alapja a mért sajáttságvektorok meghatározott, előzetesen megadott mintavektoroktól való távolsága. Ilyen a Legközelebbi szomszéd módszer (LKM).

Legközelebbi szomszéd módszer (LKM)

A módszer egy ismert döntési minták halmazából álló "tananyag" rendelkezésre állását feltételezi, amelyben a tanítópárok egy korábbi mérés eredményeiből származó mintavektorokból és az ezeknek megfelelő osztályokból állnak. Kijelölésük fokozatosan, konkrét mérések alapján történik. Az ezek alapján történő döntéshozás várható hibaértéke konvergens, amely a Bayes-döntés hibaértékének

maximum kétszerese lehet, mivel a legközelebbi szomszéd a megfelelő döntéshez szükséges ismeret legalább felét magában hordozza (Berke 1994b).

3.4.2 Az osztályozórendszer elkészítése

Az osztályozórendszer alapjául a legközelebbi-szomszéd alapú osztályozási módszert választottam Euklideszi-térben. A vizsgálatban mind a 17 tétel szerepelt, a paramétereken viszont alkalmaztam szelekciót. A 42 vizsgált paraméterből objektív okokból kivételre kerültek továbbra is az elhelyezkedésre vonatkozó adatok. A színre, intenzitásra vonatkozó információk itt már bevonásra kerültek, mivel ezen vizsgálat alapját a fényképezőgéppel készített felvételek adatai képezték, amelyek minősége már lehetővé tette az ilyen jellegű paraméterek használatát. Emellett a mért 42 paraméterben voltak olyan adatsorok, amelyek jellegükből adódóan ezeknél a méréseknél teljes mértékben azonos értékeket mutattak. Ilyen volt pl. a terület ("Area") és a kitöltött terület ("FilledArea"), mivel a vizsgált szemeken nem voltak lyukak, rések. A példában említett okból került ki a paraméterek közül a lyukak száma ("Num. Holes") és a lyukfrakció ("Hole Fraction") is. Szakmai szelekcióként kivettem a hosszúságot ("Length") és a szélességet ("Breadth"), mivel egyrészt már a vizsgálatban szereplő tételek sem azonos évjáratúak, másrészt a későbbiekben beazonosítani kívánt tételek természetének környezeti körülményei sem lesznek azonosak, így ki kellett zárni az olyan adatokat, melyek az évjárat és környezet által nagy mértékben befolyásoltak. Így a szelekciót követően a tételeket, mivel a számításokat a mért paraméterek terében végeztem, 42 dimenziós mintatérben vizsgáltam. Ehhez első lépésként mindenegyestétel esetében kiszámoltam a 42 mért paraméter átlagát, majd ezeket az adatokat összeillesztettem egy táblázatba, annak első oszlopában megnevezve, hogy az adott adatsor melyik tételhez tartozik, egy oszlopban feltüntetve az tételre jellemző elemszámot és tájékoztató jelleggel a természet évét, de ezek a számításokban nem szerepeltek. Az adatokat tartalmazó cellákat "szám" kategóriára állítottam 4 tizedes jeggyel, tizedesvesszőre cserélve a pontokat. Az így elkészült táblázat alá bemásoltam egy, a teljes adatbázisból véletlenszerűen kiválasztott alakorszem adatait, mint beazonosításra, taxonómiai besorolásra váró ismeretlen mintát. Ez adta az osztályozás kidolgozásának alapját.

Első lépésként az átlagértékeket tartalmazó értékeiből készítettem egy normált értékekre átalakított táblázatot, elosztva az egyes átlagokat az adott paraméter maximális értékével. Erre azért volt szükség, mert a különböző paraméterek jellegükben jelentősen eltérőek, a vonatkozó átlagértékek eltérő nagyságrendűek

voltak. A következő lépésben kiszámoltam az ismeretlen minta adatainak négyzetes eltérését az egyes tételek normált átlagától. Az ismeretlen minta egy adott paraméterre vonatkozó értékét kivontam az egyes minták ugyanazon paraméterének átlagértékeiből, majd a különbséget négyzetre emeltem, amely az osztályozás harmadik táblázatát adta. Ez tartalmazza az ismeretlen alakorszem egyes paraméterei vonatkozó négyzetes távolságát a 42 dimenziós Euklideszi térben az ismert tételek értékeitől. Ezeket az átlagoktól való négyzetes eltérési adatokat tételenként (soronként) összeadtam. Az összegek közül a legkisebb érték megmutatja, hogy az ismeretlen minta melyik tételhez áll a legközelebb, hová sorolható be, megadva a kívánt osztályozó rendszer alapját (M5).

3.5 Egy ismeretlen taxonómiai besorolású mag besorolásának pontosítása

A taxonómiai besorolást illetően a cél egy ismeretlen alakorszem minél precízebb beazonosítása volt, egy lehető legpontosabb osztályozórendszer elkészítése, amely kiindulópontot adhat egy MI alapú magfelismerő rendszer kialakításához. Ennek érdekében megkerestem az osztályozás azon részeit, ahol további pontosításokra van lehetőség a megbízhatóság érdekében.

Az osztályozórendszer kulcsfontosságú lehet egy MI alapú magfelismerő alkalmazás megalkotásában, ezért a lehető legpontosabb besorolás elérése a cél. A hibalehetőség minimalizálása a génbanki és régészeti hasznosítás szempontjából kulcsfontosságú. Ennek eszköze a Főkomponens Analízis (Principal Component Analysis, PCA).

3.5.1. PCA módszer ismertetése

A valószínűségi változók összefüggéseinek vizsgálata két különböző módszercsaláddal lehetséges. Az egyik az egyváltozós módszerek csoportja, melynek gyakori képviselője a többszörös regresszió és a varianciaanalízis. A másik csoportba többváltozós módszerek tartoznak, ide sorolható többek között a faktoranalízis és a vizsgálataimban is alkalmazott főkomponens analízis (PCA). A természet jelenségeinek jellemzése általában nagyszámú, bonyolult tényezők rendszerével lehetséges, melyek egymással eltérő mértékben függenek össze. A többváltozós statisztikai módszerek célja ezen összefüggésrendszerek leírása, elemzése, rendszerszemlélettel megközelítve egy adott problémát. Alkalmazásuk olyan vizsgálatok esetében indokolt, amelyek céljai jellemzően az alábbiak:

- feltárni és leírni változók összefüggéseit,
- feltárni és leírni az egymással kölcsönösen összefüggő változó csoportokat,

- meghatározni az összefüggések irányát és mértékét csoporton belül,
- keresni, felismerni a változócsoportok háttérében lévő közös okot (főkomponenst vagy faktort),
- a megfigyelési egységek ábrázolása az eredeti koordinátaszám redukálásával,
- csoportosítani a megfigyelési egységeket rokonságuk, közelségük rokonságuk feltárásával (klaszterezés).

Ezen célok elérése független, fiktív háttérváltozók (főkomponensek vagy faktorok) meghatározásával lehetséges kiváltva az eredeti, kölcsönösen összefüggő változók használatát. Ezek segítségével leredukálható a változók száma, azaz a megfigyelési egységek száma az információ tömörítésével, egy ezzel megegyező vagy ennél kevesebb mesterséges koordinátával helyettesíthető. Ezen transzformáció eredménye a főkomponens koordináták mátrixa. Amennyiben csak két főkomponens lesz szignifikáns, a megfigyelések komolyabb információvesztés nélkül az eredeti sokdimenziós helyett kétdimenziós koordináta-rendszerben ábrázolhatóak, megkönnyítve az összefüggések, csoportosítási lehetőségek felismerését. Ennek köszönhetően a többváltozós módszerekről általánosságban elmondható, hogy egyre gyakrabban alkalmazzák, mivel egyfajta rendszerszemléletű probléma megközelítést tesznek lehetővé. Meg kell jegyezni, hogy a megfigyelési változók összefüggéseinek feltárásában előnyös a lehető legmagasabb számú megfigyelés elvégzése az értékek alakulását tekintve. Ezzel kapcsolatban általános követelmény, hogy az egyedek (megfigyelési egységek) számának legalább háromszorosát kell elérje a változók száma. Emellett meg kell jegyezni, hogy a változók eredeti értékének standardizálása jelentősen egyszerűsíti a számítások elvégzését és segít a dimenzionális problémák kiküszöbölésében is. A többváltozós módszerek alkalmazása során a vizsgálat tárgya a megfigyelési változók kölcsönhatása. A cél ezek leírása, feltételezve, hogy a közöttük vagy egyes csoportjaik között érzékelhető szoros összefüggések oka, hogy az azonos csoportba sorolható változók függenek egy-egy közös háttérben ható, általában fiktív úgynevezett ok-vagy háttérváltozótól. Ezekről, a PCA esetében főkomponensnek nevezett háttérváltozókról általában feltételezhető, hogy a megfigyelési változókkal ellentétben függetlenek, korrelálatlanok. A PCA ezen főkomponensek meghatározására irányuló, a többváltozós módszerek között alapvető szerepet betöltő eljárás. A módszer jellemzője, hogy feltételezi, hogy a megfigyelési változók értékeinek varianciáját azzal azonos számú főkomponens magyarázza meg teljes egészében. Ezekből kiválaszthatóak olyanok, melyekből a megfigyelési

változók varianciája döntő részben származik és olyanok, melyek hatása minimális. A PCA modellje a főkomponens- és megfigyelési változók közötti regressziós egyenletek összessége, hibátag nélkül, feltételezve, hogy a főkomponensek megmagyarázzák teljes egészében az eredeti változók összvarianciáját. Általánosságban elmondható, hogy az eljárás végső célja olyan mesterséges, főkomponensnek nevezett változók előállítására, melyek jellemzője, hogy lineáris kombinációi a megfigyelt változóknak, korrelálatlanok, az együtthatók négyzetösszege komponensenként egy, a komponensek szórása pedig monoton csökkenő tendenciát mutat.

Az eljárás kiindulópontja egy alapadat mátrix, ennek standardizációjával határozható meg a változók páronkénti kapcsolatát jellemző korrelációs mátrix. A módszer lényege, hogy a megfigyelési változók teréből áttérünk az azzal megegyező dimenziószámú főkomponensek terébe, melyben a változók szórása az első főkomponens koordinátatengelyének irányában a legnagyobb, és az utolsó főkomponens irányába monoton csökken. Amennyiben a sor végén található mesterséges változók szórása és varianciája megfelelően alacsony, teljesül az, hogy a variancia döntő hányada az első főkomponensekben tömörül. Ez esetben a megfigyelési egységek jellemzése elvégezhető a kezdetinél jelentősen kisebb számú mesterséges koordinátával, mivel az alacsony varianciájú főkomponensek elhagyhatóak. Szignifikáns, jelentős főkomponens változóknak azok tekinthetők, melyek varianciája, szórása, azaz sajátértéke egynél nagyobb, azaz átlag feletti, amelyekre ez nem teljesül, elhanyagolhatóak. Azt, hogy a teljes variancia mekkora része származtatható az egyes főkomponensek varianciájából, hogy az összvariancia hány százaléka magyarázható meg egy adott főkomponens változóval, a megmagyarázási arány mutatja meg. Az ebből származtatott szabály alapján azok a főkomponens változók tekinthetők szignifikánsnak, amelyek együttesen az összvariancia 80%-át megmagyarázzák. Azt, hogy az egyes főkomponens változókkal mely megfigyelési változók állnak szoros kapcsolatban, az egyes sajátvektorokból összeállítható, úgynevezett U főkomponens koefficiens mátrixa mutatja meg, melyben már csak a jelentősnek mondható, első helyeken lévő főkomponens változók kerülnek vizsgálatra. Azok a koefficiensok, amelyek abszolút értéke magas, a főkomponens változótól erős függést jeleznek, az együtthatók előjele mutatják a változók közötti összefüggés irányát. Azok a megfigyelési változók, melyek azonos főkomponens változótól nagymértékben függenek, egymással

kölcsönösen összefüggő változócsoportokba (jellemzők) sorolhatók. Ezen csoportok meghatározása, jellegük leírása a PCA egyik eredménye. A főkomponens súlyok mátrixa a főkomponens koefficiensek U mátrixából képezhető, oszlopainak a megfelelő főkomponens változók szórásértékeivel történő szorzásával. Ennek jelentősége, hogy az így felírható egyenletrendszer jobban kiemeli a PCA azon sajátosságát, mely szerint a nagyobb indexű főkomponensek hatása minimális. Emellett ebből kiválóan megítélhető, hogy melyek a jelentős hatású változók, a főkomponens súlyok mutatják meg, hogy mekkora a súlya az egyes főkomponens változóknak, mekkora szerepük van egy adott megfigyelési változók értékének alakulásában. Arra, hogy ezek a főkomponens súlyok milyen értékek esetén tekinthetők nagyoknak, nincsenek előírások, csak tájékoztató jellegű adatok (13. táblázat):

13. táblázat. Iránymutatás arról, hogy a főkomponens súly értéke alapján milyen minőségű kapcsolatra lehet következtetni.

A főkomponens súly értéke	A kapcsolat minősége
0,98 vagy afelett	igen erős
0,86 és 0,98 között	Erős
0,70 és 0,86 között	Közepes
0,70 alatt	nem jelentős

Az azonos oszlopban lévő nagy főkomponens súlyok segítségével a megfelelő megfigyelési változók egy csoportba sorolhatók, az adott főkomponens változóba összevonhatók. Így meghatározhatóak az egymással összefüggő változócsoportok, leírható a vizsgált kölcsönhatások rendszere (Szűcs 2004).

3.5.2. PCA elvégzése, az eredmények használata az osztályozás pontosítására

Az osztályozórendszer pontosításának kulcsa azoknak a paramétereknek a kiemelése, amelyek a leginkább relevánsak az elkülönítésben és azok kiszűrése, amelyek minimális a jelentősége vagy megbízhatóság szempontjából negatív irányba torzítja az eredményt.

Ilyen beavatkozási pont annak a vizsgálata, hogy egy adott paraméterre vonatkozó adatsorokon belül mennyire tág az egyes tételek intervalluma. Azon paramétereknél, ahol ez az intervallum egy bizonyos határ alá szűkül, az egyes tételek közötti különbség minimális, így egy mérési hiba vagy ismeretlen minta taxonjának átlagától

nagyobb mértékben eltérő tulajdonsága könnyen félreviheti az osztályozás eredményét. Ennek kiküszöbölésére kiemeltem, hogy az egyes paraméterek átlagértékeiből melyek voltak paraméterenként az előforduló legalacsonyabb (minimum) és legmagasabb (maximum) értékek, majd kiszámoltam a kettő különbségét, azaz az adott paraméter terjedelmét és a terjedelem maximális értékre vetített arányát, azaz azt a maximális értékkel elosztva normalizáltam az értékeket és így tüntettem fel. Ez összehasonlítható, átlátható formában megmutatta, hogy az adott paraméter átlagértékei mennyire széles intervallumban változnak. Az alacsony értéket mutató paraméterek kiszűrésével növelhető a megbízhatóság.

A másik módszer a fennmaradó paraméterek, azaz a dimenziók súlyozva történő ábrázolása az Euklideszi térben. Annak meghatározására, hogy mely paraméter milyen mértékű súlyozása növelheti a tételek egymástól való elkülönítését a Főkomponens analízis (PCA) volt a legmegfelelőbb módszer. Ezt az IBM SPSS programban végeztem el. Az elemzést forgatás nélkül futattam le, szűrő, súlyozás és file felosztás nélkül. A PCA komponens mátrix alapján kiszámítottam a súlyfaktorokat (minden paraméter esetén a maximális értéket tekintettem súlyfaktornak, 95%-os szint felett ez esetben 8 faktort jelentett). Az osztályozórendszerben az ismeretlen minta átlagtól való négyzetes eltérését tartalmazó táblázatot súlyozott Euklideszi térbe helyeztem át, felsorozva a táblázat értékeit a PCA analízisből nyert súlyfaktorokkal. Az így kapott értékeket az előzőekkel megegyező módon tételenként összeadtam. Az összegek közül a legalacsonyabb érték megadja, hogy az ismeretlen minta melyik tételhez áll a legközelebb a súlyozott Euklideszi térben. Ezzel a módosítással az osztályozórendszer pontosabban képes elvégezni egy ismeretlen minta taxonómiai besorolását, növelve a módszer megbízhatóságát (M5).

4. EREDMÉNYEK

4.1 Magmorfometriai adatbázis készítése a Magyarországi génbankokban tárolt *Triticum monococcum* tételekről

A vizsgálataim célja a hazánk génbankjaiban letárolt *Triticum monococcum* tételek magmorfometriai felvételezése, egy erre alkalmas felvételezési módszer kidolgozása. Az így nyert adatbázis, paramétereinek morfometriai és biológiai szempontú szelekcióját követően, alapja a mag méreteiből és alakjából kinyerhető információk begyűjtésének. A vizsgálat eredményei lehetőséget nyújtanak a régészeti és génbanki alakor tételek megismeréséhez, azonosításához.

4.1.1 Digitális képfeldolgozási mérési módszer a *T. monococcum* fajra

A vizsgálat során használt képfeldolgozási módszer lépésenként került kidolgozásra, mérlegelve a különböző munkafázisok szükségleteit, a felmerülő nehezítő tényezőket. Az így kifejlesztett eljárás alkalmas az alakor és más *Triticum* fajok szemterméseinek gyors és pontos morfometriai felvételezésére nagyobb elemszám esetén is.

A módszerhez szükséges elemek:

- A vizsgált *Triticum* tétel pelyva nélküli szemtermése(i),
- tükörreflexes digitális fényképezőgép váz,
- 40 mm-es Micro f/2.8 objektív 38° 50' -es látószöggel,
- körvaku,
- 85-1220 mm között változatható, terpeszben állítható, horizontálisan és vertikálisan 360°-ban forgatható fejjel rendelkező állvány,
- fényképezőre szerelhető libella és 3 dimenziós vízmérték,
- távkioldó,
- zöld színű, A4-es méretű dekorszivacs lap,
- milliméterpapír,
- Photoshop és Fovea szoftverek.

A módszer lépései:

Felvétel készítése

1. Az alakorszemek és egy csík milliméterpapír elhelyezése a háttérként szolgáló dekorszivacs lapra.
2. A fényképező váz összeillesztése az objektívvel és az arra szerelt körvakuval.
3. A váz felhelyezése és rögzítése az állványra, beállítása a minta fölé.

