



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

Környezettudományi Doktori Iskola

**A SZÁNTÓFÖLDI NÖVÉNYEK GÉNBANKI
GYŰJTEMÉNYEINEK ÚJ
MÓDSZEREKKEL TÖRTÉNŐ
VIZSGÁLATA**

Doktori értekezés

BAKTAY BORBÁLA

Gödöllő

2022

A DOKTORI ISKOLA MEGNEVEZÉSE:
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

TUDOMÁNYÁG:
KÖRNYEZETTUDOMÁNY

A DOKTORI ISKOLA VEZETŐJE:

CSÁKINÉ DR. MICHÉLI ERIKA
EGYETEMI TANÁR, AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA
MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI INTÉZET,
TALAJTANI TANSZÉK

BELSŐ TÉMAVEZETŐ:

DR. GYULAI FERENC
PROFESSOR EMERITUS, AZ MTA DOKTORA
MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM,
VADGAZDÁLKODÁSI ÉS TERMÉSZETVÉDELMI INTÉZET,
TERMÉSZETVÉDELMI ÉS TÁJÖKOLÓGIAI TANSZÉK

KÜLSŐ TÉMAVEZETŐ

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

.....
Belső témavezető jóváhagyása

.....
Külső témavezető jóváhagyása

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

TARTALOM

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK.....	5
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	8
2.1. Agrobiodiverzitás, génmegőrzés	8
2.1.1. A Kárpát-medence agrobiodiverzitása.....	8
2.1.2. A növényi genetikai erőforrások megőrzésének nemzetközi háttere ..	8
2.1.3. A növényi genetikai erőforrások <i>ex situ</i> génmegőrzése	10
2.1.4. A tápiószelei génbank	12
2.2. Az életképesség meghatározásának magbanki módszerei.....	14
2.2.1. A csírázás élettani folyamatai, a csírázás indukciója.....	18
2.2.2. A víz szerepe a csírázásban.....	20
2.3. Fajták elkülönítése	21
2.4. Hőkamerás vizsgálatok.....	24
2.4.1. Hőkamerás vizsgálatok különböző tudományterületeken	24
2.4.2. Magok hőkamerás vizsgálata	25
2.5. Digitális képfeldolgozás, magmorfometria	27
2.5.1. Hőkamerás képérzékelő rendszerek.....	28
2.5.2. A távérzékelés alapvető fizikai törvényei	28
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	32
3.1. A vizsgálni kívánt fajok meghatározása (maganyag).....	32
3.1.2. A magok előkészítésének módszere	33
3.1.3. A magok csíráztatásának módszere	33
3.2. Alkalmazott módszerek és eszközök bemutatása	34
3.2.1. A hőkamerás vizsgálatokhoz alkalmazott eszközök jellemzése.....	34
3.2.2. Alkalmazott digitális módszerek és szoftverek.....	37
3.3. A hőkamerás mérések helyszínei	40

3.3.1. Az 1. helyszín	40
3.3.2. A 2. helyszín	42
3.3.3. A 3. helyszín	43
3.3.4. A 4. helyszín	44
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	45
4.1. Új módszer kidolgozása a génbankban őrzött magok hőkamerás vizsgálatára.....	45
4.1.1. A vizsgálat menetének kidolgozása, a mérés folyamata	45
4.1.2. Magok előkészítése, elhelyezése, mérési környezet kialakítása.....	45
4.1.3. Speciális hőkamerás mérőlabor kialakítása	54
4.2. A napraforgó léha és nem léha kaszatterméseinek elkülönítése	56
4.3. Magok életképességének meghatározása hőkamera segítségével.....	60
4.3.1. „Normál” és „selejt” magok elkülönítése hőkamera segítségével.....	63
4.3.2. A csíráztatási eredmények összevetése a hőkamerás mérések eredményeivel.....	67
4.4. Kukoricafajták elkülönítése hőkamera segítségével	71
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	74
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	77
7. ÖSSZEFOGLALÁS	78
8. SUMMARY	80
9. MELLÉKLETEK	82
M1: Irodalomjegyzék:	82
M2: Csíráztatási eredmények	94
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	106

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Növények nélkül az emberiség nem tudna fennmaradni a Földön. Bolygónk teljes működéséhez és az emberiség táplálékhoz jutásához elengedhetetlen, hogy megőrizzük a növényvilág minden elemét. A vadon élő növényfajok megőrzése és a kultúrnövények megőrzése egyaránt elengedhetetlen fennmaradásunkhoz. A kettőt ennek megfelelően nem szabad elválasztani, a két tevékenységet párhuzamosan, egymást kiegészítve kell végezni. A megőrzésen felül kulcskérdés a fenntartható használat, hiszen ez az egyetlen út a hosszú távú megőrzéshez. A Biológiai Sokféleség Egyezmény szerint fenntartható használat „a biológiai sokféleség alkotóelemeinek oly módon és ütemben való használata, amely nem vezet a biológiai sokféleség hosszú távú csökkenéséhez, ezzel fenntartva képességét a jelen- és jövőbeli generációk szükségleteinek és törekvéseinek kielégítésére” (ENSZ 1992).

A génbankok szerepe évről évre növekszik, munkájuk egyre fontosabbá válik. A vadon élő növényfajok pusztulása és az egyes termesztett növények termesztésből való kikerülése miatt egyre fontosabb szerepet kap a génbanki megőrzés világszerte. A növényi génbankok elsődleges feladatai a növényi genetikai erőforrások gyűjtése, megőrzése, dokumentálása, szaporítása, közreadása.

Az Egyesült Nemzetek Szervezetének Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezete (FAO) számos publikációban és kiadványban hívta fel a figyelmet az élelmezési és mezőgazdasági célú növényi génforrások sokféleségének csökkenésére az elmúlt évtizedekben. A hozzájuk beérkezett adatszolgáltatások, illetve becsléseik szerint az elmúlt száz évben a mezőgazdaságban használt fajták több mint háromnegyede kikerült a termesztésből (FAO 2004, SoWPGR-2 2010).

Annak érdekében, hogy ezt a folyamatot megállítsuk, illetve visszafordítsuk, számos nemzetközi célkitűzés született az elmúlt három évtizedben. Ezeknek a célkitűzéseknek megfelelően alkottuk meg kollégáimmal 2012-ben az akkori Vidékfejlesztési Minisztériumban a 2020-ig szóló Élelmezési célú növényi genetikai erőforrások megőrzésének stratégiáját. Az abban megfogalmazott jövőkép annak ellenére, hogy a stratégia teljesítésének határideje 2020-ban lejárt, ma is érvényes: „Nemzeti kincseink, a hazai élelmezési célú növényi és mikroorganizmus genetikai erőforrásaink meglévő formagazdagságának hosszú távú, genetikai károsodástól mentes megőrzése, lehetőség szerint tényleges gazdasági értékeik feltárása és a természetes környezetben való fenntartható használatuk elterjesztése, valamint a

kutatásban, az oktatásban és a hazai nemesítésben való hasznosításuk elősegítése” (VM 2013).