4. A kamera optikai tengelyének beállítása a minták helyének síkjára merőlegesen a libella és vízmérték segítségével.
5. Beállítás $f/3,2$ -es rekeszszel, 2,5 másodperces expozíciós idővel, 100-as ISO értékkel és 40 mm-es fókusztávolsággal.
6. Felvétel készítése külső fényforrás és a fényképező saját vakujának kiiktatásával, körvaku és távkioldó használatával.
7. Képek mentése RAW és TIFF formátumban, 24-es bitmélységgel.

Képfeldolgozás

1. Kép megnyitása a Photoshop programban
2. Magok kijelölése a "Magicwand" eszközzel
3. Kijelölés invertálása, a háttér kitörlése
4. A kép mentése 16 bit-es TIFF formátumban
5. A 16 bit-es kép megnyitása a Fovea Pro 4.0 programban
6. A kép kalibrálása a milliméterpapír alapján
7. A mérés elvégzése

Ezzel a módszerrel 17 *Triticum monococcum* tétel 2545 szemtermésén végeztem el a mérést, azok 42 mérettani, alaki és színre vonatkozó paramétereit rögzítve (8. ábra, M3-M4).



8. ábra. A *T. monococcum* subsp. *monococcum* cv. *Epeautre* tétel fényképezőgéppel készített felvétele előfeldolgozást megelőzően (bal) és előfeldolgozást követően (jobb).

4.1.2 Mérettani paraméterek

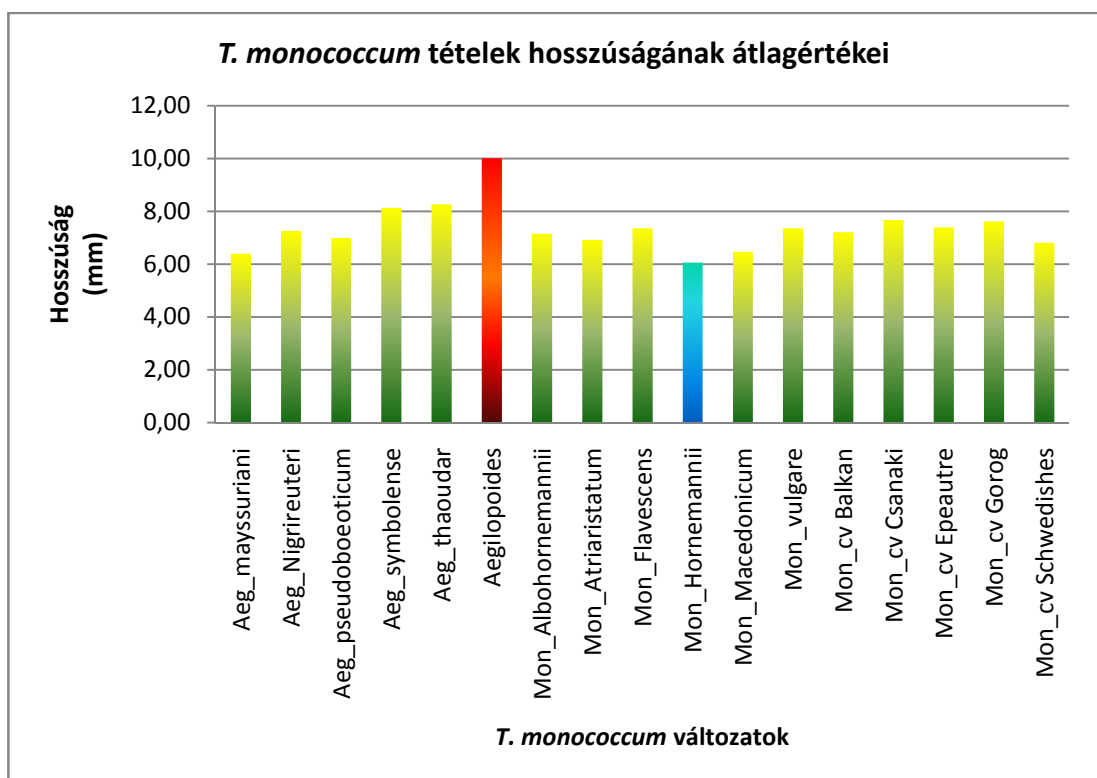
A Fovea Pro 4.0 szoftver által mért mérettani paraméter a terület (Area), konvex terület (Convex area), hosszúság (Length), szélesség (Breadth), kerület (Perimeter), konvex kerület (Convex perimeter), ekvivalens átmérő (Equivalent diameter), a szem belsejébe (Inscribed radius) és köré (Cicum radius) írható kör sugara (14. táblázat).

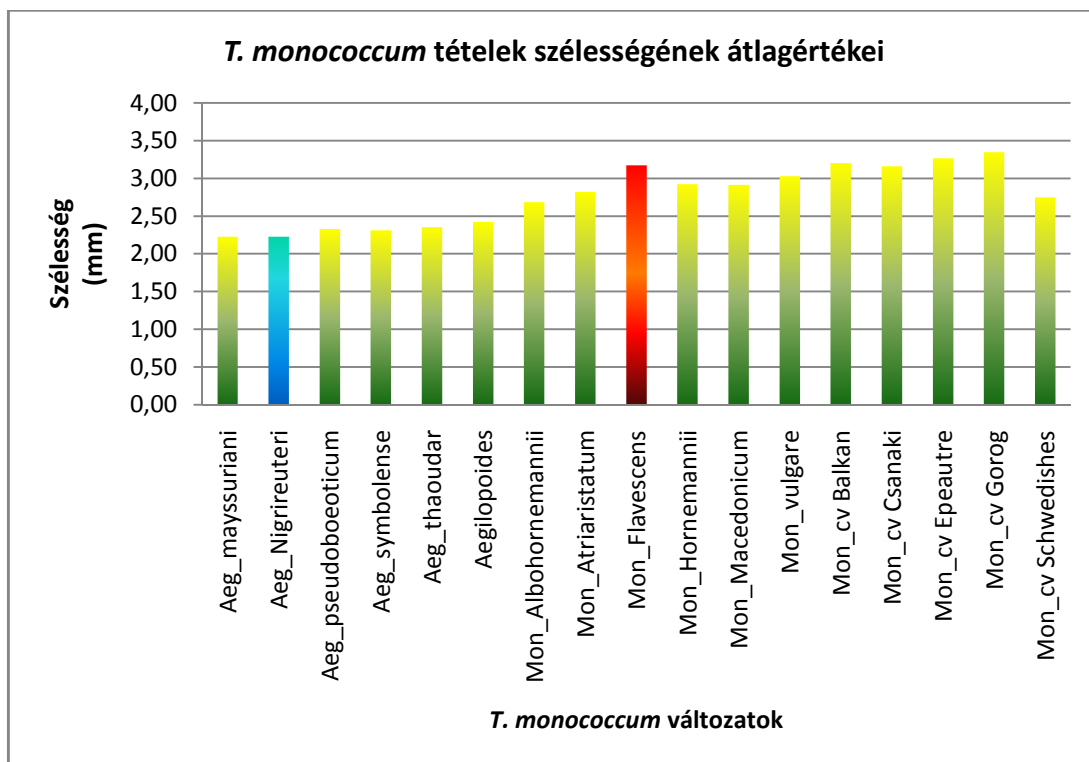
14. táblázat. A vizsgált *T. monococcum* tételek mérettani paraméterei és azok mért átlagértékei, a legmagasabbak piros, a legalacsonyabbak kék színnel jelölve.

Minta neve	Area (mm ²)	Convex Area (mm ²)	Length (mm)	Breadth (mm)	Equiv. Diam. (mm)	Inscr. Rad. (mm)	Circum. Rad. (mm)	Perimeter (mm)	Convex Perim. (mm)
<i>Aeg_maysuriani</i>	11,01	11,11	6,40	2,23	3,71	1,09	3,20	15,34	14,44
<i>Aeg_Nigrireuteri</i>	11,86	12,03	7,26	2,23	3,87	1,09	3,64	16,96	15,94
<i>Aeg_pseudo-boeoticum</i>	12,52	12,62	6,99	2,33	3,96	1,13	3,50	16,63	15,65
<i>Aeg_symbolense</i>	13,86	14,01	8,13	2,32	4,18	1,13	4,07	18,78	17,66
<i>Aeg_thaoudar</i>	14,25	14,48	8,26	2,36	4,24	1,14	4,14	19,12	17,96
<i>Aegilopoides</i>	17,85	18,08	10,01	2,43	4,75	1,16	5,01	22,79	21,42
<i>Mon_Albo-hornemannii</i>	14,25	14,37	7,15	2,69	4,25	1,33	3,58	17,09	16,18
<i>Mon_Atriaristatum</i>	14,73	14,81	6,92	2,83	4,32	1,40	3,46	16,80	15,96
<i>Mon_Flavescens</i>	16,86	16,98	7,35	3,18	4,62	1,58	3,68	17,90	16,93
<i>Mon_Hornemannii</i>	13,55	13,62	6,06	2,92	4,15	1,46	3,03	15,31	14,57
<i>Mon_Macedonicum</i>	14,23	14,31	6,47	2,92	4,25	1,45	3,24	16,05	15,25
<i>Mon_vulgare</i>	16,40	16,53	7,36	3,03	4,56	1,50	3,68	17,89	16,87
<i>Mon_cv Balkan</i>	16,83	16,97	7,21	3,20	4,62	1,59	3,61	17,74	16,76
<i>Mon_cv Csanaki</i>	17,33	17,52	7,68	3,16	4,69	1,57	3,84	18,52	17,44
<i>Mon_cv Epeautre</i>	16,62	16,92	7,40	3,27	4,59	1,63	3,70	18,04	16,91
<i>Mon_cv Görög</i>	17,55	17,81	7,62	3,35	4,72	1,67	3,82	18,49	17,40
<i>Mon_cv Schwedishes</i>	13,18	13,38	6,81	2,75	4,09	1,36	3,41	16,35	15,39

A szemek területét (Area) és konvex területét (Convex Area) illetően a mért adatok átlaga 11,01 és 17,85 mm-es érték között változott. A legalacsonyabb érték a *Triticum monococcum* subsp. *aegilopoides* var. *maysuriani* tételhez tartozott, annak ellenére, hogy sem a szem hosszában (Length), sem szélességében (Breadth) nem ez volt a legkisebb méretű. Ugyanakkor szintén ez a tétel jellemezhető a legalacsonyabb ekvivalens átmérővel (Equiv. diam.), a szem köré és belsejébe írható körsugárral (Circum Rad., Inscr. Rad), valamint konvex kerülettel (Convex Perimeter). A

hosszúsági értéket tekintve átlagosan a legrövidebb szemeket tartalmazó tétel a *Triticum monococcum* subsp. *monococcum* var. *hornemannii* volt 6,06 mm-es értékkel. Szintén ez a tétel jegyezte átlagban a legkisebb mért területet. Szemszélességet illetően a *Triticum monococcum* subsp. *aegilopoides* var. *nigrireuteri* jellemezhető a legkeskenyebbként, de mivel szélességben és alaki tényezőkben ezt az alacsony értéket képes kompenzálni, más minimum érték nem tartozik hozzá. A méretre vonatkozó jellemzők legmagasabb értékei már homogénebb képet mutattak. Három paraméter kivételével ezek a *Triticum monococcum* subsp. *aegilopoides* tételhez tartoztak, területben, kerületben, konvex területben és kerületben valamint a körülírható kör sugarában egyaránt a legmagasabb adatokat mutatja. Ez kiemelkedő hosszúsági paraméterátlagából adódik, egyedülként meghaladva a 10 mm-t, amellyel átlagban 2,75 mm-el hosszabb a sorban következő *Triticum monococcum* subsp. *aegilopoides* var. *thaoudar* tétel elemeitől. A szélességi adatokat tekintve, ekvivalens átmérőben és beírható kör sugarában viszont a *Triticum monococcum* subsp. *monococcum* cv. GÖRÖG tétel átlagértéke bizonyult a legmagasabbnak (9. ábra).





9. ábra. A vizsgált *T. monococcum* tételek hosszúságának (felső) és szélességének (alsó) átlagértékei, a legmagasabbak piros, a legalacsonyabbak kék színnel jelölve.

4.1.3 Alaktani paraméterek

Az alaktani paraméterek a mérettani értékek különböző arányaira és a szem alakjára vonatkozó adatokat tartalmazzák. Ide tartozik a 42 mért releváns paraméter közül 20, mint például a szem alakját leíró Formfaktor (Formfactor), a kerektség (Roundness), a nyújtottság (Elongation), a kovexitás (Convexity), a szimmetria (Symmetry), a szilárdság (Solidity), a képarány (Aspect Ratio), a sugárárány (Radius Ratio), a Feret-átmérők (X-Feret, Y-Feret), valamint a vázra vonatkozó adatok (15. táblázat).

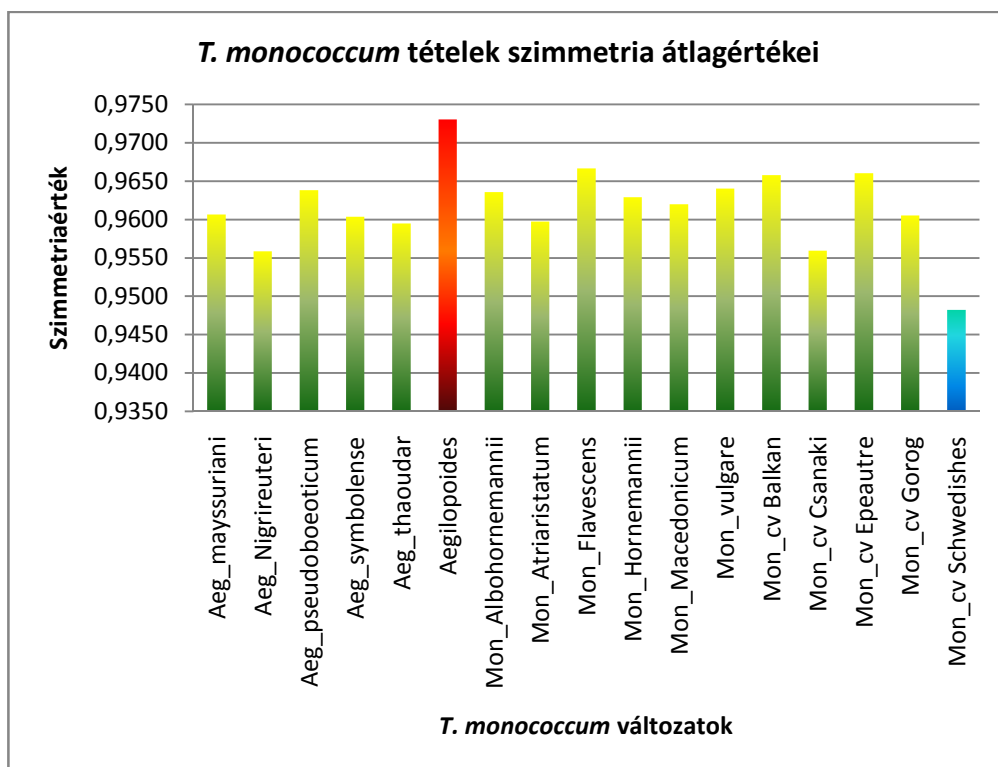
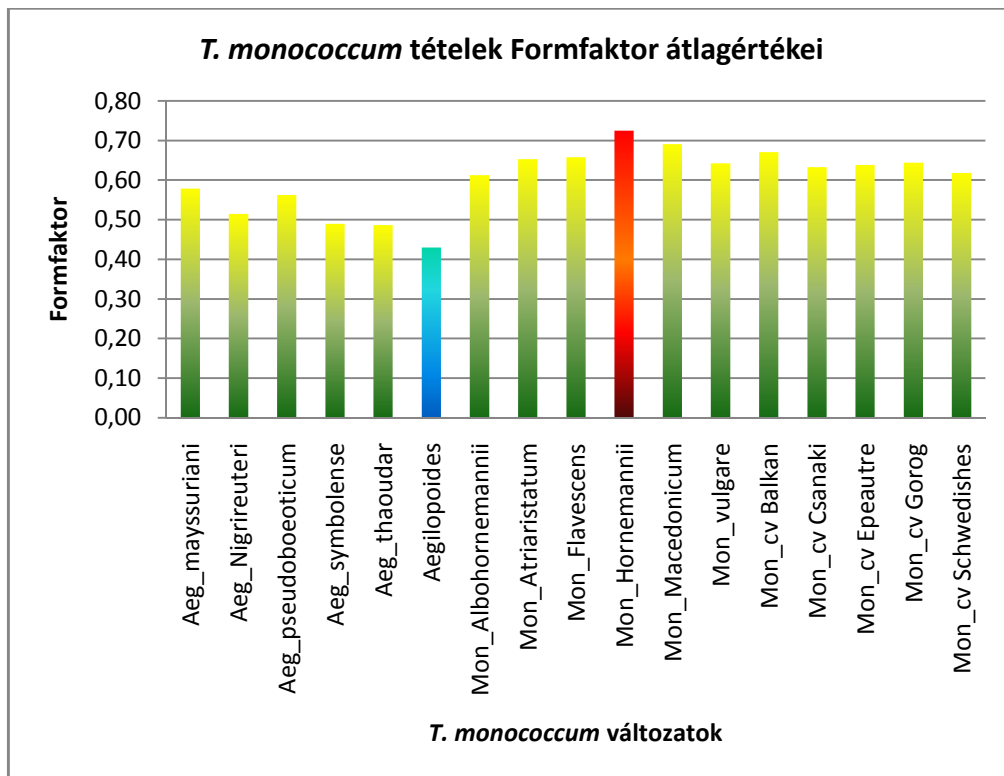
15. táblázat. A vizsgált *T. monococcum* tételek alaktani paramétereit és azok mért átlagértékeit, a legmagasabbak piros, a legalacsonyabbak kék színnel jelölve.

Minta neve	Formfactor	Roundness	Elongation	Aspect Ratio	Radius Ratio	Symmetry
<i>Aeg_mayssuriani</i>	0,5793	0,3388	5,4736	2,9073	0,3392	0,9607
<i>Aeg_Nigrireuteri</i>	0,5153	0,2856	5,7091	3,3172	0,3000	0,9559
<i>Aeg_Pseudoboeoticum</i>	0,5628	0,3255	5,4731	3,0714	0,3254	0,9638
<i>Aeg_symbolense</i>	0,4899	0,2655	6,8065	3,5752	0,2769	0,9604
<i>Aeg_thaouar</i>	0,4872	0,2654	6,7445	3,5530	0,2762	0,9595

<i>Aegilopoides</i>	0,4302	0,2266	7,3575	4,1470	0,2318	0,9730
<i>Mon_</i> <i>Albohornemannii</i>	0,6128	0,3560	4,3937	2,6746	0,3727	0,9636
<i>Mon_</i> <i>Atriaristatum</i>	0,6535	0,3913	3,8845	2,4609	0,4048	0,9597
<i>Mon_Flavescens</i>	0,6586	0,3966	3,9860	2,3457	0,4296	0,9667
<i>Mon_Hornemannii</i>	0,7251	0,4711	3,1096	2,0774	0,4821	0,9629
<i>Mon_</i> <i>Macedonicum</i>	0,6917	0,4333	3,5025	2,2358	0,4489	0,9620
<i>Mon_vulgare</i>	0,6426	0,3862	4,5755	2,4382	0,4090	0,9640
<i>Mon_cv Balkan</i>	0,6714	0,4140	4,1011	2,2748	0,4413	0,9658
<i>Mon_cv Csanaki</i>	0,6331	0,3737	4,6885	2,4308	0,4089	0,9560
<i>Mon_cv Epeautre</i>	0,6385	0,3855	4,8848	2,2662	0,4397	0,9660
<i>Mon_cv Görög</i>	0,6442	0,3847	4,2019	2,2815	0,4381	0,9605
<i>Mon_cv</i> <i>Schwedishes</i>	0,6190	0,3616	4,2055	2,4782	0,4007	0,9482

Az alaktani paraméterek alapján egyértelműen kijelenthető, hogy a kör alaktól legtávolabb a *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* tétel áll a legalacsonyabb Formfaktor és kerektség adatokkal, valamint sugárárányal. Ezt igazolja, hogy az ezekkel az értékekkel fordított arányosságot mutató nyújtottsági átlagok is itt a legmagasabbak. Emellett a tétel sajátos, mással nem korreláló jellemzője, hogy szimmetriát tekintve közelebb áll az egyhez, más tételeknél, azaz elmondható, hogy a *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* szemek szimmetrikusabbak más változatokkal összevetve, beleértve a domesztikált alakor tételeket is.

Alaktanilag a másik véglet a *T. monococcum* subsp. *monococcum* var. *hornemannii*. Szemei rendelkeznek átlagosan a legmagasabb értékkel a Formfaktort, kerekséget és a sugárárányt illetően és a legalacsonyabbakkal a nyújtottságot és a képarányt tekintve, egybehangzóan alátámasztva azt, hogy ez a kör alakú szemekhez legközelebb álló tétel. A szimmetriát tekintve azonban már a legalacsonyabb érték a *T. monococcum* subsp. *monococcum* *Schwedisches* convarietas-hoz tartozik, az ebbe tartozó szemek bizonyultak átlagosan a leginkább aszimmetrikusnak (10. ábra).



10. ábra. A vizsgált *T. monococcum* tételek Formfaktor (felső) és szimmetria (alsó) átlagértékei, a legmagasabbak piros, a legalacsonyabbak kék színnel jelölve.

4.1.4 Intenzitás-és színparaméterek

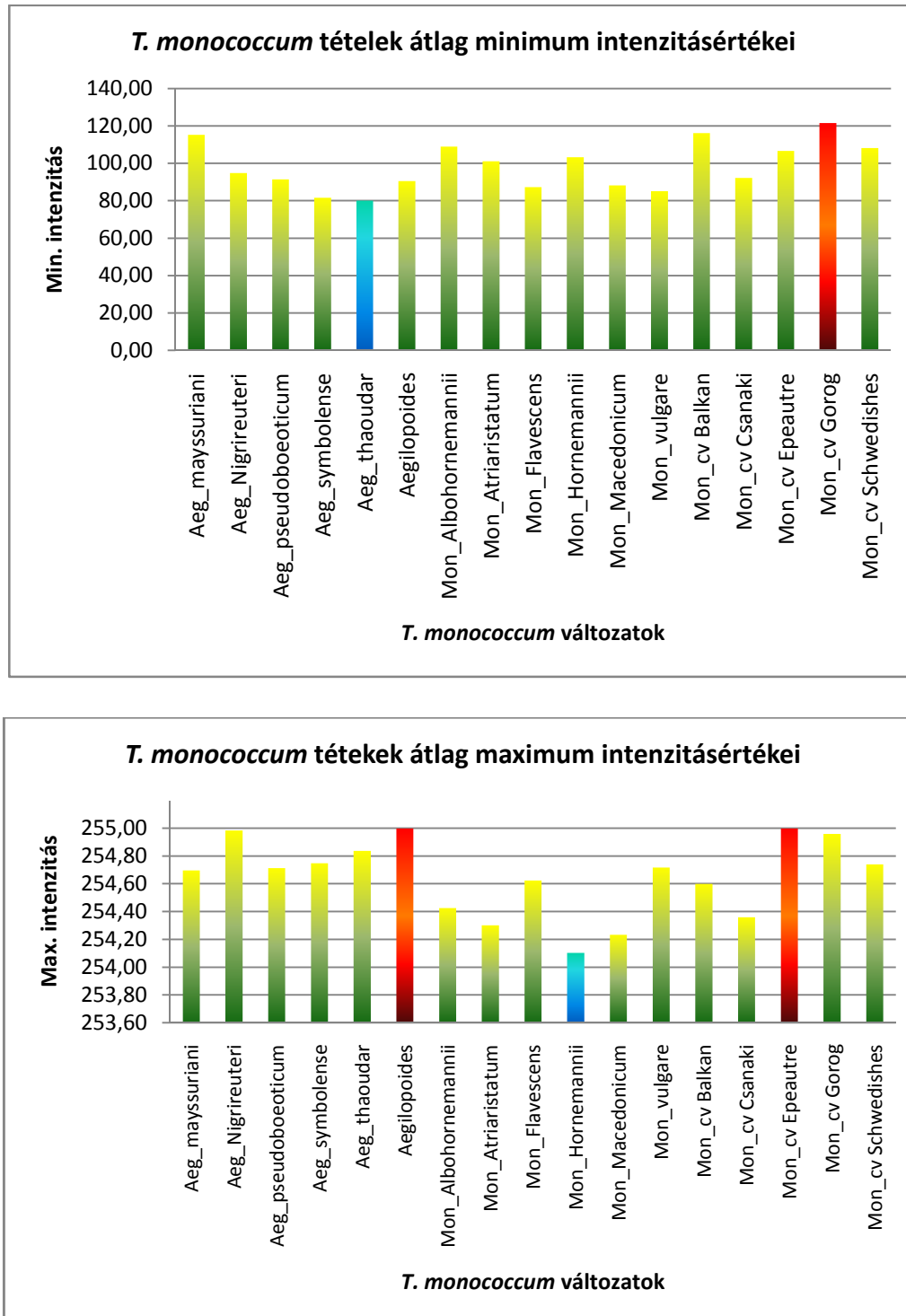
A színről és az intenzitásról információt adó paraméterek szélső átlagai a méretnél és az alaknál változatosabb képet mutatnak (16. táblázat).

16. táblázat. A vizsgált *T. monococcum* tételek intenzitás-és színparaméterei, azok mért átlagértékei, a legmagasabbak piros, a legalacsonyabbak kék színnel jelölve.

Minta neve	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Max	Min
	Red	Green	Blue	Hue	Saturation	Luminance	Intensity	
<i>Aeg_mayssuriani</i>	207,2	174,5	125,6	35,9	118,7	169,1	254,7	115,3
<i>Aeg_Nigrireuteri</i>	189,0	167,4	133,8	36,1	77,1	163,4	255,0	94,8
<i>Aeg_pseudoboeoticum</i>	184,9	162,4	121,9	38,6	82,9	156,4	254,7	91,4
<i>Aeg_symbolense</i>	174,9	151,5	107,3	38,9	82,4	144,6	254,8	81,7
<i>Aeg_thaoudar</i>	171,3	146,7	103,1	38,4	75,8	140,4	254,8	80,0
<i>Aegilopoides</i>	191,0	160,2	116,1	35,2	94,6	155,8	255,0	90,6
<i>Mon_Albohornemannii</i>	203,3	169,1	119,7	35,3	113,9	164,0	254,4	109,0
<i>Mon_Atriaristatum</i>	195,8	169,8	106,0	42,6	110,2	157,2	254,3	101,2
<i>Mon_Flavescens</i>	191,5	165,3	109,0	40,9	100,4	155,3	254,6	87,2
<i>Mon_Hornemannii</i>	194,8	167,9	112,0	40,5	103,6	158,2	254,1	103,2
<i>Mon_Macedonicum</i>	179,8	153,6	91,9	42,1	99,7	141,7	254,2	88,2
<i>Mon_vulgare</i>	189,4	162,5	102,5	41,5	102,0	151,4	254,7	85,2
<i>Mon_cv Balkan</i>	216,2	183,9	124,6	38,8	137,6	174,9	254,6	116,2
<i>Mon_cv Csanaki</i>	178,3	150,8	100,7	38,7	85,7	143,3	254,4	92,2
<i>Mon_cv Epeautre</i>	214,4	179,0	113,6	39,0	140,9	169,0	255,0	106,7
<i>Mon_cv Görög</i>	221,2	182,8	126,1	35,8	148,0	176,7	255,0	121,6
<i>Mon_cv Schwedishes</i>	193,1	160,0	105,5	37,3	105,4	152,9	254,7	108,2

A piros és zöld színcsatornák átlagait, a telítettségi és fényességre vonatkozó átlagos értékeket és intenzitás maximumát tekintve legmagasabb átlagértéket a *T. monococcum* subsp. *monococcum* cv. Görög, a legalacsonyabbat *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* var. *thaoudar* tétel mutatta. A kék színcsatorna legkisebb átlaga a *T. monococcum* subsp. *monococcum* var. *vulgare*, legmagasabb a *Triticum monococcum* subsp. *aegilopoides* var. *nigrireuteri* tétel esetében szerepelt. A színárnyalat tekintetében a minimum átlaga a *Triticum monococcum* subsp. *aegilopoides*, maximum átlaga a *T. monococcum* subsp. *monococcum* var.

atriaristatum tételt jellemzi. Az intenzitás maximális értékeiből a *T. monococcum* subsp. *monococcum* var. *hornemannii* tételé volt a legalacsonyabb, a maximális 255-ös értéket négy tizedes jegy pontossággal két tétel, a *Triticum monococcum* subsp. *aegilopoides* és a *T. monococcum* subsp. *monococcum* cv. *Görög* is elérte (11. ábra).



11. ábra. A vizsgált *T. monococcum* tételék minimum és maximum intenzitási átlagértékei, a legmagasabbak piros, a legalacsonyabbak kék színnel jelölve..

Az adatbázisban rögzített adatok egyértelműen mutatják, hogy a génbankokban tárolt alakor tételek szemei is számos olyan információt rejtenek, amelyek leírják azok tulajdonságait, a köztük lévő különbségeket és alapot adhatnak számos egyéb vizsgálatra. A mérettani, alaktani, színre és intenzitásra vonatkozó adatok feltárhatnak olyan összefüggéseket, melyek eddig nem kerültek vizsgálatra és alkalmasak korábbi elméletek megerősítésére vagy épp cáfolatára.

4.2 A domesztikáció hatásának vizsgálata morfolometriai módszerekkel

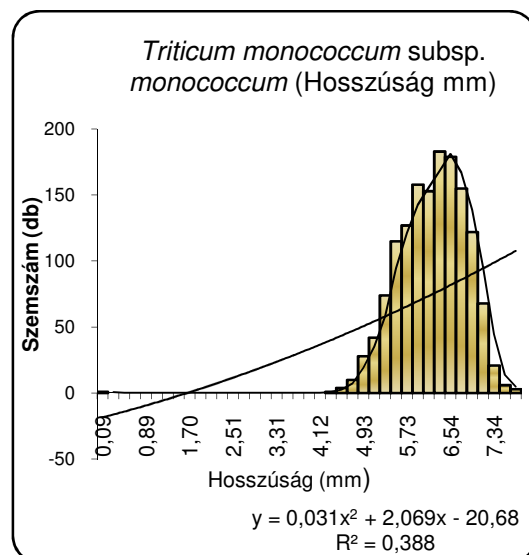
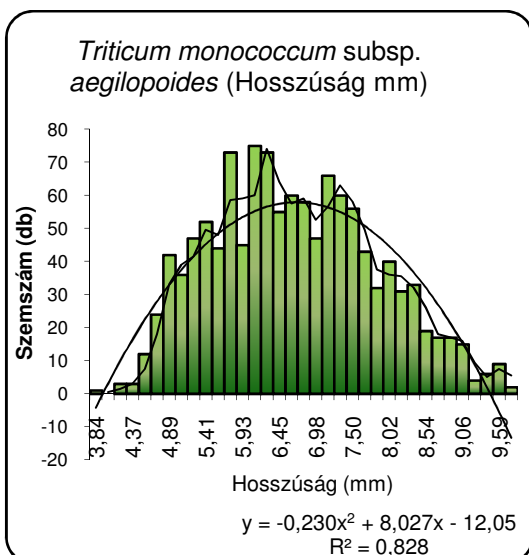
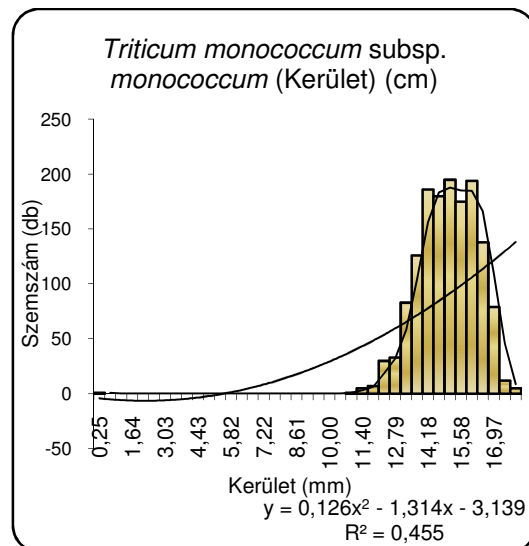
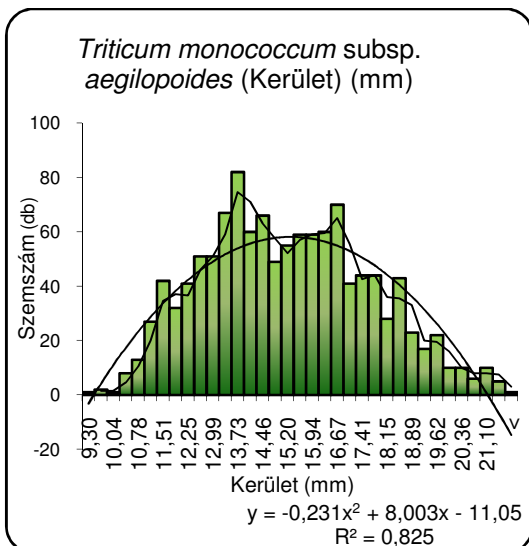
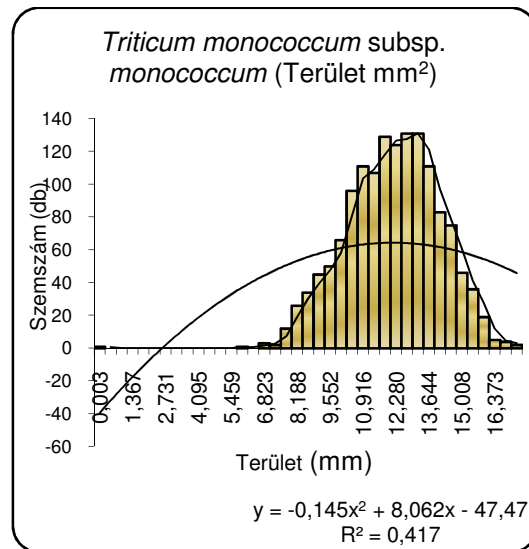
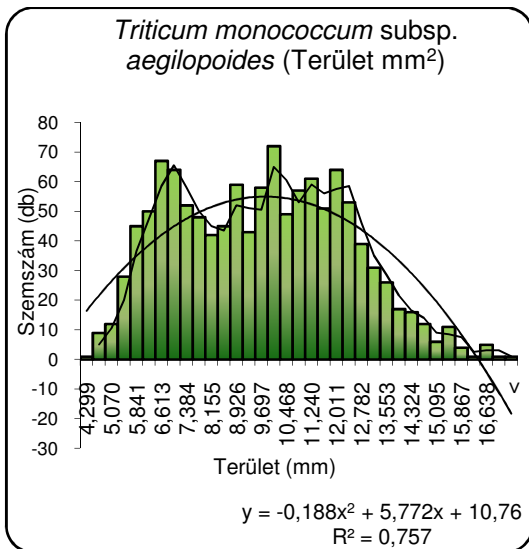
Az elkészített morfolometriai adatbázis jelentősége azon felül, hogy az alakor mint faj eltűnőben van és génbanki tárolásának pontossága kulcsfontosságú, abban a tekintetben is egyedülálló, hogy a domesztikáció folyamatának szempontjából a *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* közvetlen következő lépcsőfoka a *T. monococcum* subsp. *monococcum*, így a házasítás hatása is jól vizsgálható. Az emberi szelekciós tényező megmutatkozik a magok paramétereinek diverzitásában függetlenül az egyéb környezeti tényezőktől, genetikailag rögzülve. A szelekció során egy adott tulajdonságcsoporthoz válogatták ki a szemeket, létrehozva a tulajdonságokra vonatkozó adatok unimodális képét szemben a vad alfaj széleskörű diverzitásával. Ez alapján egy régészeti lelőhelyen talált tételről meghatározható, hogy a vad alfaj szemterméseinek begyűjtéséből vagy már tudatos termesztés eredményeként a domesztikált alfaj szemterméseiből származik.