A hazai génbanki megőrzésben kiemelt szerepe van a tápiószelei génbanknak. Amellett, hogy Magyarország legnagyobb gyűjteményét őrzi, országos koordinációt lát el növényi génmegőrzés területén. Több mint hatvanéves fennállása óta gyűjteményei folyamatosan növekednek és bővülnek (NBGK 2019). Mára valamennyi növénycsoport génbanki megőrzésével foglalkozik, beleértve a kultúrnövények vad rokon fajait (Baktay 2016) és a hazai vadon élő flóra elemeit (Peti et al. 2015). Az intézet vezetését immár tíz éve látom el, amely idő alatt rendkívül sok tapasztalatot szereztem a növényi génmegőrzés területén mind szakpolitikai, mind gyakorlati szinten.

Ez idő alatt egyértelművé vált számomra, hogy a génmegőrzési tevékenység, tehát a gyakorlati génbanki munka és a génbankokban őrzött genetikai erőforrásokhoz kapcsolódó tudományos kutatási tevékenységek merőben eltérnek egymástól. Annak ellenére, hogy rengeteg új információt szerzünk egy-egy génbanki tételről a megőrzés során, ezek nem, vagy csak részben tekinthetők tudományos eredménynek. A génbankok tehát nem tudományos kutatóintézetek. Ez nagyon fontos tény a gyűjtemények megítélése szempontjából. A génbankokban őrzött genetikai erőforrások ugyanis elsősorban nem kutatási alapanyagok, hanem a múlt, a jelen és a jövő mezőgazdaságának alapjai. Viszont tény az is, hogy minden kutatási eredmény a génbankban őrzött genetikai erőforrásokról segít a génmegőrzési feladatok ellátásában. Különösen akkor, ha az például valamelyik génbanki gyakorlati lépéshez kapcsolódik, vagy olyan élettani sajátosságot tár fel, amely segíti a megőrzés biztosítását.

A Kárpát-medencében régóta honos haszonnövények és rokon fajaik különböző területeken (természetes növénytársulások, ártéri gyümölcsösök, zártkertek, házi kertek, kiscgazdaságok, génbanki gyűjtemények és ültetvények, nemesítői alapanyag-gyűjtemények, botanikus kertek) fennmaradt formagazdagságának megőrzése, valamint a megőrzött tételek vizsgálata fontos és összetett feladat, melynek megoldása széles körű kutatásokat, vizsgálatokat, valamint hazai és nemzetközi együttműködést igényel. Ehhez elengedhetetlen a jövőben a társtudományok és egyéb tudományágak bevonása, és közös kutatási-fejlesztési és innovációs tevékenységek kialakítása.

Az így jelentkező változatos kutatási irányok között jelentős helyet foglalnak el a magbankokban történő génmegőrzés egyes élettani, vagy fajtaazonosítási problémái.

Ezeket figyelembe véve kutatómunkám során céljaim voltak:

- egy teljesen új módszer kidolgozása génbanki magok vizsgálatára,
- egy speciális, magok vizsgálatára kialakított egyedi építésű hőkamera megalkotása,
- génbanki magtétélek vizsgálata hőkamerával életképesség tekintetében,
- génbanki magtétélek vizsgálata hőkamerával fajtaelkülönítés tekintetében.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Agrobiodiverzitás, génmegőrzés

2.1.1. A Kárpát-medence agrobiodiverzitása

A Kárpát-medence agrobiodiverzitásának történetével számos tudományos publikáció foglalkozik. Az írások alapvetően a régészeti kutatások alkalmával felkutatott növényi maradványokra, valamint a különböző írásos említésekre hivatkoznak (Gyulai 2001). Ezek alapján elmondható, hogy a Kárpát-medencében a növénytermesztés nyolcezer éves múlttal rendelkezik. A régóta termesztett növényfajok jelentős része adott kultúrákkal érkezett hazánk területére (Gyulai 1999, 2003). Legrégbben az alábbi növényfajok terjedtek el és kerültek termesztésbe: kétsoros árpa, négysoros árpa, hatsoros árpa, csupasz árpa, alakor, tönke, tönköly, köles, zab, közönséges búza, csupasz törpe búza, rozs, valamint a lóbab, lencse, mezei borsó, csicseriborsó (Koháry 2003, Tomcsányi 2004).

Számos publikáció született az elmúlt fél évszázadban a mezőgazdaságban használatos genetikai erőforrások sokszínűségének fontosságáról. Ezek megőrzése és fenntartása kulcsfontosságú a fenntartható mezőgazdaság kialakításában (Ángyán 2003) és az alkalmazkodó növénytermesztés esetében (Ángyán 2004), hiszen géntartalékaink nem csak nemesítési alapanyagként szolgálhatnak (Holly 1979). A fajták eltűnése mellett mára sok olyan növényfaj szinte teljesen kiszorult a köztermesztésünkből, amelyek korábban meghatározóak voltak ételmezésünkben (pl. köles), a növény-nemesítés géntartalékai egyre csökkennek (Sterbetz 1979). Az ételmezésbiztonság alapja az agrobiodiverzitás fenntartása (Holly 2000). Ahhoz, hogy a génbankokban megőrzött genetikai erőforrásainkat hasznosítani tudjuk, nem csak megőrizni, de ismerni is kell azokat (Heszky 2009).

2.1.2. A növényi genetikai erőforrások megőrzésének nemzetközi háttere

A biológiai sokféleség csökkenése Földünkön, ezzel együtt az emberi környezet válsága több évtizede ténynek tekinthető. Ezt felismerve az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) pontosan ötven évvel ezelőtt fogadta el Stockholmban nyilatkozatát az emberi környezetről, az irányelvekről, illetve megfogalmazott 109 javaslatot, amely többek között megalapozta a génbanki megőrzést és a génbankok munkáját világszinten (ENSZ 1972). Ekkor fektették le az 1992-ben, az ENSZ soron következő közgyűlésén Rio de Janeiróban elfogadott Biológiai Sokféleség

Egyezmény alapjait. Az Egyezményt Magyarországon törvényben hirdették ki, amelynek 9. cikke teljes egészében az *ex situ* génmegőrzésről szól. Az Egyezmény fogalom meghatározása szerint *ex situ* génmegőrzés „a biológiai sokféleség alkotóelemeinek természetes élőhelyeiken kívüli megőrzése” (ENSZ 1992).

A biodiverzitás a Földi élet sokszínűségét jelenti, ezen belül az agrobiodiverzitás a mezőgazdaságban használatos genetikai erőforrások sokfélesége.

1983-ban az ENSZ Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezete létrehozta a Mezőgazdasági- és Élelmezési célú Genetikai Erőforrások Bizottságát, amely komoly lépést jelentett a mezőgazdasági és élelmezési célú genetikai erőforrások megőrzésében. A Bizottság két évente ülésezik, az üléseken a tagországok határozatokat fogadnak el (1. ábra). További fontos lépés a Globális Akcióterv elfogadása volt 1996-ban Lipcsében, amely fő célkitűzésként nevezi meg a mezőgazdasági és élelmezési célú növényi genetikai erőforrások megőrzésének biztosítását, mint az élelmezésbiztonság alapját (FAO 1996).



1. ábra. A FAO Mezőgazdasági- és Élelmezési célú Genetikai Erőforrások Bizottságának 15. ülése 2015. január 22-én. Az Európai Régió álláspontját olvasom fel az ülésnapon.