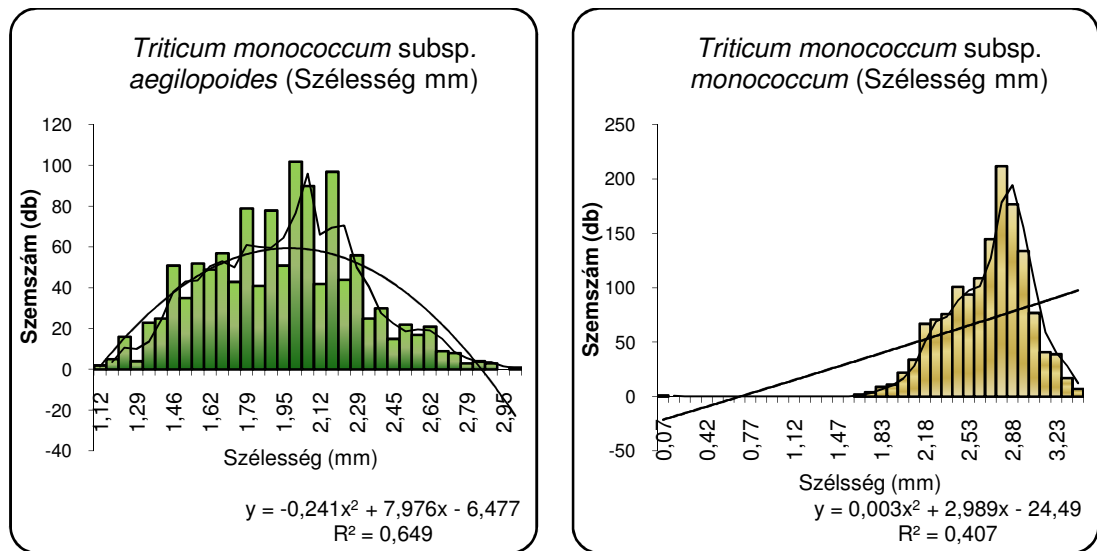
4.2.1 A domesztikált alakor elkülönítése a vad őstől magmorfolometriai adatbázis alapján

Az adatbázis egyik fő célja az volt, hogy vizsgálva egy házasított, termesztett növényfajt és annak közvetlen vad őst, igazoljam, hogy a szemek morfolometriai mérésével és az adatokból készített hisztogramok segítségével egyértelműen kimutatható, hogy domesztikált vagy vad tételről van-e szó, abban az esetben is, ha azok taxonómiaiilag azonos fajba tartoznak.

Már a felvételezés első fázisában, a szkennelével készített hisztogramokon elvégeztem a vizsgálatot. Öt db *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* és öt *T. monococcum* subsp. *monococcum* tételt vizsgáltam meg, amelyek azonos évjáratúak és azonos termőhelyről származtak, egy tétel 192 db szemet tartalmazott. A szemeket egy síkágyas lapszkennel munkafelületére helyezve egy kalibrációs mércével elkészítettem a képeket, melyeket a Fovea Pro 4.0 programmal lemértem. Mivel a felvetés szerint a különbségek a diverzitás mértékéből adódnak és az emberi

szelekció feltételezhetően a szemek mérete alapján történt, a különbség meghatározására a mag területét, kerületét, hosszúságát és szélességét vettem alapul (12. ábra).





12. ábra. A vad alakor (bal) multimodális és a háziasított alakor (jobb) unimodális hisztogramjai.

Mind a négy paraméter hisztogramján szemmel látható a domesztikáció, az emberi szelekció hatása a diverzitás beszűkülésében. A *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* hisztogramjai szélesebb intervallumot fognak át, a szemek eloszlása egyenetlen, több mért értékhez tartozik egyformán magas elemszám. Ez adja a hisztogramok multimodális alakját. Ennek oka az, hogy a genetikai készlet a természet egyfajta eszközének tekinthető arra, hogy megtartsa a géneket arra az esetre, amennyiben a jövőben arra a fajnak szüksége lenne a fennmaradáshoz, pl. változó környezeti körülmény esetén. A természetes szelekciós intenzitás növekedésével, pl. stresszhatások, klímaváltozás révén nő a szenzibilitás, ezt küszöböli ki a változatosság. Az ember domesztikáció során ebből a génkészletből választotta ki azt a szegmenst, amely a számára megfelelő tulajdonságokat hordozta. A táplálékforrásként begyűjtött vad alakorból azt tartották meg és vetették el újra, amely nagyobb méretű volt, megkönnyítve a vetést, betakarítást. Így a *T. monococcum* subsp. *monococcum* mérettani paraméterei már egy beszűkült génkészletet tükröznek, unimodális, haranggörbe jellegű hisztogrammal. Ezt alátámasztják a területre, hosszúságra, szélességre és kerületre vonatkozó adatok egyaránt. Az unimodális hisztogram a multimodálistól egzakt módon elkülöníthető trendvonalak felvételével. Amennyiben a 2-es sorrendű polinomiális trendvonal kettőnél több helyen metszi a mozgó átlag 2-es periódusú trendvonalát, az multimodálisnak tekinthető, amennyiben két metszéspont van, a hisztogram unimodális. Ez alapján elmondható, hogy a *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* szemeinek területre, kerületre, hosszúságra és szélességre vonatkozó adatainak

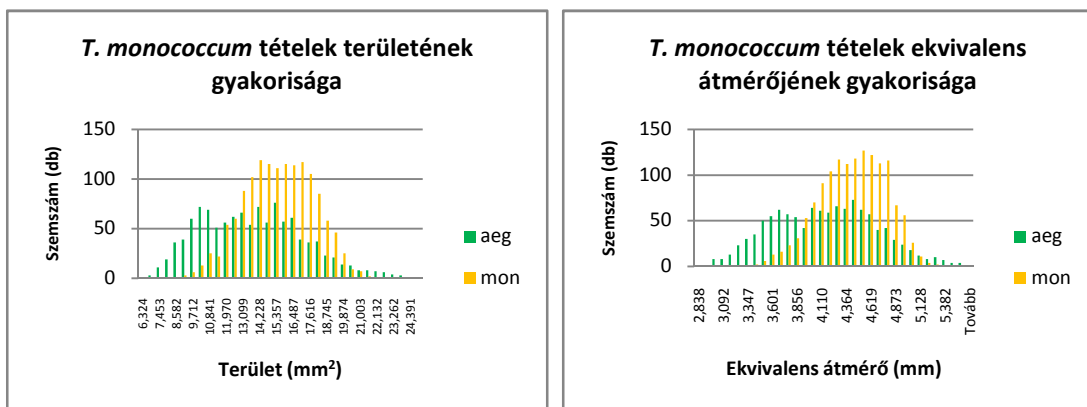
histogramja multimodális, tehát vad tételeknek tekinthetők, a *T. monococcum* subsp. *monococcum* esetében unimodális histogramjai a domesztikáltságot igazolják.

4.2.2 Domesztikáció hatásának vizsgálata histogramok alapján

A histogramok azon felül, hogy unimodális vagy multimodális alakúak, más információt is hordoznak. A szemek eloszlása, a módusz eltolódása a diverzitás beszűkülésén túl azt is megmutatják, hogy a domesztikáció hatására milyen értékek mentén történt az intervallumcsökkenés, milyen irányba tolódtak el az egyes paraméterek értékei és milyen mértékben. Ennek a legszemléletesebb ábrázolása a histogramok egy koordináta-rendszerben való ábrázolása.

Mérettani paraméterek

Mérettani paramétereket illetően a histogramok három részre csoportosulnak. Az elsőbe tartozik a terület, a konvex terület és az ekvivalens átmérő (13. ábra).

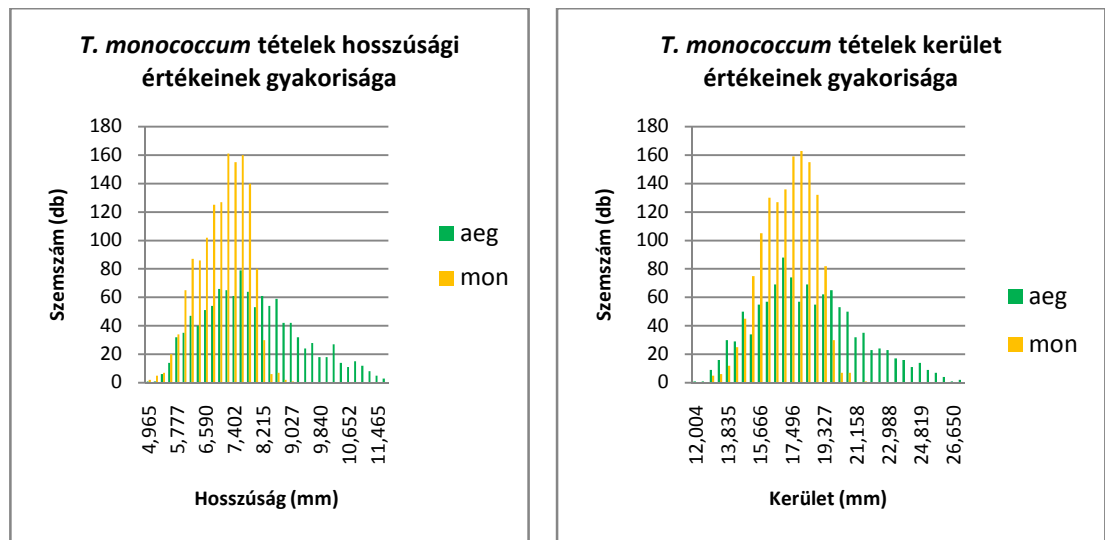


13. ábra. A vad és házasított alakor területének és ekvivalens átmérőjének histogramjai.

A histogramok alapján elmondható, hogy a *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* területre vonatkozó adatai szélesebb skálán mozognak, kevesebb szem tartozik a legmagasabb értékhez is, ugyanakkor széles intervallumon található magasabb elemszám. Összességében egy erőteljesen diverz alfaj képét mutatja. Ezzel szemben a *T. monococcum* subsp. *monococcum* kisebb értékhatárok között mozog, magasabb elemszámmal a jellemző értékeken. Ez a beszűkült intervallum az *aegilopoides* értékein belül található, ami azt jelzi, hogy a domesztikáció során a *monococcum* szemek területe nem haladta meg a vadon élő őséne értékeit, csak egyöntetűbb lett azon belül. Az *aegilopoides* multimodális histogramján két módusz látható, ebből a

magasabb értékhez tartozó egybe esik a *monococcum* móduszával (14,22819 mm²), a kisebb értékhez tartozó csoport azonban már kiszelektálódott, a *monococcum* tételből csupán néhány szem mutat olyan alacsony területi értéket. Ugyanez mondható el a területértékkel szorosan korreláló konvex terület értékéről és az ekvivalens átmérő adatairól.

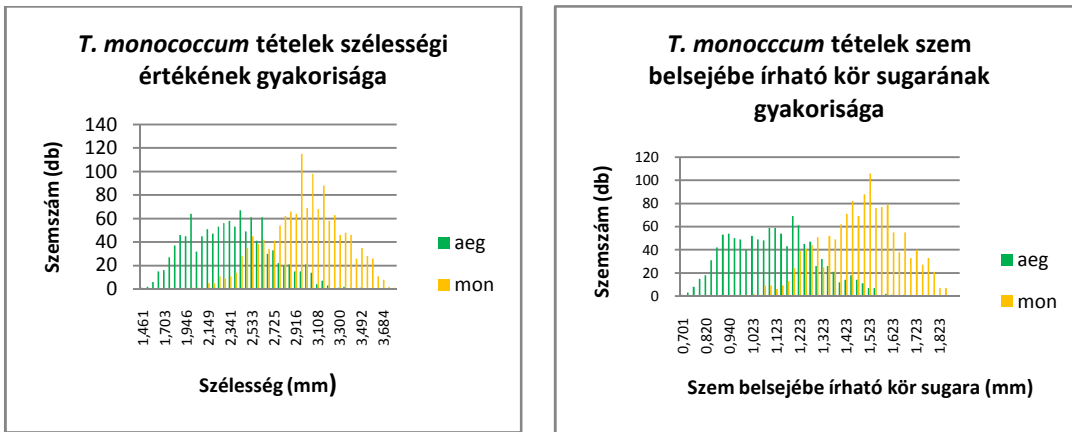
A másik csoportba tartozik a hosszúság, a szem köré írható kör sugara, a kerület és a konvex kerület (14. ábra).



14. ábra. A vad és házasított alakor hosszúsági és kerületi adatainak hisztogramjai.

Ezeknél a paramétereknél egy erőteljesebb diverzitáscsökkenés figyelhető meg. Az aegilopoides értékei jellemzően széles intervallumon mozognak, ezzel szemben a monococcum szemek az intervallum alacsonyabb értékein tömörülnek, a módozt elérve azonban a szemek előfordulási aránya az afölötti értékeknél hirtelen lecsökken és megszűnik. A *monococcum* tételknél egy bizonyos hosszúsági (8,9776 mm) és kerületi (21,2394 mm) érték fölött egyáltalán nem fordulnak elő szemek, ahol még a vad alfaj szemei nagyobb mennyiségben jellemzőek. Mivel ez a jellemző valószínűleg a hosszúsági érték ilyen jellegű viselkedésére vezethető vissza, amelyre nagy valószínűséggel irányított emberi szelekció nem történt, valószínűbb, hogy ez egy természetes evolúciós reakció a szemek nagyságára, szélességére történő szelektásából adódóan. Azzal, hogy a szemek szélesebbé, teltebbé váltak, azok elérhető hosszúsága bekorlátozódott.

Ezt támasztja alá a szemek szélességének és a szem belsejébe írható kör sugarának hisztogramja, a mérettani paraméterek harmadik típusa (15. ábra).

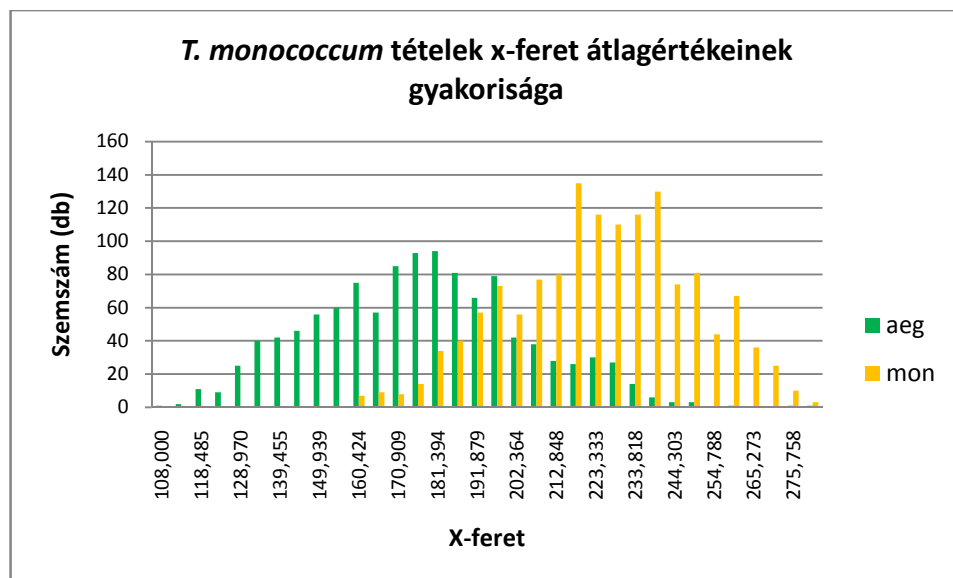
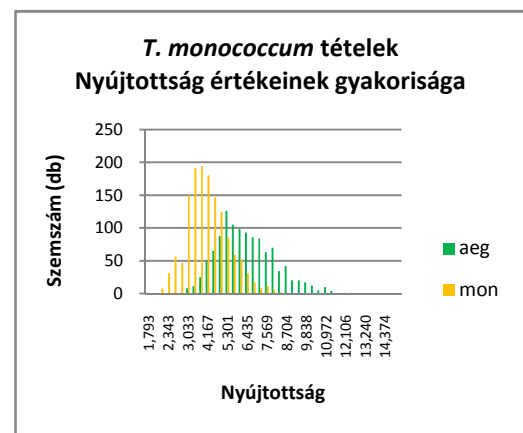
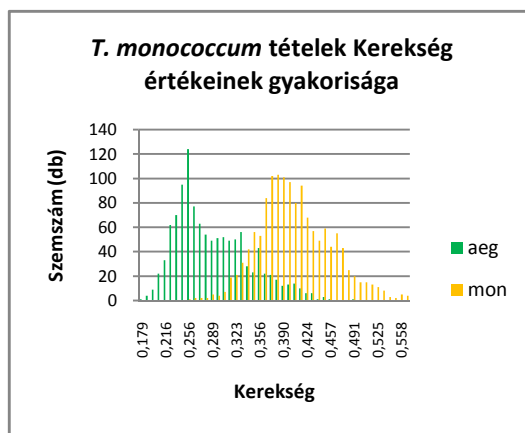
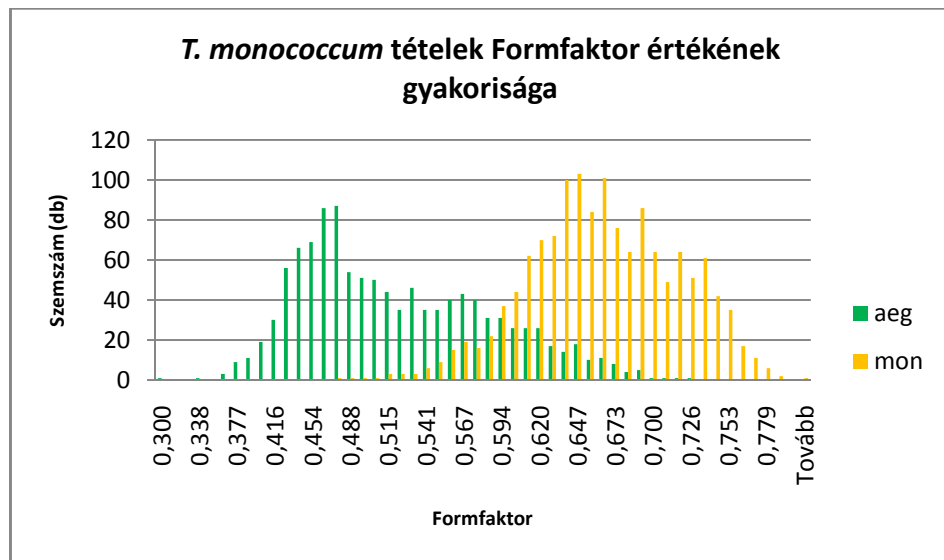


15. ábra. A vad és házasított alakor szélességének és szem belsejébe írható kör sugarának hisztogramjai.

Itt már egyértelműen jelentkezik a szelekciós hatáson felül egy ebből adódó evolúciós változás. Az a terjedelem, ami az *aegilopoides* tétteleket jellemző, megegyezik a *monococcum* terjedelmével, ugyanakkor eltolódott értékekkel. Az *aegilopoides* legalacsonyabb értékei a *monococcum* esetében már egyáltalán nem fordulnak elő, kiszelektálódtak. Emellett azonban a *monococcum* szemeire már olyan szélességi értékek is jellemzőek, amelyeket a vad *aegilopoides* nem ér el, jelezve, hogy a domesztikált alfaj ezen paraméter esetében már felülmúlja vad őst. A két alfaj azonban még nem vált szét teljes mértékben, vannak olyan szélességi értékek, melyek még mindkét alfaj esetében nagy arányban előfordulnak, és a *monococcum* értékeinek módusza (2,964439 mm) is azon a határon van, ahol bár már csak minimálisan, de még jellemzőek *aegilopoides* szemek. Ugyanezen megállapítások a szem szélességével korreláló paraméterre, a szem belsejébe írható kör sugarára is érvényesek. Ez is jelzi, hogy bár a *T. monococcum* subsp. *monococcum* egy domesztikált alfaj, de a házasítás első szintjét képviseli.

Alaktani paraméterek

Az előzőekben leírt jelenség figyelhető meg az alaktani paraméterek esetében is, a Formfaktor, az X-Feret átmérő, a kerekesség és sugárány hisztogramjai is azt mutatják, hogy az *aegilopoides* értékei alacsonyabbak, azaz szemei távolabb állnak a tökéletes kör alaktól. Mindkét alfaj esetében van egy értéktartomány, amely a másikkra már egyáltalán nem jellemző, az *aegilopoides* alfaj esetében a móduszok is ebbe a tartományba esnek. A *monococcum* esetében a módusz értékénél még minden paraméter esetében találunk *aegilopoides* szemeket is, de arányuk minimális volt (16. ábra).

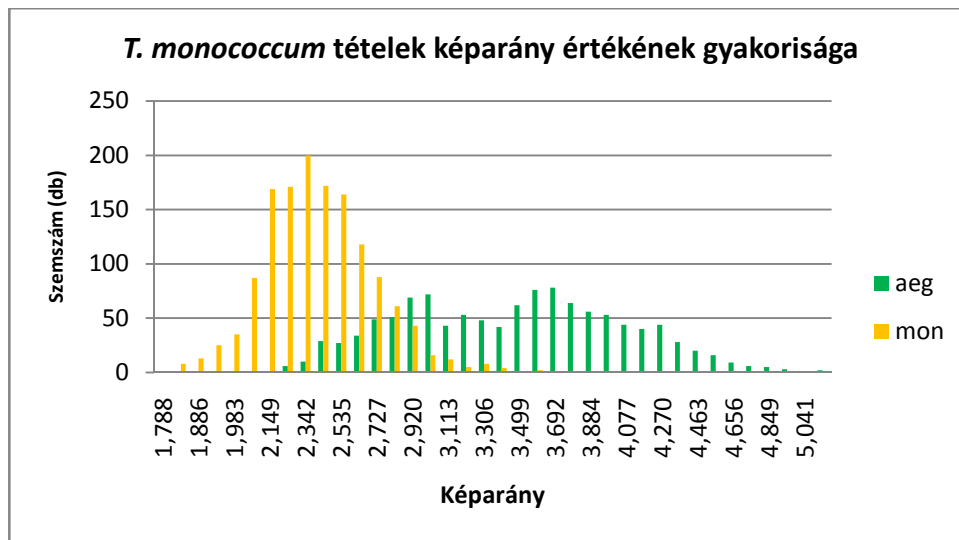


16. ábra. A vad és házasított alakor Formfaktor, kerektség, nyújtottság és X-feret adatainak hisztogramjai.

Alaktanilag érdekes eredmény, hogy a leírtak tökéletesen igazak a kerekségre, ugyanakkor ezt az erőteljes elkülönülést a nyújtottság már nem teljesen mutatja. A

nyújtottság hisztogramján jól látható, hogy a *monococcum* legmagasabb értékei nem maradnak el jelentősen az *aegilopoides* móduszától, míg a kerekesség esetében két teljes mértékben elkülönülő, egymástól távol álló módusz látható. Ez alapján a nyújtottságra még inkább egy jelentős szelekciós hatás jellemző, kisebb mértékű evolúciós változással, míg a kerekészen utóbbi jóval nagyobb mértékben jelentkezik.

Alaktani paraméterek közül meg kell említeni a képarányt, a hosszúság és szélesség hányadosát (17. ábra).

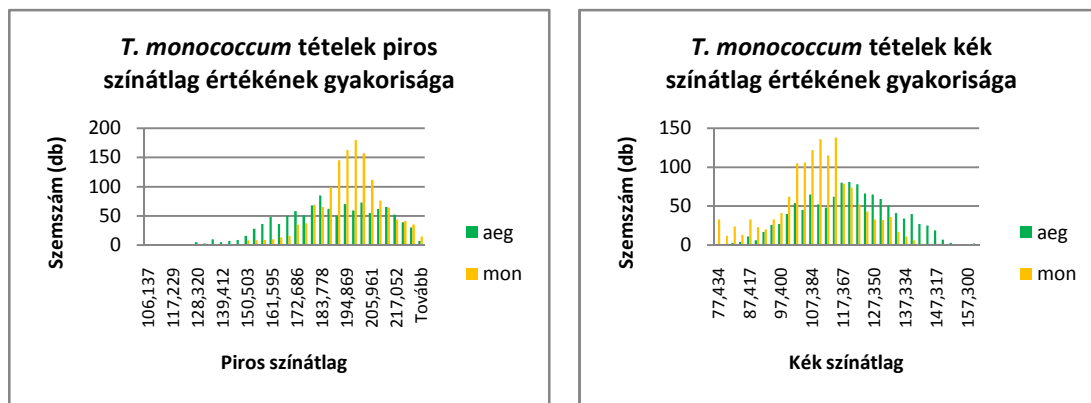


17. ábra. A vad és házasított alakor képarányának hisztogramja.

A képarányt, mint arányszámot elsősorban a genetikai információk határozzák meg, a környezeti tényezők csupán szélsőséges esetekben vannak hatással az értékeire, ezért jó alapot ad a genetikai információk kinyerésére, az azzal kapcsolatos változásokat tükrözi és az azonosításban is jelentős szerepe van. A hisztogram azt mutatja, hogy a hosszúság és szélesség aránya a domesztikáció során jelentősen beszűkül és alacsonyabb értéket vesz fel a vad őshöz képest, ami a házasítás folyamán még inkább eltolódik az alacsonyabb érték irányába. Utóbbi megállapítást igazolja, hogy már a domesztikált alakor hisztogramján is megjelennek olyan értékek, a tételek tartalmaznak olyan szemeket, melyek a vad ős esetében még nem fordultak elő.

Intenzitás és színparaméterek

Az intenzitás és színparaméterek nem mutatnak a két alfaj között lényeges különbséget. Jellemzően a hisztogramok terjedelme azonos, az *aegilopoides* eloszlása a többi paramétertípushoz hasonlóan egyenletesebb, a *monococcum* szűkebb intervallumok között mozog, magasabb értékekkel (18. ábra).



18. ábra. A vad és házasított alakor piros és kék színátlagának hisztogramjai.

Összességében elmondható, hogy az alakor domesztikált és egy vad tétel morfometriai hisztogramjainak összehasonlításával nyomonkövethető a domesztikáció hatása a szemek morfológiájára. Amellett, hogy a módszer beigazolta Rovner és Gyulai módszernének alkalmazhatóságát fajon belüli rendszertani kategóriák esetén is, eszköze lehet a vad és domesztikált növények elkülönítésének is.

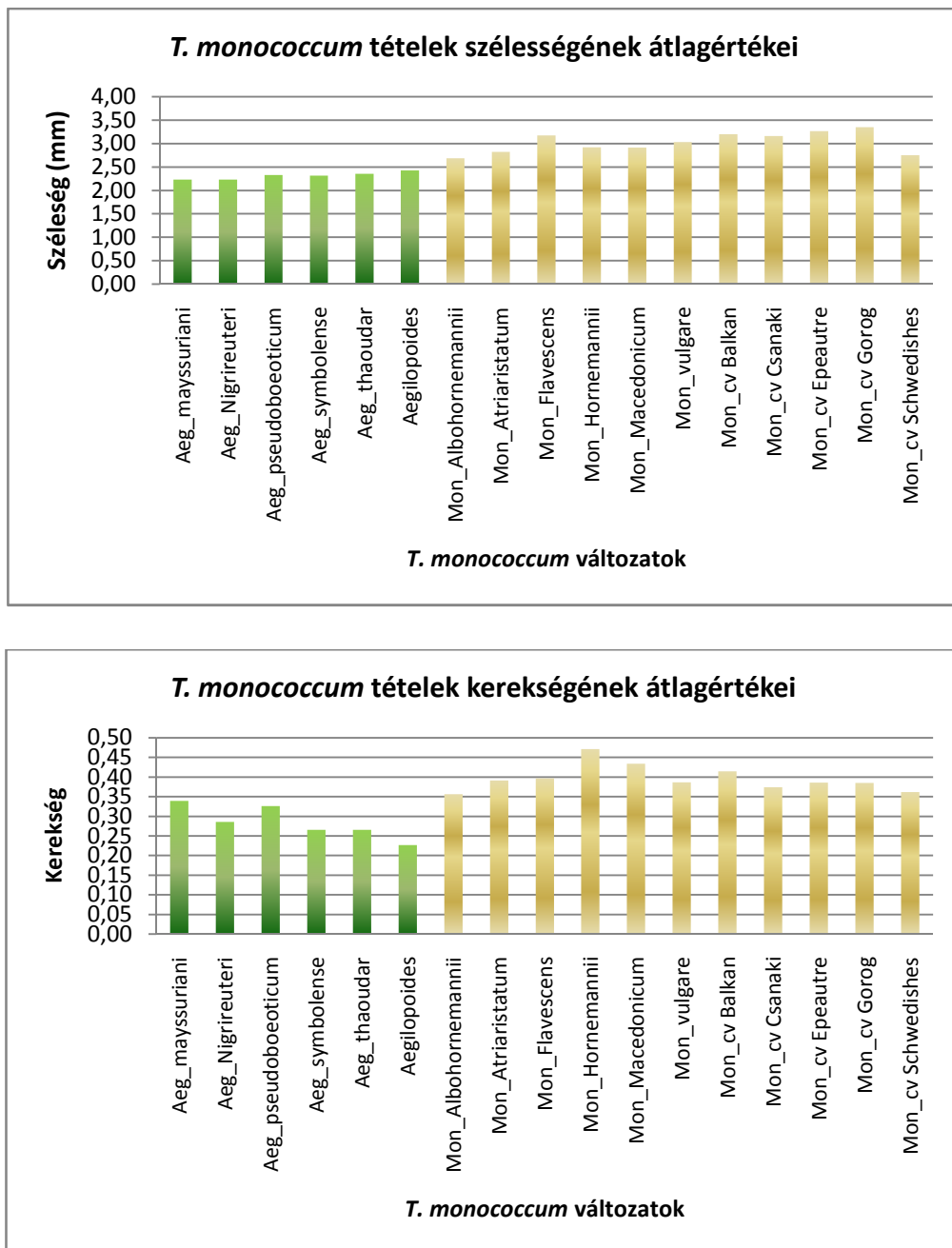
4.2.3 A *T. monococcum* subsp. *monococcum* és subsp. *aegilopoides* elkülönítése átlagértékek alapján

Az egyes tétel átlag- és szórásértékei bizonyos paraméterek esetében egy határvonal mentén elkülönülnek. Ezt összefoglalva átlagértékek alapján jellemezhető, leírható a két alfaj, az adatok határozókulcsként alkalmazhatóak (17. táblázat).

17. táblázat. A vad és házasított alakor elkülönítésére alkalmas paraméterek és átlagadatai.

Átlagértékek	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>aegilopoides</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i>
Breadth(mm)	2,556>	2,556<
Inscrib.Rad.(mm)	1,245>	1,245<
X-Feret	192,867>	192,867<
Formfactor	0,596>	0,596<
Roundness	0,347>	0,347<
Aspect Ratio	2,791<	2,791>
Radius Ratio	0,356>	0,356<
Elongation	5,179<	5,179>
WidthStd.Dev.(mm)	0,638>	0,638<

Az adatok alapján a szem szélességére, teltségére irányuló szelekció olyan mértékben hatással volt a *T. monococcum* fajra, hogy alfaj szinten a szemek szélessége, alakja átlagaiban elkülönült egymástól, de mivel a domesztikáció első lépéséről van szó, ezért még vannak olyan szemek, amelyek adatai átfedésben vannak egymással. Ugyanakkor az átlagok ilyen jellegű csoportosulása egyértelműen jelzi a szétválást és annak irányát. Olyan, mérettani szempontból jelentős paraméternél figyelhető meg a jelenség, mint a szélesség, melynek elkülönülése eléggé kifejezett ahhoz, hogy annak hatása érvényesüljön az alaktani paraméterekben is, ahol a szétválás még erőteljesebben jelentkezett (19. ábra).



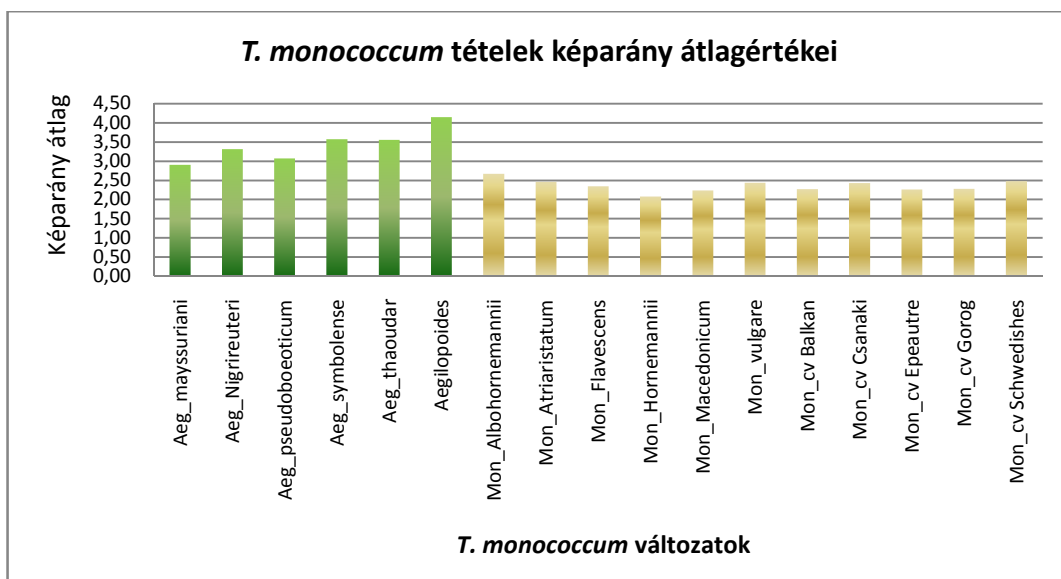
19. ábra. A vizsgált *T. monococcum* tételek szélességi és kerekégi átlaga

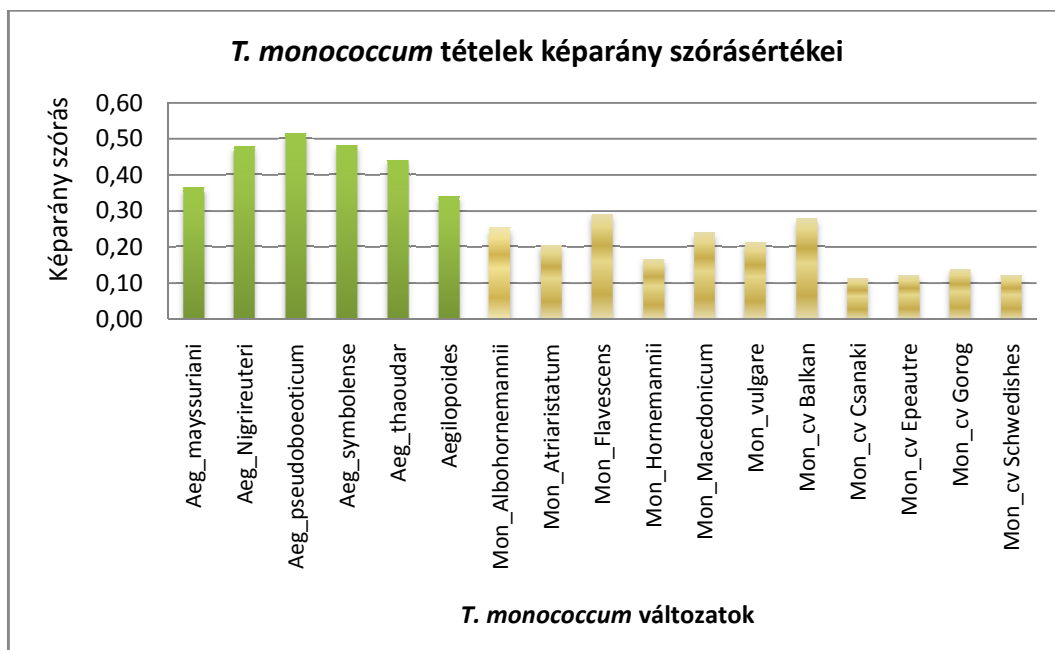
Az átlagértékek mellett a tételek egyes paraméterekre vonatkozó szórásaiban is megfigyelhető választóvonal az átlagértékek között. A szórások esetében minden paraméterre jellemző, hogy a magasabb szórásértékek a 19. ábrán zöld színnel jelölt *aegilopoides* alfajhoz tartoznak, ami egy újabb megközelítéssel igazolja annak diverzitását az ábrán sárga színnel szereplő *monococcum* tételekhez viszonyítva (18. táblázat).

18. táblázat. A vad és háziasított alakor elkülönítésére alkalmas szórásértékei.

Szórásértékek	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>aegilopoides</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i>
Area (mm ²)	2,246<	2,246>
Length(mm)	0,600<	0,600>
Equiv.Diam.(mm)	0,353<	0,353>
Circum.Rad.(mm)	0,301<	0,301>
Perimeter(mm)	1,403<	1,403>
Convex Perim.(mm)	1,269<	1,269>
Y-Feret	46,416<	46,416>
Aspect Ratio	0,317<	0,317>
MeanHue	1,385<	1,385>
Min.Intensity	17,196<	17,196>
IntensityStd.Dev.	4,1395<	4,1395>

A paraméterek közül az egyetlen, amelynél az átlag és szórás átlagértékei alapján is elkülönül a képarány. A szem hosszúságának és szélességének hányadosa az a tulajdonság, amelyben a *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* a leginkább eltér a domesztikált *T. monococcum* subsp. *monococcum* tétteleitől (20. ábra).





20. ábra. A vizsgált tételek képarányának átlag-és szórásértékei.

Az adatok segítséget nyújthatnak egy ismeretlen tétel alfajszintű taxonómiai besorolásában, de mivel itt átlag és szórásértékekről van szó, ez csak olyan esetben alkalmazható, ha az ismeretlen minta nagyobb elemszámú (minimum 50 elem tétleneként), egy adott mag esetében csak támpontot nyújthat.