A fent részletezett nemzetközi erőfeszítések eredményeként a FAO Konferenciájának 31. ülészakán elfogadta az élelmezési és mezőgazdasági célú növényi génforrásokról szóló nemzetközi Egyezményt (továbbiakban: FAO Egyezmény) Rómában, 2001. november 3-án. A FAO Egyezmény 2004. június 29-én lépett hatályba. Magyarországon az Egyezményt kormányrendeletben hirdették ki, szintén 2004-ben. Az Egyezmény fő célja az 1. cikk szerint: „az élelmezési és mezőgazdasági célú növényi génforrások megőrzése és fenntartható használata, valamint az ezek felhasználásából származó hasznok igazságos és méltányos elosztása, a Biológiai Sokféleség Egyezménnyel összhangban, a fenntartható mezőgazdasági termelés és élelmezési biztonság érdekében” (FAO 2001).

A Biológiai Sokféleség Egyezmény 2010-ben Nagójában a növények génmegőrzése szempontjából két kiemelten fontos stratégiát fogadott el. Az egyik a Stratégiai Terv 2010–2020, a másik a Növények Megőrzésének Világstratégiája (SP 2010, GSPC 2010). Az eseményen a magyar delegáció tagjaként részt vettem, így személyesen tapasztaltam meg az elfogadott határozatokat megelőző tárgyalások menetét. Mindkét stratégia konkrét célkitűzéseket fogalmazott meg az *ex situ* génmegőrzéssel kapcsolatban is, melyek nagy részét nem, vagy csak részben sikerült elérni 2020-ig, ezért a Biológiai Sokféleség Egyezmény új célkitűzéseket szeretne elfogadni a következő 10 éves időszakra (Baktay 2012). Az új stratégiák elfogadására azonban a COVID világválság miatt ez idáig nem került sor.

A FAO 1998 után 2010-ben publikálta a mezőgazdasági- és élelmezési célú növényi genetikai erőforrások helyzetét bemutató kiadványának második beszámolóját. A beszámoló az egyes országok adatszolgáltatási alapján állt össze, amelyhez többek között Magyarország is szolgáltatott adatot. A kiadvány egyértelműen rámutat arra a tényre, hogy a megőrzött genetikai erőforrások száma ugyan növekedett, de ez sok esetben csalóka adat, mivel a valóságban az előző időszakban megőrzött genetikai erőforrások kb. 30 %-a eltűnt (SoWPGR-2 2010).

A fenti tendencia megváltoztatása érdekében a FAO 2011-ben fogadta el második globális akciótervét a mezőgazdasági- és élelmezési célú növényi genetikai erőforrások megőrzése érdekében. Az akcióterv négy prioritás tevékenységet fogalmaz meg: *in situ* génmegőrzés, *ex situ* génmegőrzés, fenntartható használat, fenntartható intézményrendszer és humán erőforrás építése. (GPA 2011).

2.1.3. A növényi genetikai erőforrások *ex situ* génmegőrzése

A genetikai erőforrások megőrzése, és ezzel együtt a génbanki megőrzés nagy múltra tekint vissza hazánkban (MgSzH 2012). A szántóföldi növények magjainak hűtött tárolóban történő megőrzése a 70-es években kezdődött világszerte. A magbankok munkáját évtizedek óta külön kiadványok, kézikönyvek segítik, amelyek részletes útmutatást adnak a számukra (Ellis 1985a, Ellis 1985b, Engels 2003, Rao et al. 2006). A génbanki megőrzés módszereit és körülményeit hazai (Génbank szabványok 1994) és nemzetközi génbank szabványok (FAO 2013) rögzítik részletesen. Ennek alapján jelen kutatásnál figyelembe kell venni, hogy a genetikai integritás és a tétel jellemző tulajdonságainak megtartása érdekében a kiválasztott tétel maganyaga genetikailag minél közelebb álljon az eredeti mintához.

„Ortodox” magoknak nevezzük azokat a magokat, amelyek életképessége alacsony magnedvesség-tartalom mellett a környezetéhez csökkentett tárolási hőmérsékleten hosszabb ideig tárolhatóak, mint normál környezeti viszonyok között (Roberts 1973). A magok tárolása során kiemelt jelentősége van a levegő relatív páratartalmának. A legkedvezőbb relatív páratartalom a tárolási hőmérséklet függvényében minden fajnál egyedi (Walters és Engels 1998).

A génforrás megőrzést biztosító egyes *ex situ* magbanki gyűjtemények hatékony formái a genetikai erőforrások géntartalékként történő megőrzésének (O'Donnel és Sharrock 2015). Az egyes maggyűjtemények különböző célokat szolgálnak. Ennek megfelelően a megőrzés módszere különbözik.

A géntartalékok hosszú távú megőrzését biztosító gyűjtemények az ún. bázis gyűjtemények a maggal szaporított növények esetében. A tárolási hőmérséklet ebben az esetben $-18\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$, 4–6% nedvességtartalom mellett, párabiztos csomagolóanyag (konzervdoboz, üveg illetve laminált alumínium-műanyag fóliatasak) alkalmazásával (2. ábra). A várható minimális tárolási élettartam 100 év fölött van (gabonák és hüvelyes növények esetében) (FAO 2013).



2. ábra. A tápiószelei génbankban -18 °C -on működtetett Nemzeti Bázis Gyűjtemény hűtőtárolója

A génforrások közreadását, illetve vizsgálati és kutatási célokat szolgáló gyűjtemények az ún. aktív gyűjtemények. A tárolási hőmérséklet ekkor $5\text{–}10\text{ °C}$ között van, 5–7% nedvesség biztosításával. A tárolási élettartam 20–30 év között alakul várhatóan (FAO 2013).

Utóbbi tárolási forma ellenőrzésére az elmúlt években lehetőség volt, hiszen a tápiószelei génbank első hűtött magtárolója 1973-ban létesült. A tápiószelei génbank életképességi laboratóriumában végzett csíráztatási eredmények szerint az

ekkor betárolt magbanki minták életképessége csökkent ugyan, de életképesnek tekinthetőek. A génbanki tapasztalat mellett ezzel kapcsolatban már több szakirodalmi forrás is rendelkezésre áll (Ruiz et al. 1999, Hay et al. 2012).

A magbanki megőrzésben kulcsfontosságú az elegendő magmennyiség tárolása. Önbeporzó fajoknál ez legalább 1500 mag, idegentermékenyülők esetében pedig legalább 3000 mag szükséges a biztonságos megőrzéshez. A legkisebb mintamennyiség 50 mag, amely pl. vad fajoknál alkalmazható (FAO 2013).

2.1.4. A tápiószelei génbank

A tápiószelei génbank 1959-ben alakult Jánossy Andor munkásságának köszönhetően. Jelenleg Nemzeti Biodiverzitás- és Génmegőrzési Központ (NBGK) néven működik (3. ábra). Fő feladata az évtizedek során létrehozott génbanki gyűjteményeinek fejlesztése, ezek agrobotanikai értékelő vizsgálata, dokumentálása és közreadása, valamint közép- és hosszú távú megőrzése hűtött magtárolókban, állományban vagy esetenként merisztémakultúrákban. Ehhez kapcsolódik a helyi körülményekhez alkalmazkodott hazai tájfajták, ökotípusok és populációk eredeti termőhelyen („in situ”, „on-farm”) történő fenntartásának és hasznosításának szervezése és irányítása (MgSzH 2012).