4.3 Egy ismeretlen taxonómiai besorolású mag meghatározása, besorolása varietas szinten

A morfometriai módszer nyújtotta lehetőségek azon felül, hogy információt szolgáltatnak a szemek tulajdonságairól, a populációkról, faj szintű beazonosítást is lehetővé tesznek (Rovner és Gyulai 2007). Céлом volt megvizsgálni, hogy milyen mértékben lehetséges rendszertanilag a fajon belüli beazonosítás, emellett a módszer gyakorlatban való hasznosíthatósága szempontjából számos előnyt jelenthet, ha alkalmas már egyetlen mag azonosítására is. A génbankba beérkező új tételek esetében ennek az a jelentősége, hogy amennyiben a minta inhomogén, az szemenként beazonosítható, így elkerülve a hibás meghatározást és letárolást. A szemenkénti azonosítás jelentősége a régészet minták esetében is nagy jelentőséggel bír. Nagyobb elemszámú régészeti lelet domesztikációs vagy alfaj szinten történő besorolása az ismertett eredmények alapján elvégezhető, de a régészek által feltárt szennült minták alakorból sok esetben csak néhány szemet tartalmaznak, ezért azok fajon belüli meghatározása csak olyan módszerrel lehetséges, amely képes egyetlen magot is besorolni a megfelelő rendszertani kategóriába. Mivel a paraméterek között

nem volt olyan, amely adatai alapján a tételek mintaelem szinten átfedés nélkül elkülönülnek, ezért összetett módszer kidolgozására volt szükség. A vizsgálat során kidolgozott módszer lépései az alábbiak:

Előzetes számítások:

1. A számításokat a mért paraméterek terében végezzük, 42 dimenziós mintatérben
2. Összefoglaló táblázat készítése a 17 vizsgált minta átlagértékeiről a 42 paraméter esetében
3. A Minimum- és, Maximumértékek, valamint a Terjedelem Maximális értékre vetített arányának feltüntetése
4. Az egyes mintákon mért paraméterek terjedelmének 30% felettiként való előírásával a dimenziószám 25-re csökken, így a pontosság maximálisan 10%-al növelhető
5. A paraméterértékek normalizálása (1-re)
6. A minták átlagtól való négyzetes eltérésének kiszámítása

Számítások ismeretlen minta esetén:

1. Ismeretlen minták paramétereinek lemérése
2. Az előzetes számításokban 5-ös és 6-os pontban jelölt számítások elvégzése az ismeretlen mintára
3. A 42 vagy 25 dimenziós térben az ismeretlen minta távolságának kiszámítása az egyes osztályoktól (paraméterek négyzetes különbségének az összege vagy paraméterek négyzetes különbségének az összege súlyozva)
4. Az előző pontban számított minimális érték azonosítása
5. A minimális értéket mutató osztállyal azonosítható az ismeretlen minta

A fent ismertetett módszerrel 85%-os biztonsággal taxonómiailag besorolható egy ismeretlen minta varietas szinten (M5). Egy ismeretlen alakorszem beazonosítása lehetővé válik informatikai módszerekkel, pontosan, gyorsan és objektív módon, támogatva a régészeti beazonosítást, génbanki tárolást.

4.4 Egy ismeretlen taxonómiai besorolású mag besorolásának pontosítása súlyozott Euklideszi-térben

A taxonómiai besorolás egyetlen szem estében kulcsfontosságú, az esetleges hibák a génbankban tárolt minták keveredését, ez által átkereszteződését okozhatják,

régészeti leletek esetében pedig téves következtetésekhez vezetnek. Ennek okán célom volt a módszer tökéletesítése, a besorolást végző rendszer pontosítása. A lehető legpontosabb felvétel rögzítése a tételekről és releváns paraméterek felismerése, a félrevezető, vagy nem használható paraméterek kizárása is ezt a célt szolgálta. Miután a módszerben csak azok a paraméterek maradtak, amelyek az elkülönítésben szerepet játszanak, további pontosításra ad lehetőséget azok súlyozása aszerint, hogy matematikailag igazoltan mekkora szerepük van az adott tétel leírásában. Erre ad lehetőséget a Főkomponens Analízis elvégzése. Az adatok elemzése alapján az alábbi eredményt kaptam (19. táblázat):

19. táblázat. A tételek mérési adatain lefuttatott Főkomponens analízis eredményei.

Component	Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	20.979	37.462	37.462
2	14.762	26.361	63.823
3	7.585	13.545	77.368
4	3.819	6.820	84.188
5	2.791	4.985	89.173
6	1.550	2.767	91.940
7	1.333	2.381	94.320
8	1.051	1.877	96.198

Ez alapján 8 komponens a variancia 96,198%-át megmagyarázza. A 8 komponensre vonatkozó komponensmátrixban leírt súlyozási értékek közül minden paraméter esetében az előforduló legmagasabb értéket használtam fel a besorolás pontosításához. Az így korrigált módszer lépései megegyeznek a fentiekben ismertetett módszerrel, kiegészítve egy utolsó lépéssel. A minták átlagtól való négyzetes eltérésének kiszámítását követően a kapott értékeket paraméterenként megszoroztam a Főkomponens Analízisben kapott súlyértékekkel. Az így kapott táblázat tételenkénti összegének legalacsonyabb értéke mutatja meg az ismeretlen mintához tartozó tételt (M5). A módszert ismeretlen mintaként kezelt, a tételekből kiválasztott, beazonosított szemeken tesztelve azonban nem kaptam pontosabb eredményt. Azok a szemek, amelyek tévesen kerültek besorolásra az eredeti módszer által, a PCA súlyozással sem a megfelelő tételbe kerültek. Így ez a lépés elhagyható, mivel az eredmény pontosítja a besorolást, de nem jelent szignifikánsan pontosabb osztályozást.

4.5 Új és újszerű tudományos eredmények

1. Kutatómunkám során kidolgoztam egy módszertant a *T. monococcum* L. faj szemtermésének morfológiai felvételezésére kereskedelmi forgalomban kapható eszközökre alapozva, amely lehetőséget ad génbanki és régészeti alakor tételek adatainak felvételezésére és rögzítésére.
2. A kidolgozott módszertant alkalmazva készítettem egy képi adatbázist a Magyarországon tárolt tizenhét különböző varietas-ba és convarietas-ba tartozó génbanki *T. monococcum* L. tételről. Az így felvételezett 2545 db alakorszemről 42 paraméter adatait rögzítettem, melyek közül 11 mérettani, 20 alakotani és 11 színre és intenzitásra vonatkozó adatokat írtam le. Az így elkészített adatbázis alapja lehet későbbi azonosítási és elemzési kutatásoknak.
3. Az elkészített adatbázis alapján igazoltam, hogy taxonómiai szinttől függetlenül, alfajok esetében is jellemző, hogy a szemek mérettani adatainak hisztogramjai vad populáció esetén multimodálisak, domesztikált populáció esetén unimodálisak.
4. Leírást készítettem a domesztikáció morfológiai hatásairól a *T. monococcum* L. faj esetében.
5. Kidolgoztam egy morfológiai adatbázison alapuló, Euklideszi-térben végzett, legközelebbi-szomszéd alapú taxonómiai osztályozási módszert, amely lehetővé teszi egy *T. monococcum* L. szem taxonómiai besorolását varietas szinten. A módszer pontosításához a legközelebbi-szomszéd alapú osztályozási módszer számításait elvégeztem a súlyozott Euklideszi-térben is, az eredmények alapján azonban ez a módszer érdemben nem növelte a pontosságot, így ez a lépés elhagyható, mivel nem vezet szignifikánsan pontosabb osztályozáshoz.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A vizsgálatok során bebizonyosodott, hogy a morfometria módszere alkalmas növényi termékek alapján végzett adatgyűjtésre, elemzésre, ismeretlen tételek taxonómiai besorolására, a *T. moncoccum* L. faj esetében varietas szinten is.

Az itt bemutatott módszer alkalmas az alakor és más gabonák vizsgálatára, lehetőséget nyújtva annak adaptálására további, külföldről származó alakortételek és a hazai génbankokban tárolt *Triticum* tételek felvételezéséhez. A módszer minimális átalakítással más növényfajok termésének, magjának felvételezésére is alkalmas lehet, egyedileg igazítva azok *Triticum*-tól való méret- vagy színbeli eltéréseihez. A szemek digitális képi és morfometriai adatainak rögzítése része lehet a génbanki tárolás kötelező rutinprotokolljának, a kinyert adatok internetes adatbázis formájában való közzététele alapot adhat számos vizsgálatnak a természettudományok legkülönbözőbb területein.

A kapott adatok az itt látott, domesztikációs és evolúciós hatást vizsgáló elemzésén túl alkalmasak széleskörű populációgenetikai vizsgálatokra. Kontrollált kísérlet esetén vizsgálható továbbá az egyes környezeti tényezők, irányított keresztezések, genetikai beavatkozások hatása a morfológiai tulajdonságokra. Emellett más fajok bevonásával a domesztikációs vagy evolúciós változások is tovább elemezhetők. A *Triticum* nemzetség más, a házasítás különböző szinten lévő fajait, fajtáit, tételeit vizsgálva a különböző hatások mértéke is meghatározható az egyes domesztikációs fokozatokhoz rendelve.

Emellett az egyedi, szemenkénti azonosítást biztosító számítási rendszer tovább bővíthető, pontosítható. Az adatbázisok bővítésével a módszer lehetőséget adhat egy neurális hálózat alapú osztályozásra épülő Mesterséges Intelligencia automatizált taxonómiai azonosító rendszer kidolgozásához, amely a génbankokban, régészeti leletek esetében egyedülálló lehetőségeket biztosítana nagy elemszámú minták képi és numerikus adatainak rögzítésére és a tételek taxonómiai besorolására. Mindez az elkészített adatbázis alapján gyakorlatban is megvalósítható.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatómunkám során kidolgoztam egy módszertant a *T. monococcum* L. faj szemtermésének morfológiai felvételezésére kereskedelmi forgalomban kapható eszközökre alapozva, amely lehetőséget ad génbanki és régészeti alakor tételek adatainak felvételezésére és rögzítésére. A módszer segítségével nagy számú tétel felvételezése lehetséges rövid idő alatt, a digitális módszer pontosságával rögzíthetőek a képi és numerikus adatok akár ezredmilliméter pontossággal.

A kidolgozott módszertant alkalmazva készítettem egy morfológiai adatbázist a Magyarországon tárolt génbanki *T. monococcum* L. tégelekről. Tizenhét különböző varietas-ba és convarietas-ba tartozó tételről készítettem felvételeket, 12 tétel esetében 192-es, öt convarietas esetében 50-es elemszámmal. Az így felvételezett 2545 alakorszemről 42 paraméter adatait rögzítettem, melyek közül 11 mérettani, 20 alakotani és 11 színre és intenzitásra vonatkozó adatokat írtam le. Az elkészített adatbázist felhasználva

- megvizsgáltam, hogy a kinyert információk alkalmasak a domesztikált és vad alfaj elkülönítésére magmorfológia alapján,
- alátámasztottam, hogy a tétel átlagai és szórásai alapján egyes paraméterek határozókulcsként lehetővé teszik egy legalább 50-es elemszámú alakorminta alfaj szintű taxonómiai besorolását.
- megállapítottam, hogy az elkészített hisztogramok információt szolgáltatnak a domesztikációs folyamat *T. monococcum* L. szemekre gyakorolt hatásáról is.

Korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy a digitális morfológia alkalmas növények faj szintű elkülönítésére terméseik, magjaik vizsgálatával, célom volt ezt intraspecifikus szinten is igazolni. Annak érdekében, hogy a rendelkezésre álló adatbázis ne csak populációvizsgálatokra legyen alkalmas, és egyed szintű besorolást lehetővé tegyen, a Legközelebbi-szomszéd alapú osztályozási módszert alkalmaztam, Euklideszi- és súlyozott Euklideszi térben egy ismeretlen minta varietas szintű besorolására. A számítás alapja lehet egy MI alapú magfelismerő rendszer létrehozásának, ami lehetővé teszi a régészeti és génbanki azonosítást, pontos, gyors és automatizált módon, kiválva a sok esetben lassú, emberi hibákkal terhelt hagyományos módszereket.

7. SUMMARY

During my research I elaborated a novel methodology based on commercially available devices for the morphometric assessment of the grain crop of *T. monococcum* L. enabling for the description and the recording of data of einkorn items located in gene banks or at archaeological sites. The advantage of the method is that a huge number of items can be described within a short period of time. Visual and numeric data can be recorded as accurately as with digital methods, even with an accuracy level of 0.001 mm.

By using the elaborated methodology I made a morphometric database of *T. monococcum* L. accessions stored in gene banks in Hungary. I made pictures of the accessions belonging to 17 different varietas and convarietas categories by investigating 192 seeds in the case of 12 items and 50 seeds in the case of 5 convarietas level investigations. I recorded the data of 42 different parameters of the described 2545 einkorn seeds from which 11 were dimensional, 20 were morphological and 11 were colour and intensity related data. By using the developed database:

- I investigated if the gained information is suitable for the differentiation of domesticated and wild subspecies based on seed morphometry,
- I confirmed that based on the means and the standard deviations of the items some of the parameters can be used for taxonomic classification up to the subspecies level by using an einkorn sample consisting of at least 50 seeds,
- I stated that the developed histograms also provide information on the impacts of domestication on the grains of *T. monococcum* L..

Former studies had already revealed that digital morphometry is suitable for the species level differentiation of plants through the analysis of their crops and seeds, but now my objective was to prove this also beyond the species level. In order to make the database also suitable for individual level classification besides population analyses I used the nearest neighbour classification method in Euclid and weighed Euclid spaces for the varietas level classification of an unknown sample. The database and the performed calculations can become the basis of a seed recognition system based on artificial intelligence enabling for the identification of archaeological and gene bank items in an accurate, rapid and automated way replacing the often slow traditional methods also including human errors.

Mellékletek

M1. Irodalomjegyzék

ANDERSON P. C. (1992): Préhistoire de l'agriculture: nouvelles approches expérimentales et ethnographiques. Monographie du Centre de Recherches Archéologiques 6. Éditions du CNRS, Paris.

ANDERSON-GERFAUD P., DEPAPRAHAMIAN G., WILLCOX G. (1991): Les premières cultures de céréales sauvages et domestiques primitives au Proche-Orient Néolithique: résultats préliminaires d'expériences à Jalès (Ardèche). Cahiers de l'Euphrate 5-6 191-232. p.

ÁNGYÁN J., MENYHÉRT Z. (2004): Alkalmazkodó növénytermesztés, környezet- és tájgazdálkodás. Budapest: Szaktudás Kiadóház, 559 p.

BACCHETTA G., GRILLO O., MATTANA E., VENORA G. (2008): Morpho-colorimetric characterization by image analysis to identify diaspores of wild plant species. In: *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 203 (8) 669-682 p.

BACCHETTA G., FARCI M., GRILLO O., LOVICU G., ORRÚ M., VENORA G. (2009): Image analysis a new tool for pips morpho-colorimetric measurements of the Sardinian landraces of *Vitis vinifera* L. subsp. *vinifera*. 47-49 p. In: Abstract book of 45th International Congress of SISV & FIP. Biodiversity hotspots in the Mediterranean area. Cagliari, 22-29 June 2009

BACCHETTA G., GRILLO O., LOVICU G., ORRÚ M., PIAZZA G., RAVALLI C., VENORA G. (2010): Pips image analysis to support cultivar identification of *Vitis vinifera* L. 30-35 p. In: Abstract book of CIGR workshop on image analysis in agriculture. Budapest, 26-27. August 2010

BACCHETTA G., GARCIA P. E., OSCAR G., MASCIA F., VENORA G. (2011a): Seed image analysis provides evidence of taxonomical differentiation within the *Lavatera triloba* aggregate (Malvaceae). In: *Flora - Morphology Distribution Functional Ecology of Plants* (206) 468-472. p.

BACCHETTA G., FENU G., GRILLO O., MATTANA E., VENORA G. (2011b): Seed identification by image analysis technique: a testing-bench in the *Astragalus* Sect. *Melanocercis* Bunge (Fabaceae). In: *Annales Botanici Fennici* (48) 449-454 p.

BALÁZSFALVI G. (2004): Neurális hálók alkalmazása elektronikus beléptető rendszerekben. In: *Képfeldolgozók és Alakfelismerők IV. Konferenciája*: Miskolctapolca, 2004. január 28-30.

BALL T. B. (1992): Phytolith morphometrics: the use of image analysis for morphologic and systematic study of various grass phytoliths (*Bouteloua*, *Panicum*, *Zea*, and *Triticum*). PhD thesis, Brigham Young University.

BAMAKHRAMAH H. S., HALLORAN G. M., WILSON J. H. (1984): Components of yield in diploid, tetraploid and hexaploid wheats (*Triticum* spp.). In: *Ann. Botany* 54 51-60. p.

BENEDEK CS., SZIRÁNYI T. (2004): Személyek követése a járásminta számítógépes analízisével. In: Képfeldolgozók és Alakfelismerők IV. Konferenciája: Miskolctapolca, 2004. január 28-30.

BERKE J. (1994a): Digitális képfeldolgozás alkalmazása mezőgazdasági kísérletek értékelésében. Kandidátusi értekezés tézisei. Keszthely: Pannon Agrártudományi Egyetem, 29 p.

BERKE J. (1994b): Digitális képfeldolgozás alkalmazása mezőgazdasági kísérletek értékelésében. Kandidátusi értekezés. Keszthely: Pannon Agrártudományi Egyetem, 109 p.

BERKE J., PAIS CS., HOFFMAN P. (2000a): Strukturális és morfológiai jellemzők vizsgálata faipari képfeldolgozó rendszerekben. 125-130. p. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos konferenciája: Noszvaj, 2000. január 20.

BERKE J., CSETVERIKOV D., FAZEKAS A., GÁCSI Z., SZABÓ J., SZIRÁNYI T. (2000b): Képfeldolgozás alkalmazásának eredményei Magyarországon. In: Magyar Informatikusok II. Világtalálkozója: Budapest, 2000. június 5-8.

BERKE, J. (2002): Számítógépes grafika, Elektronikus oktatási segédlet v2.0, KvarK Számítástechnikai Bt, Keszthely

BERKE, J. , KELEMEN D., KOZMA-BOGNÁR V., MAGYAR M., NAGY T., SZABÓ J., TEMESI T. (2010): Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai (v7.0 DVD melléklettel). Keszthely: KvarK Számítástechnikai Bt, 217 p.

BERKE J., PENKSZA K., GYULAI F., FERENCZ Z. (2013): Intelligens magfelismerő rendszer az oktatásban. 26-28. p. In: XIX. Multimédia az oktatásban konferencia előadások: Kassa, 2013 június 13-14.

BLANCO A., GIORGI G., PERRINO P., SIMEONE R. (1990): Genetic resources and breeding for improved quality in durum wheat. [In Italian]. In: *Agricoltura e ricerca* 12 41-58. p.

BOTTEMA S. (1992): Cereal-type pollen in the Near East as indicators of wild or domestic crops. 95-111 p. In: *Préhistoire de l'agriculture* (P. C. Anderson, ed.). Monographie du Centre de Recherches Archéologiques 6. Éditions du CNRS, Paris.

BRINKKEMPER O., VAN DER MAATEN L., Boon P. (2011): Identification of *Myosotis* seeds by means of digital image analysis. In: *Vegetation History and Archaeobotany*. 20 435-445. p.

BROUWER W., STÄHLIN A. (1975): Handbuch der Samenkunde für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwirtschaft mit einem Schlüssel zur Bestimmung

der wichtigsten landwirtschaftlichen Samen. 2. Aufl. Frankfurt (Main): DLG-Verlag. 655 p.

BROWN A. H. D., FRANKEL O. H., MARSHALL D. R., WILLIAMS J. T. (1989): The Use of Plant Genetic Resources. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

BUZÁSI T., HAJDU A. (2007): Képi felderítés katonai alkalmazása. 97-103. p. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos konferenciája: Debrecen, 2007. január 25-27.

CADLE M.M., MURRAY T.D., JONES S.S. (1997): Identification of resistance to *Pseudocercospora herpotrichoides* in *Triticum monococcum*. *Plant Disease*, 81 1181–1186. p.

CASTAGNA M., MAGA G., PERENZIN M., HEUN M. (1994): RFLP-based genetic relationships of Einkorn wheats. In: *Theoretical and Applied Genetics*, 88 818-823. p.

CASTAGNA R., BORGHI B. , HEUN M., SALAMINI F. (1996): Integrated approach to einkorn wheat breeding.183-192. In: PADULOSI S. HAMMER K. HELLER J. (Szerk.) *Hulled wheats*. Rome (Italy): International Plant Genetic Resources Institute. 263 p.

CHARMET G. (2011): Wheat domestication: Lessons for the future. In: *Comptes Rendus Biologies*, 334 212-220. p.

CONRAD R. (2001): Method for determining seedling quality. Szabadalom.- USA, 2001. május 22.

CZUCZOR SZ. (2007): Video based, robust road traffic evaluation system. 200-206. p. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos konferenciája: Debrecen, 2007. január 25-27.

CZÚNI L., SZIRÁNYI T., LICSÁR A., HANIS A., SCHANDA J., KRÁNICZ B., FARKAS P. (2002): Digitális Mozgóképhelyreállító Rendszer Filmarchívumok Számára (DIMORF). In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos konferenciája: Domaszék, 2002. január 25-27.

CSEPELI ZS., GÁCSI Z. (2002): Acél széles szalagok szövetszerkezetének morfológiai jellemzése. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos konferenciája: Domaszék, 2002. január 25-27.

CSETRI E. (1996): Reform és gazdaság. In: *Wesselényi Miklós gazdasági eszméi és zsidói uradalmának modernizálása*, 58 (3-4) 201-218. p.

CSOMAI I., SZABÓ J. (2000): Képfeldolgozás alkalmazása in vivo kísérletek kiértékelésben. 75-76. p. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos konferenciája: Noszvaj, 2000. január 20.

- CSOMAI I., SZABÓ G., SZABÓ J. (2002): Színes képosztályozás alkalmazása szívatültetés során fellépő károsodást csökkentő anyagok hatásának vizsgálata során. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos konferenciája: Domaszék, 2002. január 25-27.
- DAVIS P. H. (Szerk.) (1985): Flora of Turkey and the East Aegean Islands. 9 232-255. p.
- DAVIES M. S., HILLMAN G.C. (1988): Effects of soil flooding on growth and grain yield of populations of tetraploid and hexaploid species of wheat. In: *Annals of Botany* 62 597-604. p.
- DOEBLEY J. F., GAUT B.S., SMITH B.D. (2006): The molecular genetics of crop domestication. *Cell*, 127 1309–1321. p.
- DOROFEEV V. F., FILATENKO A. A., MIGUSHOVA E. F., UDASHIN R. A., JACUBZINER R. R. (1979): Wheat. Flora of Cultivated Plants I. Leningrad, Kolos, Russia.
- DRAPER S. R., TRAVIS A. J. (1984): Preliminary Observations with a Computer Based System for Analysis of the Shape of Seeds and Vegetative Structures. In: *Journal of the National Institute of Agricultural Botany*, 387-395. p.
- DUNSTONE R. L., EVANS L. T. (1974): Role of changes in cell size in the evolution of wheat. In: *Am. J. Plant Physiol.* 1 157-165. p.
- EDWARDS K. J. (1989): The cereal pollen record and early agriculture. 113-135. p. In: *The Beginnings of Agriculture* (A. Milles, D. Williams and N. Gardner, eds.). International Series 496. BAR, Oxford.
- EIG A. (1929): Monographisch-kritische Übersicht der Gattung *Aegilops*. Feddes Repert. spec. nov. reg. veg. Beih. 55 1-228. p.
- EMŐDI A. (2011): Az alakor és tönke termesztésbe való visszahozatalának vizsgálata. Diplomamunka. Gödöllő: Szent István Egyetem, 63 p.
- EMŐDI A., GYULAI G., VINOGRADOV SZ., MRAVCSIK Z., GYULAI F., ROVNER I. (2015): Digitális magmorfometria II. – Az alakor (*Triticum monococcum* L.) két alfajának (*T. m.* subsp. *aegilopoides*, *T. m.* subsp. *monococcum*) magmorfometriai jellemzése. In: *Növénytermelés*, 23-37. p.
- EMPILI S., CASTAGNA R., BRANDOLINI A. (2000): Morpho-agronomic variability of the diploid wheat *Triticum monococcum* L. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 124 36–40. p.
- ERDŐHELYI B., VARGA E., KUBA A. (2007): Műtéti tervek biomechanikai analízise. 19-24. p. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos konferenciája: Debrecen, 2007. január 25-27.

ERDŐHELYI B., VARGA E. (2009): Törött csontfelületek illesztése. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Társaságának 7. konferenciája: Budapest, 2009. január 28-30.

EUROPEAN WHEAT DATABASE. <http://genbank.vurv.cz/ewdb/>

EVANS L. T., DUNSTONE R. L. (1970): Some physiological aspects of evolution in wheat. In: *Australian J. Biological Sci.* 23 725-41. p.

EVANS L. T. (1976): Physiological adaptation to performance as crop plants. In: *Philosophical Trans. of the Royal Society of London. Series B.* 275 71-83. p.

EVANS L. T. (1993): Crop Evolution, Adaptation and Yield. Cambridge University Press, Cambridge.

FAZEKAS A., HAJDU A. (2002): Extracting Feature Vectors for Character. 272-278. p. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos konferenciája: Domaszék, 2002. január 25-27.

FISHER R. A. (1936): The use of multiple measurements in taxonomic problems. In: *Annals of eugenics*, 179-188. p.

FISHER R. A. (1940): The precision of discriminant functions. In: *Annals of eugenics*, 422-429. p.

FLAKSBERGER K. (1929): Fedde Repert. In: *Beih.* 56 102-123. p.

FLAKSBERGER K. (1935): Wheat. A monograph. Szelhözgiz, Leningrad.

FRANKEL O. H. (1973): *Survey of crop genetic resources in their centres of diversity*. First report. FAO and IBP, Rome, Italy.

FRANKEL O. H., BENNET E. (1970): Genetic resources in plants - their exploration and conservation. In: *International Biological Programme Handbook No. 11*. Blackwell, Oxford and Edinburgh, UK.

FRANKEL O. H. AND HAWKES J. G. (1975): Crop genetic resources for today and tomorrow. In: *International Biological Programme 2*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

GARCILA DEL MORAL L. F., SOPENA A.; MONTROYA J. L., POLO P., VOLTAS J., CODESAL P., RAMOS M., CANO J. L. (1998): Image analysis of grain and chemical composition of the barley plant as predictors of malting quality in Mediterranean environments. In: *Cereal Chemistry*, 75 755-761.p.

GÁCSI Z., SÁRKÖZI G. (2002): Sztereológia és képelemzés anyagtudományi alkalmazása. 162.174. p. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos konferenciája: Domaszék, 2002. január 25-27.

GENEBANK STANDARDS FOR PLANT GENETIC RESOURCES FOR FOOD AND AGRICULTURE, COMMISSION ON GENETIC RESOURCES FOR FOOD AND AGRICULTURE: 2013

GOMES JUNIOR, F. G., CICERO, S. M., Chamma H. M. C. P. (2014): Automated image analysis of seedlings for vigor evaluation of common bean seeds. In: *Acta Scientiarum Agronomy*, 36 (2) 195-200. p.

GONG F., KARSAI I., LIU Y.S. (2010): *Vitis* seeds (Vitaceae) from the late Neogene Gray Fossil Site, northeastern Tennessee, USA. In: *Review of Palaeobotany and Palynology*. 162 (1) 71-83. p.

GORHAM J., BRISTOL A., YOUNG E. M., WYN JONES R. G. (1991): The presence of the enhanced K/Na discrimination trait in diploid *Triticum* species. In: *Theoretical and Applied Genetics*, 82 729-736. p.

GÖKGÖL M. (1955): Bugdayların Tasnif Anahtarı. Ziraat Vekaleti Yayın. No:716, Istanbul, Turkey.

GRAINGENES DATABASE. <https://wheat.pw.usda.gov/ggpages/GrainTax/index.shtml>

GRILLO O., MATTANA E., VENORA G., BACCHETTA G. (2010): Statistical seed classifiers of 10 plant families representative of the Mediterranean vascular flora. In: *Seed Science and Technology*, 38 455-476. p.

GRILLO O., MICELI C., VENORA G. (2011): Image analysis tool for vetch varieties identification by seeds inspection. In: *Seed Science and Technology*, 39 490-500. p.

GRÓSZ G. (2010): Digitális képfeldolgozás alkalmazása üvegházi és szabadföldi kísérletek kiértékelésénél. Doktori Disszertáció. Keszthely : Pannon Egyetem Állat- és Agrárkörnyezet-tudományi Doktori Iskola, 167 p.

GUARINO L., RAMANATHA R. V., REID R. (1995): Collecting plant genetic diversity: technical guidelines. CAB International, Wallingford, UK.

GUNDA B. (1966): A sütőkövek és ősi kenyérfélék. In: *Ethnographica Carpathic*, 296-332. p.

GUZMÁN C., CABALLERO L., ALVAREZ J. (2009): Variation in Spanish cultivated einkorn wheat (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) as determined by morphological traits and waxy proteins. In: *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56 601-604. p.

GYULAI F. (2009): A tönkölybúza története. 6-30 p. In: PASZTERNÁK F. (Szerk.): *Az ezerarcú tönkölybúza*. Budapest: Mezőgazda kiadó, 89 p.

GYULAI F. (2010): Archaeobotany in Hungary. Seed, Fruit, Food and Beverages Remains in the Carpathian Basin: an Archaeobotanical Investigation of Plant

Cultivation and Ecology from the Neolithic until the Late Middle Ages. Archaeolingua, Budapest, 479 p.

GYULAI F. (2018): Alakor, a preventív gabona. A Magyar Elhízástudományi Társaság XXVI. Kongresszusa. Budapest, 2018. november 30. *Obesitologia Hungarica* 17 (2018), Supplementum 1, 1-28., 20.

HAJDER L., KARDOS I., CSETVERIKOV D., RENNER G. (2004): Aktív kontúrok és Fast Marching eljárás alkalmazása az orvosi képfeldolgozásban. 90-96. p. In: *Képfeldolgozók és Alakfelismerők IV. Konferenciája: Miskolctapolca, 2004. január 28-30.*

HAMMER K. (1980): Vorarbeiten zur monographischen Darstellung von Wildpflanzensortimenten: *Aegilops* L. In: *Kulturpflanze* 28 33-180. p. [in German].

HAMMER K., NEUMANN M., KISON H.U. (1996): Pre-breeding work on einkorn - cooperation between genebank and breeders. 200-204. In: PADULOSI S.HAMMER K.HELLER J. (Szerk.) *Hulled wheats*. Rome (Italy): International Plant Genetic Resources Institute. 263 p.

HANELT P., HAMMER K. (1995): Classifications of intraspecific variation in crop plants. 113-120. p. In: GUARINO L., RAMANATHA R, V., REID R. (SZERK.): *Collecting plant genetic diversity: technical guidelines*, Cambridge

HARLAN J. R. (1967): A wild wheat harvest in Turkey. In: *Archeology* 20 197-201. p.

HARLAN J. R., ZOHARY D. (1966): Distribution of wild wheats and barley. In: *Science*, 153 1074-1080. p.

HAWKES J. G., MAXTED N., FORD-LLOYD B. V. (2000): *The ex situ conservation of plant genetic resources*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.

HEUN M., HALDORSEN S., VOLLAN K. (2008): Reassessing domestication events in the Near East: einkorn and *Triticum urartu*. *Genome*, 51 444–451. p.

HILLMAN G. (1975): The plant remains from Tell Abu Hureyra: A preliminary report. In: *Proc. Prehist. Soc.*, 41 70-73. p.

JAASKA V. (1993): Isoenzymes in the evaluation of germplasm diversity in wild diploid relatives of cultivated wheat In: Damania, A. B. (Szerk.): *Biodiversity and Wheat Improvement* Wiley-SayceChichester, U.K

JACOMET S. (2006): *Identification of cereal remains from archaeological sites* 2nd edition. Basel: IPAS, Basel University, 61 p.

JACQUAT C., MARTINOLI D. (1999): *Vitis vinifera* L.: wild or cultivated? Study of the grape pips found at Petra, Jordan; 150 b.c.–a.d. 40. In: *Vegetation history and archaeobotany*, 25-30. p.

JING H.C., KORNÝUKHIN D., KANYUKA K., ORFORD S., ZLATSKA A., MITROFANOVA O. P., KOEBNER R., HAMMORD KOSCAK K. (2007): Identification of variation in adaptively important traits and genome-wide analysis of trait-marker associations in *Triticum monococcum*. In: *Journal of Experimental Botany*, 58 (13) 3749–3764. p.

KAPLAN L., SMITH M. B., SNEDDON L. A. (1992): Cereal grain phytoliths of southwest Asia and Europe. 149-174. p. IN: *Phytolith Systematics: Emerging Issues* (G. Rapp and S.C. Mulholland, eds.). *Advances in Archaeological and Museum Science* 1. Plenum, New York, NY.

KELEMEN D., SZABÓ J. (2000): Automatikus mikrobiológiai-válasz kiértékelő rendszer. 155-156. p. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos konferenciája: Noszvaj, 2000. január 20.

KIHARA H. (1954): Considerations on the evolution and distribution of *Aegilops* species based on the analyser-method. In: *Cytologia* 19 336-319. p.

KILIAN B., ÖZKAN H., WALTHER A., KOHL J., DAGAN T., SALAMINI F., MARTIN W. (2007): Molecular diversity at 18 loci in 321 wild and 92 domesticate lines reveal no reduction of nucleotide diversity during *Triticum monococcum* (Einkorn) domestication: implications for the origin of agriculture. *Molecular Biology and Evolution*, 24 2657–2668. p.

KILIÇ K., BOYACI I. H., KÖKSEL H., KÜSMENOĞLU I. (2007): A classification system for beans using computer vision system and artificial neural networks. In: *Journal of Food Engineering*, 78 897-904. p.

KIMBER G., FELDMAN M. (1987): Wild wheat: an introduction. In: *Special Reports* 353, University of Missouri, Columbia, Mo.

KIMBER G., SEARS E. R. (1987): Evolution in the genus *Triticum* and the origin of cultivated wheat. 154-164. p. In: HEYNE E. G. (Szerk.) *Wheat and wheat improvement*, ed. 2. Madison.

KISLEV M. E. (1988): Desiccated plant remains: an interim report. In: *Atiqot* 18 76-81. p.

KISLEV M. E. (1992): Agriculture in the Near East in the VIIth millennium bc. 87-93. p. In: ANDERSON P. C. (Szerk.): *Préhistoire de l'agriculture Monographie du Centre de Recherches Archéologiques* 6. Éditions du CNRS, Paris.

KOHÁRY E. (2003): Eleven örökség - Kenyér és kásanövények a Kárpát-medencében. Budapest: Agroinform Kiadó, 99 p.

KOVÁCS G. (2009a): Az alakor ökológiai nemesítése és termesztése. In: *Biokultúra Magazin*, 5 6-7. p.

KOVÁCS G. (2009b): Új fajok a martonvásári biovetőmag kínálatban. In: *Martonvásár*, 22 (2) 26. p.

- KOVÁCS G. (2010): Az alakor organikus termesztése. In: *Martonvásár* 23 (2) 20-21. p.
- KOZMA-BOGNÁR V., SZABÓ R., BERKE J. (2013): Információtartalmú elemzések a közlekedéseredetű szennyezőanyagok hatásvizsgálatánál. In: LÓKI I. (szerk.) Térinformatika konferencia és szakkiallítás: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában konferencia kiadvány. 257-264.p. Debrecen, 2013. május 23-24.
- KÖVÁRI B., NAGY B. (2009): Statikus Aláírás-hitelesítés Dinamikus Jellemzők Rekonstrukciójával. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Társaságának 7. konferenciája: Budapest, 2009. január 28-30.
- KRAUSS F. (1943): Nöserländische Pflanzennamen: Ein Beitrag zum Wortschatz der Siebenbürger Sachsen. Beszterce/Bistritz
- KUHL F. P., GIARDINA C. R. (1982): Elliptic Fourier features of a closed contour. In: *Comput Graphics and Image Processing*, 18 (3) 259-278. p.
- LEHMANN Ch. O. (1981): Collecting European land-races and development of European gene banks – historical remarks. In: *Kulturpflanze* 29 29-40. p.
- LI W., GILL B.S. (2006): Multiple genetic pathways for seed shattering in the grasses. *Functional and Integrative Genomics*, 6 300–309. p.
- LORENZETTI F., NEGRI V. (2009): The European Seed Legislation on Conservation. In: *Bioersivity Technical Bulletin*, 15 287-296. p.
- LÖVE Á. (1984): Conspectus of the *Triticeae*. In: *Feddes Repert*, 95 425-521.. p.
- MAC KEY J. (1975): The boundaries and subdivision of the genus *Triticum*. Proc. 12th Int. Bot. Congr. Leningrad [St. Petersburg].
- MAHIDI A., MAHMOUD O., ALIREZA K., SEYED S. M. (2010): Sorting raisins by Machine Vision System. In: *Modern Applied Science*. 4 (2) 49-60. p.
- MANGAFA M., KOTSAKIS K. (1994): A New Method for the Identification of Wild and Cultivated Charred Grape Seeds. In: *Journal of Archaeological Science*, 409-418. p.
- MARINVAL P., CASSIEN M. (2001): Les pépins de raisin des épaves puniques de Nora Pula (Sardaigne) et les débuts de la viti-viniculture en Méditerranée occidentale. 121-130. p. In: MARINVAL P. (Szerk.): Histoire d'hommes. histoires de plantes (Hommages au professeur Jean Erroux) Rencontres d'Archéobotanique de Toulouse, 2001, 254 p.
- MATTANA E., GRILLO O., VENORA G., BACCHETTA G. (2008): Germplasm image analysis of *Astragalus maritimus* and *A. verrucosus* of Sardinia (subgen. *Trimeniaeus*, Fabaceae). In: *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 149-155. p.