3. ábra. A tápiószelei génbank főépülete

Az intézet országos koordinációt lát el növényi génmegőrzés területén. Létrehozta és kezeli a Nemzeti Génbank Adatbázist, kialakította és működteti a Nemzeti Bázis Gyűjteményt, valamint a Nemzeti Biztonsági Duplikátum Tárolót.

A tápiószelei génbank teljes körű génbanki tevékenységet folytat, amely a következő feladatokat foglalja magában (MgSzH 2012):

- Génforrások felkutatása és gyűjtése, különös tekintettel a magyar tájfajtákra és a hazai flóra mezőgazdasági szempontból fontos elemeire, valamint a vad növényfajok gyűjtése
- A gyűjtemények felszaporítása, felújító vetése
- A gyűjteményes tételek nemzetközileg elfogadott deskriptorok, úgynevezett leíró tulajdonságlisták alapján történő vizsgálata, leírása és értékelése.
- Az intézetben fenntartott tételek és a hazai társintézetek Országos Bázisgyűjteményben szereplő tételeinek gyűjtési és passzport (magcsere során a tételt kísérő legfontosabb adatokat tartalmazó információ), valamint leíró adatainak dokumentálása
- A tételek megőrzése hűtött magtárolókban
- A Bioversity International által irányított Európai Együttműködési Program (European Cooperative Programme for Crop Genetic Resources Networks-ECP/GR) keretében folyó munkákban való részvétel
- A Nemzeti Bázis Gyűjteményben és az Országos Biztonsági Duplikátum tárolóban elhelyezett magminták hosszú távú megőrzése
- A magyar és külföldi nemesítők, felhasználók számára magminták átadása a hozzájuk kapcsolódó információval együtt
- A növényfajok és fajták általános és helyi jelentőségének történeti vizsgálata, és a szakoktatásban és ismeretterjesztésben való részvétel
- A megőrzött tételek taxonómiai ellenőrzése, citológiai, beltartalmi és biokémiai-genetikai jellemzése együttműködés keretében
- A nemzetközi együttműködési programokban való részvétel, és a magyar részvétel szakmai koordinációja
- A táji adottságokhoz alkalmazkodott, a Kárpát-medencében régóta termesztett gyümölcsfajták megőrzéséről szóló megállapodással kapcsolatos feladatok ellátása

Az intézet a fentiek mellett földrajzi elhelyezkedése miatt szerepet vállalt az elmúlt évtizedekben a Tápió-vidék természeti értékeinek megőrzésében a Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatósággal és helyi szervezetekkel együttműködve (Málnási et al. 2012).

2.2. Az életképesség meghatározásának magbanki módszerei

A génbanki megőrzésben kulcsfontosságúak az életképességi vizsgálatok, hiszen nem életképes vagy rosszul csírázó magok teljes mértékben már nem alkalmasak a genetikai diverzitás megőrzésére, genetikai leromláshoz vezetnek (Walsh et al. 2003).

A kultúrnövények esetében az egyes növényfajokra vonatkozó csíráztatási módszereket a legfontosabb hazai kultúrnövény-fajok esetében magyar szabvány rögzíti (Magyar Szabványügyi Testület 1992 – MSZ 1992). Tudjuk azonban, hogy a csíráztatás eredményeiből a magnyugalmi állapot és egyéb tényezők miatt nem mindig következtethetünk közvetlenül az életképességre. Génbanki protokoll szerint mégis a csíráztatás (4. ábra) tekinthető a legfontosabb életképesség-vizsgálati módszernek, annak ellenére, hogy tudjuk, az életképesség nem egyenlő a csírázóképesseggel (Tihanyi et al. 1985, Smith 2003).



4. ábra. A tápiószelei génbank Magélettani Laboratóriumában csírázó veteménybab

Fontos tisztázni a „vigor” fogalmát. A magvigor (életerő) fogalma ugyanis élesen elkülönül az életképességtől, illetve a csírázóképessegtől, vagyis önálló magminőségi jellemző. A vigor a mag mindazon tulajdonságainak összessége, amely kedvező a gyors és egyöntetű növényállomány megjelenésére szántóföldön (Isely 1950, 1951). Woodstock (1969, 1973) szerint a magvigor az aktív és jó egészség, valamint a természetes erőteljesség állapota a magban, ami vetéskor lehetővé teszi, hogy a csírázás gyorsan és erőteljesen megtörténjen változatos környezeti feltételek között is. A két fő tényező tehát az erőteljesség (csírázás sebessége és teljessége, csíranövény növekedése) és a környezet hatása. A vigort számtalan tényező befolyásolja, meghatározására fiziológiai és biokémiai módszerek állnak rendelkezésre (Abdullahi et al. 1972, Heydecker 1972, Meneguzzo et al. 2021).

Az 1970-es évektől számos kézikönyv, ajánlás és protokoll jelent meg magok csíráztatására vonatkozóan nemzetközi és hazai szinten egyaránt. Az ISTA (International Seed Testing Association) és az AOSA (Association of Official Seed Analysts) szabványai széleskörű útmutatást adnak a csíráztatási módszerek tekintetében. Az ISTA által meghatározott módszerek hazai viszonylatra adaptálása a fent említett, 1992-es Magyar Szabvány. A kultúrnövények rutinszerű csíráztatása mellett a tápiószelei génbanknak is szembesülnie kellett azzal, hogy a vad rokon fajok, illetve vad fajok csíráztatására nem minden esetben áll rendelkezésre protokoll, így az ahhoz kapcsolódó módszereket meg kell alkotni a génbanknak (Peti et al. 2016).

Az életképesség megfelelő rendszerességgel történő ellenőrzését a Nemzetközi Génbank Szabvány rögzíti. Ennek megfelelően 5, illetve 10 évente életképességi vizsgálatot kell végezni a betárolt génbanki mintákon attól függően, hogy az adott génbanki minta várhatóan hogy viseli a tartós tárolást génbanki viszonyok között. Fontos, hogy a magtétel kezdő életképessége el kell hogy érje legalább a 85 %-ot (FAO 2013). A génbanki tételek génbankba kerülése után végzett csíráztatást legalább 200 maggal kell elvégezni (5. ábra). A gyakorlatban ettől természetesen el lehet térni, ha kevés magmennyiség áll rendelkezésre (ISTA 2008).



5. ábra. A tápiószelei génbankban csíráztatásra használt Jacobsen-asztal

A csíráztatás mellett számos életképesség-vizsgálati módszer áll rendelkezésre és ezek száma a tudomány és a technika fejlődésével évről évre növekszik. A teljesség igénye nélkül az alábbi életképesség-vizsgálati módszerek alkalmazhatóak a génbanki magtétel esetében.

A Zelenchuk-féle „Látszólagos életképesség” vizsgálat szerint ujjal, tüvel vagy egyéb eszközzel vizsgálva életképesnek tekinthetők azok a külsőleg ép magvak, amelyek a mérsékelt nyomásnak ellenállnak (Zelenchuk 1961). Egyszerű és

túlságosan szubjektív volta miatt többnyire túlbecslést eredményez, ezért csak bizonyos esetekben alkalmazható (Csontos 2001).

A metszés módszere a nagymagvú, erdészeti szempontból fontos fajoknál alkalmazható, csak a lengyel előírásokban szerepel. A metszés inkább a magvak egészségének, mint életképességének vizsgálatára alkalmas. A vizsgálat során elkülöníthetők egymástól a léha, a rendellenes fejlődésű, a fertőzött magvak a jól kifejlődött magvaktól (Suszka et al. 2008).