MAXTED N., FORD-LLOYD B. V., HAWKES J. G. (1997): Complementary conservation strategies. In: MAXTED N., FORD-LLOYD B. V., HAWKES J. G. (Szerk.) *Plant genetic conservation: the in situ approach*. Chapman & Hall, London,UK. 20-55. p.

MAXTED N., VETELÄINEN M., NEGRI V. (2009): Landrace Inventories: Needs and Methodologies. In: *Bioversity Technical Bulletin*, 15 45-53. p.

MCNERTNEY D. C. (1999): System and method for measuring seed. Szabadalom. USA

MEGYERI M. (2014): Génbanki *Triticum monococcum* tételek molekuláris citogenetikai elemzése és kiaknázása a búzanemesítés számára. Doktori értekezés. Martonvásár: Szent István Egyetem, 116 p.

METAKOVSKY E. V., BABOEV S. K. (1992a): Polymorphism and inheritance of gliadin polypeptides in *T. monococcum* L.. In: *Theoretical and Applied Genetics*, 84 971-978. p.

METAKOVSKY E. V., BABOEV S. K. (1992b): Polymorphism of gliadin and unusual gliadin alleles in *T. boeoticum*. In: *Genome* 35 1007-1012. p.

MILLET E. (1988): Grain weight is largely determined by genes for spike morphology. 593- 596. p. In: *Proc. Seventh Intern. Wheat Genet. Symp.*, Cambridge, England (T.E. Miller and R.D.M. Koebner, eds.). Bath Press, Bath, Avon, UK.

MONNEVEUX P., ZAHARIEVA M., REKIKI D. (2000): The utilization of *Triticum* and *Aegilops* species for the improvement of durum wheat. *CIHEAM-Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens*, 40 71–81. p.

MONTGOMERY F. H. (1977): Seeds and fruits of plants of Eastern Canada and Northeastern United States. Toronto and Buffalo : University of Toronto Press, 232 p.

MOUDRÝ J., KONVALINA P., STEHNO Z., CAPOUCHOVÁ I., MOUDRÝ J. (2011): Ancient wheat species can extend biodiversity of cultivated crops. *Scientific Research and Essays*, 6 4273–4280. p.

NEGRI V., MAXTED N., VETELÄINEN M., (2009): European Landrace Conservation: an Introduction In: *Bioversity Technical Bulletin*, 15 1-23. p.

NESBITT M., SAMUEL D. (1995): From staple crop to extinction? The archaeology and history of the hulled wheats. 41-102. p. In: *Hulled wheat - Proceedings of the First International Workshop on Hulled Wheats: Castelvecchio Pascoli, 21-22 July 1995*, 269 p.

NISHIKAWA K., FURUTA Y., YAMADA T., KUDO S. (1992): Genetic studies of α -amylase isosymes in wheat VII. Variation in diploid ancestral species and phylogeny of tetraploid wheat. In: *Jpn J Genet*, 67 1-15. p.

NYÚL L., JAYARAM U. K. (2002): Többdimenziós MRI képek feldolgozása. 96-97. p. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők III. Konferenciája: Szeged, 2002. január 25-27.

ORRÚ M.; GRILLO O., LOVICU G., VENORA G., BACCHETTA G. (2013): Morphological characterisation of *Vitis vinifera* L. seeds by image analysis and comparison with archaeological remains. In: *Vegetation history and archaeobotany*, 22 231-242. p.

ORTIZ-FERRARA G., MOSAAD M.G., MAHALAKSHMI V., FISHER R.A. (1995): Photoperiod and vernalization response of wheat under controlled environment and field conditions. *Plant Breeding* 114 505–509. p.

PENG J. H., SUN D., NEVO E. (2011): Domestication evolution, genetics and genomics in wheat. *Molecular Breeding*, 28 281–90. p.

PÉNTEK J., SZABÓ A. (1981): Az alakor (*Triticum monococcum* L.) Erdélyben. In: *Etnographia*, 92 259-277. p.

PERRINO P., LAGHETTI G., D'ANTUONO L.F., AL AJLOUNI M., KANBERTAY M., SZABÓ A.T., HAMMER K. (1996): Ecogeographical distribution of hulled wheat species. 102–118. p. In: PADULOSI S., HAMMER K., HELLER J.(Szerk.) *Hulled wheats*. Rome (Italy): International Plant Genetic Resources Institute. 263 p.

PERSIVAL J. (1921): *The Wheat Plant*. Duckworth Co. London. 473. p.

PUGSLEY A .T. (1972): Additional genes inhibiting winter habit in wheat. *Euphytica*, 21 547–552. p.

RAFI M. M., EHDAIE B., WAINES J. G. (1992): Quality traits, carbon isotope discrimination and yield components in wild wheats. In: *Annals of Botany*, 69 467-474. p.

RAGASITS I. (1998): *Búzatermesztés*. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 53 p.

RENFREW J. M. (1969): The archaeological evidence for the domestication of plants: methods and problems. In: *The Domestication and Exploitation of Plants and Animals* (Peter J. Uoko and G.W. Dimbley, eds.). Gerald Duckworth & Co. Ltd.

RIVERA D., MIRALLES B., OBÓN C., CARREÑO E., PALAZÓN J. A. (2007): Multivariate analysis of *Vitis* subgenus *Vitis* seed morphology. In: *Vitis*, 158-167. p.

ROSEN A. M. (1992): Preliminary identification of silica skeletons from Near Eastern archaeological sites: an anatomical approach. 129-147. p. In: *Phytolith Systematics: Emerging Issues* (G. Rapp and S.C. Mulholland, eds.). *Advances in Archaeological and Museum Science* 1. Plenum, New York, NY.

ROVNER I., GYULAI F. (2007): Computer-Assisted Morphometry: A New Method for Assessing and Distinguishing Morphological Variation in Wild and Domestic Seed Populations. In: *Economic Botany*, 154-172. p.

RUSS J. C., ROVNER I. (1989): Expert vision systems in archaeometry: Rapid morphometric analysis of caotic from, shape and structure. In: *Materials research society bulletin: Microscopy for the archaeologist*, 14 (3) 140-144. p.

RUSS J. C. (2006): *The Image Processing Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 832 p.

SALAMINI F., ÖZKAN H., BRANDOLINI A., SCHÄFER-PREL R., MARTIN W. (2002): Genetics and geography of wild cereal domestication in the Near East. In: *Nature Reviews Genetics*, 3 (6) 429-442. p.

SANDEEP VARMA V., KANAKA DURGA K., KESHAVULU K. (2013): Seed image analysis: its applications in seed science research. In: *International Research Journal of Agricultural Sciences*, 1(2) 30-36. p.

SCHIEMANN E. (1946): *Weizen, Roggen und Gerste*. Engelmann. Leipzig. 104 p.

SCHIEMANN E. (1948): *Weizen, Roggen, Gerste*. In: *Systematik, Geschichte, und Verwendung*, 102. p.

SHARMA H. C., WAINES J. G., FOSTER K. W. (1981): Variability in primitive and wild wheats for useful genetic characters. In: *Crop Science*, 21 555-559. p.

SHEPPARD R (2003): *Fotó Iskola–Digitális képek*. Geographia Kiadó, pp. 14-19; 30-32.

SLAGEREN M.W. van. (1994): Wild wheats: a monograph of *Aegilops* L. and *Amblyopyrum* (Jaub. & Spach) Eig. In: *Wageningen Agric. Univ. Pap.* (7)

SMITH-HUERTA N. L., HUERTA A. J., BARNHART K., WAINES J. G. (1989): Genetic diversity in wild diploid wheats T. monococcum var. 'boeoticum' and T. urartu (Poaceae). In: *Theoretical and Applied Genetics*, 78 260-264. p.

SZABÓ J. (1999a): *Elektródaellenőrzés osztott rendszerrel*. In: *Műszaki Magazin*, 5 36-38. p.

SZABÓ J. (1999b): *Minőségellenőrzés képfeldolgozással*. In: *Műszaki magazin*, 3 44-45. p.

SZABÓ J. (2004): *Szemelvények a hazai képfeldolgozás (h)öskorából*. In: *Magyar Elektronika*, 21 (5) 58-61. p.

SZABÓ T. A. (1976): *A genetika évszázada*. Bukarest: Kriterion Könyvkiadó, 288 p.

SZABÓ T. A., HAMMER K. (1995): Notes on the taxonomy of farro. 2-41. p. In: *Hulled wheat - Proceedings of the First International Workshop on Hulled Wheats: Castelvechchio Pascoli, 21-22 July 1995*, 269 p.

SZEGHALMY SZ., KONCSIK ZS., MAROSNÉ M. B., FAZEKAS A., BARKÓCZY P. (2009): Üvegfelületek elemzése képelemző módszerrel kiegészített karcvizsgálattal. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Társaságának 7. konferenciája: Budapest, 2009. január 28-30.

SZŰCS I. (2004): Alkalmazott statisztika. Budapest: Agroinform Kiadó és Nyomda Kft., 551 p.

TANÁCS A., NAGY A., BALASKÓ M., MÁTÉ E., KUBA A., (2007): Képpontok hasonlóságán alapuló automatikus regisztrációs módszer orvosi és neutron tomográfiai alkalmazásának tapasztalatai. 25-32. p. In: NJSZT-KÉPAF. - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos konferenciája: Debrecen, 2007. január 25-27.

TERRA J., TABARD E., BOUBY L., IVORRA S., PASTOR T., FIGUEIRAL I., PICQ S., CHEVANCE J. B., JUNG C., FABRE L., TARDY C., COMPAN M., BACILIERI R., LACOMBE T., THIS P. (2010): Evolution and history of grapevine (*Vitis vinifera*) under domestication: new morphometric perspectives to understand seed domestication syndrome and reveal origins of ancient European cultivars. In: *Annals of Botany*, 443-455. p.

TSUNEWAKI K., TAKUMI S., MORI N., ACHIWA T., LIU Y. G. (1991): Origin of polyploid wheats revealed by RFLP analysis. In: SASAKUMA T., KINOSHITA T. (Szerk.): Nuclear and organellar genomes of wheat species, Khiara Memorial Foundation Yokohama, 31-39. p.

YAGHOUBI-SARAY J. (1979): An electrophoretic analysis of genetic variation within and between populations of five species in the *Triticum-Aegilops* complex. Ph.D. dissertation, University of California, Davis.

VALLEGA V. (1979): Field performance of varieties of *Triticum monococcum*, *T. durum*, and *Hordeum vulgare* grown at two locations. In: *Genet. Agric.* 33 363-370. p.

VALLEGA V. (1992): Agronomical performance and breeding value of selected strains of diploid wheat, *Triticum monococcum*. In: *Euphytica* 61 13-23. p.

VALLEGA V. (1995): The quality of *Triticum monococcum* L., in perspective. 205-214. p. In: Hulled wheat - Proceedings of the First International Workshop on Hulled Wheats: Castelvecchio Pascoli, 21-22 July 1995, 269 p

VASTAG K. V, ÓBERMAJER T., NAGY T. L., ENYEDI A., BERKE J. (2018): Bayer alapú képfeldolgozó algoritmusok vizsgálata hallgatói közreműködéssel. In: *XXIV. Multimédia az Oktatásban nemzetközi konferencia* 24 (1) 174-178 p.

VAVILOV N. I. (1923) : A contribution to the classification of soft wheat, *Triticum vulgare*. In: *Bull. Appl. Bot.* 13 149-257. p.

VENORA G., GRILLO O., SHAHIN M. A., SYMONS S. J. (2007): Identification of Sicilian landraces and Canadian cultivars of lentil using an image analysis system. In: *Food Research International*, (40) 161-166. p.

VENORA G., GRILLO O., RAVALLI C., CREMONINI R. (2009a): Identification of Italian landraces of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using an image analysis system. In: *Scientia Horticulturae*. (121) 410-418. p.

VENORA G., GRILLO O., SACCONI R. (2009b): Quality assessment of durum wheat storage centres in Sicily: evaluation of vitreous, starchy and shrunken kernels using an image analysis system. In: *Journal of Cereal Science*, (49) 429-440. p.

VIERLING R. A., NGUYEN H. T. (1992): Use of RAPD markers to determine the genetic diversity of diploid wheat genotypes. In: *Theoretical and Applied Genetics*, 84 835-838. p.

VILLEGAS E., MCDONALD C.E., GILLES K.A. (1968): Variability in the lysine content of wheat, rye and triticale proteins. In: CIMMYT Res. Bull. No. 10. CIMMYT, Mexico.

VÖRÖSVÁRY G., BELEA A., HOLLY L. (2002): Alakor változatok (*Triticum monococcum* L.) fontosabb morfológiai és termést kialakító tulajdonságainak vizsgálata. 365-370. p. In: 50 éves az Acta Agronomica Hungarica. Jubileumi tudományos ülés. Martonvásár: MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet, 2002. november 19.

WAINES J. G., PAYNE P.I. (1987): Electrophoretic analysis of the high-molecular-weight glutenin subunits of *Triticum monococcum*, *T. urartu*, and the A genome of bread wheat (*T. aestivum*). In: *Theoretical and Applied Genetics*, 74 71-76. p.

WAINES J.G., EHDAIE B., BARNHART D. (1987): Variability in *Triticum* and *Aegilops* species for seed characteristics. In: *Genome* 29 41-46. p.

WAINES J. G., BARNHART D. (1990): Constraints to germplasm evolution. In: SRIVASTAVA J. P. DAMANIA A. B. (Szerk.): Wheat Genetic Resources Meeting, Diverse Needs John Wiley Chichester, UK103111

WAINES J. G. (1995): Molecular characterization of einkorn wheat. 195-200. p. In: Hulled wheat - Proceedings of the First International Workshop on Hulled Wheats: Castelvecchio Pascoli, 21-22 July 1995, 269 p.

WILLCOX G. H. (1992): Archaeobotanical significance of growing Near Eastern progenitors of domestic plants at Jalès (France). 159-177. p. In: Préhistoire de l'agriculture (P.C. Anderson, ed.). Monographie du Centre de Recherches Archéologiques 6. Éditions du CNRS, Paris.

WITCOMBE J. R. (1983): A guide to the species of *Aegilops* L.: their taxonomy, morphology and distribution. IBPGR [IPGRI], Rome.

ZAPOTOCZNY P., ZIELINSKA M., NITA Z. (2008): Application of image analysis for the varietal classification of barley: morphological features. In: *Journal of Cereal Science*. (48) 104-110. p.

ZOHARY D. (1999): Monophyletic vs. polyphyletic origin of the crops on which agriculture was founded in the Near East. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 46 133–142. p.

ZOHARY D., HOPF M. (1993): Domestication of plants in the Old World. Oxford: Oxford University Press. 328 p.

ZSEMLYEI J. (1974): Kis-Szamos vidéke (Kolozs megye) magyar tájszólásának kölcsönszavai II. Kolozsvár. Doktori Értekezés. Kézirat.

HTTP1: https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/303.pdf

HTTP2: http://vision.sztaki.hu/~kepaf/kepaf2009_CD/Author_Index.html (letöltés ideje: 2017. 12. 04.)

HTTP3: https://www.canon.hu/scanners/flatbed-scanners/canoscan_lide_700f/
(letöltés ideje: 2017. 12. 07.)

HTTP4: https://www.nikon.hu/hu_HU/product/discontinued/digital-cameras/2016/d5200#tech_specs (letöltés ideje: 2017. 12. 07.)

HTTP5: https://www.nikon.hu/hu_HU/product/nikkor-lenses/auto-focus-lenses/dx/single-focal-length/af-s-dx-micro-nikkor-40mm-f-2-8g#tech_specs
(letöltés ideje: 2017. 12. 04.)

M2. Szkennelrel készült felvételek a vizsgált alakor tételekről

(CD melléklet)

M3. Fényképezővel készült felvételek a vizsgált alakor tételekről

(CD melléklet)

M4. A digitális morfometriai mérések eredményei

(CD melléklet)

M5. Az alakor változat szintű besorolására alkalmas táblázatok

(CD melléklet)

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném megköszönni a segítséget témavezetőimnek **Dr. Gyulai Ferenc** professzornak és **Dr. Berke József** főiskolai tanárnak a munkámhoz nyújtott teljeskörű szakmai segítséget képzésem kezdetétől a doktori értekezés elkészítéséig.

Köszönettel tartozom **Növényi Diverzitás Központnak, Baktay Borbála** igazgatónőnek és **Horváth Lajosnak** akik rendelkezésemre bocsátották a mintákat, szakmai anyagokat és segítséget nyújtottak a dolgozat szakszerű megírásában.

Köszönet illeti **Dr. Megyeri Máriát** és a martonvásári **Agrárkutató Központot** a részemre megküldött alakor tételekért.

Szeretném megköszönni **Dr. Gyulai Gábor** professzornak és **Dr. Vinogradov Szergejnek** a vizsgálati eredmények kiértékelésében és azok publikálásában nyújtott segítséget.

Köszönettel tartozom **Szabó T. Attilának**, hogy rendelkezésemre bocsátotta a témában évtizedek alatt összegyűjtött értékes irodalmi gyűjteményét.

A nyelvi nehézségek áthidalásában nyújtott segítségét köszönöm **Hegyesi Józsefnek**.

Végezetül, de nem utolsó sorban tiszta szívemből szeretném megköszönni Édesanyámnak és Barátaimnak, hogy mindvégig kitartottak és mellettem álltak, türelmesen segítve mindeben, a legnehezebb időszakban is.