Az embriókiemelés módszerét az ISTA Famagvak Bizottsága dolgozta ki Heit (1943, 1945, 1955) és Schubert (1965) munkáira alapozva. Elsősorban tehát fák magvainak életképesség-meghatározására használják. A módszer lényege, hogy az embriókat a termés- vagy maghéjból kiemelik és olyan feltételek között tartják, melyek megfelelőek a csírázáshoz és elég hosszúak ahhoz is, hogy az életképtelenség jelei megmutatkozzanak. Életképes embrió az, amelyik növekszik, vagy az inkubáció végéig friss és ép marad. Az életképtelen embrió viszont a viszonylag hosszú időtartamú inkubálás alatt rothadásnak indul. A módszer tehát a következő lépésekből áll: áztatás, embriókiemelés, inkubálás, értékelés (Szabó 1980, Ma et al. 2016).

A glutaminsav-dekarboxiláz aktivitás (GADA-teszt) módszeréről Ellis és munkatársai (1985) számolnak be. A módszer lényege, hogy a glutaminsav-dekarboxiláz enzim hatására az egészséges mag szén-dioxidot termel, melynek mennyisége mérhető. Amelyik magminta esetében nagyobb a képződő szén-dioxid mennyiség, annak nagyobb az életképessége (Ellis et al. 1985).

Vitális festés esetében az életképesség-kimutatása azon alapszik, hogy a nagymolekulájú festékek (mint például az indigókármin, fukszin, Evan-kék) az élő sejtekbe a határhártyák impermeabilitása miatt egyáltalán nem tudnak behatolni. A sérült sejtfalú, sejthártyájú elhalt sejtek viszont ezeket a sejteket befogadják, és megfestődnek. Nyebuljov (1925) volt az első, aki az indigókármint az életképesség kimutatására használta, és rámutatott, hogy a festődési formáknak az embrión és a táplálószöveten belüli (topografikus) elhelyezkedéséből lehet következtetni a mag életképességére. A topografikus életképesség-meghatározást később Lakon (1942) a tetrazólium módszerben alkalmazza. Ivanov (1950) 0,1 %-os savanyú fukszin oldatot használt az életképesség kimutatására. A módszert Effmann (1966), illetve Effmann és Specht (1967) továbbfejlesztették úgy, hogy a fukszin oldat koncentrációját 0,5 %-ra emelték, ezzel a meghatározás idejét csökkentették. A „szekvencia-analízis” néven ismert szakaszos mintavétellel további idő-és munkamegtakarítást lehetett elérni.

Gaff és Okong'o-Ogala (1971) az Evan-kék különböző koncentrációjú oldatát használták az életképesség meghatározására.

A Tetrazólium-teszt (TTC-teszt) módszere azon alapul, hogy a tetrazóliumsók életképesség-vizsgálatra történő felhasználása a légzés állapotáról ad felvilágosítást. Oxigén jelenlétében az élő sejtek a különböző oldatokat redukálják, így ez redoxi-indikátornak tekinthető. Korábban Turina (1922), Hasegawa (1936) és Eidmann (1936) szelén-és tellur-sók magvizsgálati alkalmazásával foglalkoztak, míg Gurevics (1937) az m-dinitro-benzolt, illetve az ammóniát használta magvak életképességének kimutatására. Az előbb említett anyagok alkalmazása mérgező voltuk miatt nem terjedt el, ráadásul a dinitro-benzol robbanásveszélyes is (Szabó 1980). Elekes (1949) a metilénkéket használta az életképesség meghatározására, de a módszer a bonyolultsága miatt nem tudott tért hódítani. Lakon volt, aki felismerte a tetrazóliumsók magvizsgálatban való alkalmazásának jelentőségét, és publikálta a topografikus tetrazólium teszt módszerét (Szabó 1980). A vizsgálatokban a 2,3,5-trifenil-tetrazólium-klorid vagy -bromid szintelen vizes oldatát használják. A magszöveten belül a TTC-oldat a dehidrogenáz enzimektől hidrogéniont vesz fel, és az élő sejtekben vízben oldhatatlan nem diffuzibilis, vörös színű trifenil-formazanná alakul. Az elhalt sejtek a TTC-oldatot nem redukálják, így a magvak élő és elhalt területei jól elkülöníthetők egymástól (MSZ 2009). A módszer hátránya, hogy kisméretű magvak esetében nagyon nehezen vagy egyáltalán nem végezhető el (az embrió preparálása technikailag nem megoldható), nem érzékeli a csírányugalmat, illetve a növényegyed teljes pusztulásával jár. Hazánkban a TTC életképesség vizsgálati módszert hivatalosan 1962 óta használják, jelen pillanatban az MSZ 6354-4. számú 2009. évi szabvány a hatályos. Ez 89 taxon TTC-vizsgálati módszerét tartalmazza, szántóföldi és kertészeti, illetve erdészeti (fa és cserje) magvak vonatkozásában.

A Röntgenradiográfiás módszert a nehezen vagy hosszú ideig csírázó famagvak (például *Carpinus betulus*, *Fraxinus* spp.) életképességének és rovarkárosodásának kimutatására ajánlják (Szabó 1980). Suszka és munkatársai szerint (2008) napjainkban gyakrabban használják fenyőféléknél, viszont lombos fák magvainál ritkábban. A módszer gyors, és nem roncsolja a magvakat. A vizsgálat során a magvakat egy film fölé fektetett kalibrált lemezre helyezik. A besugárzás rövid ideig, rendszerint néhány másodpercig tart, az időtartam hosszát a fafaj, a mag vastagsága, a film érzékenysége határozza meg. Elterjedt a kontrasztanyagot használó vizsgálat is. Az elhalt magvak embriószövetei a röntgensugarak számára

áthathatatlan kontrasztanyagokat felveszik. Az élő sejtekbe ezek az anyagok nem képesek behatolni. (Smith et al. 2003, Suszka et al 2008).

2.2.1. A csírázás élettani folyamatai, a csírázás indukciója

A magvak csírázását a vízfelvétel következtében létrejövő duzzadás (inbibíció) előzi meg (Szabó 1985, Pethő 1993, 1998). A magvak víztartalmának növekedésével párhuzamosan az anyagcsere egyre élénkebbé válik, az embrióban jellegzetes ultrastrukturális változások következnek be. A duzzadás első néhány órájában a citoplazmatikus retikulum a sejtmaggal együtt a sejtfalhoz szorul, a sejtek megnagyobbodnak, de a sejtosztódásra csak később kerül sor. A csírázás korai szakaszát az embrió fiziológiai reaktiválódásának tekinthetjük (Pethő 1993, 1998). A csírázás folyamatait szabályozó anyagok és enzimek egy része már az érett, száraz magban jelen van, másik részük viszont újonnan képződik. A duzzadás a már korábban meglévő makromolekulák és sejtorganellek reaktivációját indítja meg, másrészt új enzimek, ribonukleinsavak és más makromolekulák szintézisét teszi lehetővé. A duzzadás első perceitől kezdve a mag szöveteiben intenzív légzés megy végbe, melynek erőssége a szerves anyagok oxidatív lebontásának mértékét jelzi. Az így felszabaduló energia teszi lehetővé az ATP-szintézist (ATP: adenzin trifoszfát), és a keletkezett ATP-mennyiség biztosítja a csírázással együttjáró embriónövekedés és morfogenezis energiaszükségletét. Az oxigénfelvétel a mag életerejének fontos jellemzője. A mitokondriumokban tárolt enzimek már a duzzadás első 15-30 percében igen gyorsan működésbe lépnek, ennek jele az intenzív ATP-szintézis. A mitokondriális tevékenység fokozódását tehát az ATP szint gyors kezdeti növekedése jelzi. A mitokondriális tevékenység másik fő területe a redoxirendszer működésével kapcsolatos. A csírázó magvakra élénk dehidrogenáz-aktivitás jellemző. (Ennek kimutatása a fentebb említett TTC-vizsgálatoknak az alapja.) A dehidrogenázok koenzimeit a csírázó magvak is képesek szintetizálni egyelőre kevésbé ismert mechanizmus szerint (Szabó 1980).

A csírázás összes folyamatát a fitohormonok aránya és egyensúlya szabályozza. A tartaléktápanyagok lebontásában és a csírázás indukálásában a fő szerepet a gibberellinek töltik be. Legfontosabb származékuk a gibberellinsav részt vesz a hidrolázok kiválasztásában, közvetve az amilázok szintézisében, és növeli a fitáz összaktivitását (Szabó 1980). Az utóbbi felelős a magvak foszforforrását jelentő fitin lebontásáért (Szabó 1980, Pethő 1993, 1998). Ennek megfelelően a gibberellinsavat gyakran használják in vitro csíráztatásnál a magvak magnyugalmi

állapotának megszakítására (Erdei 2004). A Magyar Szabvány a 250 mg/l koncentrációjú oldatot javasolja számos növényfaj csíráztatása esetén (például *Secale cereale*, *Hordeum vulgare*, *Lavandula angustifolia* stb.) (MSZ 2008). A csírázás utolsó szakaszában megkezdődik a tartaléktápanyagok lebontása (Szabó 1980). A raktározott tápanyagok kimerülése optimális esetben egybeesik a fotoszintetizáló rendszer differenciálódásával, vagyis a magvak a fotoszintézis beindulásáig elégséges tartalék tápanyaggal rendelkeznek (Pethő 1993, 1998).

A magvak csírázását egy háromfázisú vízfelvételi görbével jellemezhetjük (Bewley et al. 1997). Az első két fázisban a membránok, a mitokondriumok és a DNS kijavítása zajlik, illetve újraindul a fehérjeszintézis a tárolt mRNS-ek segítségével (Rajjou et al. (2004). Az anyagcsere a második fázisban indul a mitokondriális tevékenységgel. A fázis végén bekövetkező sejtmelegedés, illetve a harmadik fázisban tapasztalható sejtosztódás zárja a csírázást, melynek a gyököcske kidudorodása a látható eredménye (Bewley et al. 1997). A harmadik fázishoz közeledve kezd kialakulni a magonc, és a mag elveszti a kiszáradással szembeni tűrőképességét, melyet csak bonyolult és szigorú időkorlátok közé szorított kezelésekkel lehet visszanyerni (Buitink et al. 2006). Az 1950-es években végzett úttörő tanulmányok (Prat 1952), illetve az azokat követő mikrokalorimetriával foglalkozó vizsgálatok felismerték, hogy a csírázás előtti és utáni hőáramok az életképesség függvényében változnak (Mourik, Bakri 1991, Hageseth, Cody 1993, Sigstad, Prado 1999, Edelstein et al. 2001, Qiao et al. 2005).

A korai biokémiai események kritikus jelentőségűek a későbbi csírázást, illetve elhalást illetően (Chen et al. 1970, Osborne et al. 1984) . A nukleinsavak, fehérjék és lipidek elkerülhetetlenül oxidatív károsodást szenvednek a magérés száradási folyamata során, mely a tárolással és az öregedéssel csak fokozódik (Kranner 2005, 2006) (Bailly et al. 2008) (Rajjou et al. 2008). A sikeres csírázás kulcsa a károsodott alkotóelemek kijavítása a magtelítődés kezdeti fázisában (Chen et al. 1970, Kranner 2005).

A magvak akkor termelnek hőt, amikor a vízmolekulák elvesztik a kinetikus energiájukat a keményítő spiráljához történő kapcsolódás közben, illetve a különböző anyagcsere-folyamatok során, mint például a légzés szabályozott szétkapcsolása (Hourton–Cabassa et al. 2004), amely alkalmával mitokondriális fehérjék is lekapcsolódhatnak a reaktív oxigén szabadgyökök szabályozásának érdekében (Vercesi et al. 2006). A telítődő magokban észlelt hűtési folyamatokat ez

idáig csupán egy alkalommal vizsgálták (Baranowski et al. 2003), de a negatív hőtermelés jelentőségét és mechanizmusait még csak részben sikerült megérteni.

Az „ortodox” magvak esetében az anyanövényen történő érés magába foglalja a száradást és a tartalékok, illetve a kis molekulatömegű cukrok felhalmozását. Ezek a cukrok hozzájárulnak a citoplazmaüveg létrejöttéhez, mely alapvetően szükséges a száraz állapotban történő hosszú távú túléléshez (Hoekstra 2005). Vízfelvétel során ezek biztosítják az életfunkciók gyors beindítását a csírázó magban, és az oldódásuk lehűti a magot.

Bizonyos magok olyan maghéjjal rendelkeznek, amelyek vízzel szemben nem áteresztők, és ez okozza a csírázás gátlását. Ezeket keményhéjú magoknak nevezzük. A kemény magvak impermeabilitásának oka a magháj paliszád rétegében és a magháj függelékeinek tulajdonságaiban keresendő. A keményhéjúság fajra jellemző, öröklődő tulajdonság, mértékét a környezet szabja meg. A legtöbb keményhéjú magot termő növény a toktermésű és a hüvelytermésű növények között található (Czímber 1970). A keményhéjúság a magnyugalomnak egy speciális formája (exogén magnyugalom). Ebben az esetben a magháj átjárhatatlan a gázok és a víz számára, így a mag nem is duzzad meg, kemény marad, nem csírázik (Pethő 1993, 1998.) A keményhéjúság megszüntetésére alkalmazott leggyakoribb módszerek: mechanikai hatás, hőhatás, kémiai hatás (Szabó 1980).

2.2.2. A víz szerepe a csírázásban

A magvak csírázásának általános feltétele a megfelelő hőmérséklet, a nedvesség, a fény és az oxigén. Ezek együttesen határozzák meg a csírázás körülményeit. Bármelyik feltétel nem megfelelő, a csírázás nem, vagy nem megfelelően zajlik. Emellett természetesen számos egyéb tényező befolyásolja a csírázás indukcióját és menetét, de a felsorolt négy összetevő a legmeghatározóbb.

A csírázás megindulásának első alapfeltétele a szükséges vízmennyiség. Víz jelenlétében a termésfal vagy a magháj megpuhul, majd a plazmakolloidok megduzzadnak (Szabó 1980). A magvak duzzadásához nélkülözhetetlen vízmennyiség növényfajonként eltérő, de rendszerint meghaladja a mag eredeti tömegének 50%-át (Pethő 1993). A vízfelvétel gyorsasága ugyancsak változó növényfajonként. A fehérjetartalmú magvak jobban megduzzadnak, mint a keményítőtartalmúak, de a magháj szerkezetétől, a hőmérséklettől, a pH-tól is függ a vízfelvétel gyorsasága. A csíráztatási közeg optimális vízellátottságát nehéz megvalósítani, de ennek folyamatos ellenőrzése még nehezebb feladat. Néhány

vízigényes fajtól eltekintve (például *Oryza sativa*) a túlzott nedvesség feltétlenül káros. Fontos feladatot jelent a csíráztatás időtartama alatti állandó optimális vízellátás. A vízutánpótlás időpontja, a víz mennyisége és eloszlása jelentősen módosíthatja a csírázás eredményét (Szabó 1980). A csíráztatáshoz használt víznek savtól, lúgtól, szerves anyagtól vagy más szennyeződéstől mentesnek kell lennie, pH-ja 6–7,5 között változhat. Ha a víz minősége nem megfelelő, akkor lágyított vagy ioncserélt vizet szükséges használni (Magyar Szabvány 2008).

2.3. Fajták elkülönítése

A botanikai rendszerezés alapja a faj (*species*). Azokat az egyedeket soroljuk ebbe a rendszertani kategóriába, amelyek valamennyi lényeges öröklődő tulajdonságukban megegyeznek, hasonló életmódúak, meghatározott elterjedési területük (areájuk) van, más fajoktól eltérőek, és azonos körülmények között magukhoz hasonló utódokat hoznak létre. (Hortobágyi et al. 1974). A fajok az evolúció törvényszerűségeinek megfelelően térben és időben változnak. Új elemeik – amennyiben az utódok állandósulnak – a környezeti tényezők és az életfeltételek megváltozásának hatására részben ugrásszerűen (mutáció), részben kereszteződéssel (hibridizáció) jöttek, illetve jönnek létre.

A termesztésbe került növények egysége a fajta (*cultivar=cv.*). A fajta alatt az egyazon faj alakkörébe tartozó, a termesztő (gazda, kertész, erdész) szempontjából egy vagy több lényeges tulajdonságban megegyező, de más fajoktól legalább egy jellemben eltérő termesztett egyedet vagy növénycsoportot értünk (Gyulai 1999).

A klasszikus osztályozás, rendszerezés korábban morfológiai bélyegek, majd biokémiai paraméterek (enzimek) alapján különítette el az egyes növényi fajokat, fajtákat. A XX. század végén azonban a genetika terén történt jelentős változásoknak köszönhetően a lehetőségek tárháza jelentősen növekedett. Azóta több laboratóriumi módszer is a segítségünkre van különbségek, illetve hasonlóságok felkutatására. Francis Crick 1962-ben James Watsonnal és Maurice Wilkins-szel közösen orvostudományi Nobel-díjban részesült a DNS szerkezetének leírásáért. Ez a felfedezés alapjaiban változtatta meg azt, amit addig az élővilág rendszerezésével kapcsolatban gondoltunk.

A legtöbb eukarióta sejtmagi genomjának jellemzője, hogy nagy részét ismétlődő szakaszok alkotják. Ezekben a szakaszokban a genetikai mutációk által eredményezett különbségeket molekulamarker-módszerekkel detektálhatjuk. A mutációk fő típusai: báziscsere, inszerció és delécio. Továbbá DNS szekvencián

bekövetkező változás létrejön a rekombinációt és az inverziót követően is (Weisingetal 2005).

Az adott kromoszómán elhelyezkedő gén jellemzése genetikai markerekkel történik. A genetikai markerek 3 fő csoportba sorolhatóak (Semagn 2006):

1. morfológiai és agronómiai jellemzők (szemmel látható tulajdonságok),
2. biokémiai jellemzők (géntermékek),
3. molekuláris jellemzők (molekulamarkerek, a DNS vizsgálatán alapulnak).

A molekulamarkerek nem konkrétan valamilyen tulajdonságot kódolnak, hanem azonosítható DNS szekvenciák, melyek a genom specifikus régiójában találhatóak, és az alapvető öröklődési törvényeknek (Mendel-törvények) megfelelően adódnak át a soron következő generációnak. Számos ilyen módszer áll már rendelkezésünkre, azonban fontos azok megválasztása aszerint, hogy milyen információkat szeretnénk megtudni a vizsgálati anyagról.

A markertechnikák a fehérjék és a DNS polimorfizmusán alapuló módszerek. A molekulamarkernek szükségszerűen a következő tulajdonságoknak kell megfelelni:

- közepesen vagy nagymértékben polimorf
- kodominánsan öröklődik
- a genomban sűrűn előfordul
- a genomban egyenletesen oszlik el
- könnyű elérhetőség
- könnyű és gyors használat/vizsgálat
- a laboratóriumok közötti könnyű adatáramlás
- alacsony költség (módszerfejlesztés és kivitelezés)

A fehérje háttérű molekulamarker-módszerek az izoenzimeken és az alloenzimeken alapulnak, igaz, napjainkban már sokkal elterjedtebbek a DNS alapú technikák. Az elsőnek alkalmazott ilyen módszer az RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism), mely restrikciós enzimeket alkalmaz.

Újabb áttörést jelentett a DNS vizsgálatában Kary Mullis fejlesztése, amely során a DNS egy kis szakaszát (maximum 10kb) a specifikusan kötődő oligonukleotid használatával mesterségesen megsokszorozza a DNS-polimeráz enzim segítségével, megismételt duplikációs ciklusok által. Az eljárást 1985-ben

publikálta a *Science* tudományos folyóiratban, felfedezéséért 1993-ban pedig kémiai Nobel-díjban részesült (PCR) (Kaunitz 2015).

A PCR technika a következő 3 fő lépés ciklikus ismétlődéséből áll:

1. denaturációs lépés (92–95 °C-on), amikor a dupla szálú DNS-ből két egyszálú DNS, templát lesz
2. a rövid szálú DNS-ek (más néven primerek, vagy oligonukleotidok) alacsonyabb hőmérsékleten (35–65 °C) a templát szálhoz kötődnek
3. a hőmérséklet megemelésével (68–72 °C) a DNS polimeráz katalizálja az új DNS-szál szintézisét, ami megegyezik az eredeti szállal, így létrehozva egy dupla szálú DNS-t

Ezen lépések többszörös (20–40×) ismétlődésével a szintetizált DNS kettős szálak mennyisége exponenciálisan növekszik.

A PCR-en alapuló molekulamarker-technikák érzékenyek és jól használhatóak (6. ábra). Lerövidítették a vizsgálat idejét és nanogramm mennyiségű DNS is elegendő hozzájuk (Weisingetal 2005).

Molekulamarker-módszerek, melyek alkalmazásával az elmúlt két évtizedben számos eredményt értek el (Semagn 2006):

- Random Amplified Polimorphic DNA (RAPD)
- Simple Sequence Length Polymorphism (SSLPs)
- Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP)
- Inter-Simple Sequence Repeats (ISSRs)
- Sequence Characterized Regions (SCARs)
- Sequence Tag Sites (STSs)
- Cleaved Amplified Polymorphic Sequences (CAPS)
- Expressed Sequence Tags (ESTs)
- Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs)
- Diversity Arrays Technology (DArT)



6. ábra. Búzaminták bekészítése DNS vizsgálathoz Biometra TAdvanced PCR készülékbe a tápiószelei génbank genetikai laboratóriumában

2.4. Hőkamerás vizsgálatok

2.4.1. Hőkamerás vizsgálatok különböző tudományterületeken

A hőkamera használata manapság rendkívül elterjedt. A különböző spektrális tartományokban készített távérzékelte felvételek segítséget nyújtanak a környezetünkben lejátszódó folyamatok, jelenségek minél alaposabb megismeréséhez. A termográfia által alkalmazott távérzékelési technikák különböző objektumok hőmérsékleti eloszlásának vizsgálatát teszik lehetővé. A termovíziós technológiát eredetileg katonai célokra fejlesztették ki (pl. hőkövető rakéták). A széles körű polgári felhasználás az utóbbi két évtizedben fejlődött ki (Nagy 2005).

Az általános környezetvédelmi felhasználások mellett a mezőgazdaságot érintő problémák feltérképezésében, előrejelzések készítésében fontos szerepet töltenek be manapság a termovíziós eljárások. Ilyen például a növényzet egészségi állapotának és állapotváltozásainak vizsgálata, fejlődési stádiumának meghatározására (pl. növények vízellátottságának feltérképezése, fertőzések és egyéb kártételek beazonosítása, rezisztencia mechanizmusok vizsgálata, talajok nedvességtartalmának és bolygatottságának vizsgálata), valamint ezen változásokhoz kapcsolható egyéb folyamatok és paraméterek meghatározására (pl. termés-előrejelzés, biomassza-meghatározás) (Kozma-Bognár 2013).

Érdekesség, hogy a Magyarországon 2010. október 4-én történt ajkai iszapkatasztrófa termális, közeli infravörös és látható tartományú felmérése fontos szerepet játszott a mentéssel kapcsolatos döntések előkészítésében (Berke et al. 2011a, 2011b).

2.4.2. Magok hőkamerás vizsgálata

A magok hőkamerás vizsgálatával foglalkozó cikkek száma nemzetközi viszonylatban is viszonylag szerénynek tekinthető.

A Millenium Seed Bank munkatársai bizonyos fajok esetében hőkamerával vizsgálták a magokat, és eredményeik szerint a hőkamerás felvételekből következtetni lehet a mag életképességére. Meglátásuk szerint növényi anyagcserét vizsgáló legújabb roncsolásmentes eljárások közé tartoznak a stresszhatásokat kimutató képalkotó technológiák, melyeket elsősorban a vegetatív szövetek elemzéséhez fejlesztettek ki. Vizsgálatuk célja az volt, hogy a hőkamerás felvételek kiértékelését követően meg lehet-e határozni, hogy a nyugvó mag kicsírázik, vagy pedig elhal a vízfelvételt követően. Életképes, régi és élettelen *Pisum sativum* magvokról készült hőképek magonként 22 000 képét megvizsgálva kiderült, hogy az infravörös termográfia képes kimutatni a nedvességfelvétellel és a csírázással együtt járó biofizikai, illetve biokémiai változásokat. Ezek a „hőujjlenyomatok” az életképesség függvényében változnak ennél a fajnál, valamint a *Triticum aestivum* és a *Brassica napus* magjai esetében is. A kisméretű *B. napus* magvak egyéni hőfejlesztésének érzékelése a jelenlegi technológiai lehetőségek határait súrolta túl kicsi méretei miatt. A „virtuális borsómagvak” számítógépes modelljének kifejlesztése után arra a következtetésre jutottak a Millenium Seed Bank munkatársai, hogy a hőprofil kezdeti szakaszát uraló hűlés a kis molekulatömegű szénhidrátok oldódásának a következménye. Továbbá, hogy az ilyen „hűtő hatású” alkotóelemek termelődésének kinetikája a mag életképessége függvényében változik az idő előrehaladtával (Kranmer et al. 2010).

A fenti publikációban részletezettekkel kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy a mérési eredmények kiértékelésekor megfigyelt „hűtő hatás” valójában a magok felületén kicsapódott pára okozta mérési hibából fakad, ezért mérési módszerük nem tekinthető megbízhatónak.

Men és munkatársai borsón végeztek életképesség-vizsgálatokat hőkamerával (Men et al. 2017). A mintákat magonként vizsgálták, termikus és látható tartományokban az 5 napos csíráztatás alatt minden 5. percben 24 °C fokon. A látótérben 12, illetve 40 magot helyeztek el. A csíráztatás folyamatát vizsgálva a csíráztatóasztalon állították fel a kamerát. A hőmérséklet állandó volt, de nem világos a cikkből, hogy a hőkamerával milyen hőmérséklet-változást vizsgáltak, amikor a csíráztatás állandó hőmérsékleten történik.

Fernandez és munkatársai borsót és zuzmókat vizsgáltak kontrollált körülmények között (Fernandez et al. 2019). A mérést egy olyan inkubátorban végezték, melynek páratartalma és gázösszetétele beállítható, speciális összetételű volt (a speciális gáz összetétele a zuzmók esetében volt fontos). A termális tartományban a borsómagok „termális ujjlenyomatát” 30 és 60% relatív páratartalom mellett 96 órán keresztül víztelítődés közben. Ezt követően a magokat óvatosan kivették a mérőtérből és csíráztatást végeztek úgy, hogy azokat nedves szűrőpapíron helyezték a kamera alá. Az infravörös képeket percenként 1 képkocka sebességgel rögzítették 4 napon keresztül magok esetében, illetve 1 képkocka/másodperc sebességgel 170 percen keresztül zuzmók esetében. A használt FLIR A320 (FLIR, USA) kamera 8.000 képkocka feletti adatkészletet biztosít kísérletenként. Az IR kamerát 7,5–13 μm hullámhosszú spektrumtartományú, 320×240 pixeles infravörös felbontású, $30\text{ }^\circ\text{C}$ -on $<0,05\text{ }^\circ\text{C}$ hőérzékenységű mikrobolométeres fókuszsíkdetektorral szerelték fel. Az emissziós tényezőt 0,96-ra állították be, ahogy azt általában a növényi anyagoknál használják, és feljegyezték a relatív páratartalmat. Az infravörös felvételeket a minták felett körülbelül 0,5 m távolságban készítették, és a korábban már leírt módszer módosítását követően img-formátumban elemezték. A mérési eredmények alapján 30% és 100% relatív páratartalom mellett is eltérést mutattak az élő és a feltételezhetően nem életképes magok. Méréseiket azonban hosszú időn át végezték úgy, hogy a magok esetében gyakorlatilag a csírázás (vízfelvétel) folyamatát rögzítették 96 órán keresztül. Így egyrészt a vizsgált magok további vizsgálatra már nem használhatóak, génbanki szempontból ezeket a magokat elveszítjük. Másik fontos részlet, hogy a csíráztatás protokollja ezekben az esetekben nem biztos, hogy megfelel a különböző, adott fajra vonatkozó szabványoknak, így kérdéses, hogy valós-e az eredmény, ami szerint egy adott mag nem csírázott.

ElMasry és munkatársai cikkükben átfogó áttekintést adnak a hőkamerás képalkotó rendszerek magokra történő alkalmazására vonatkozó kutatásokat illetően, beleértve a magok életképességének becslését, gomba- és rovarok általi károk kimutatását, a magokat ért sérülések és szennyeződések vizsgálatát, valamint azok fajtaazonosítását és osztályozását. (ElMasry 2020). A cikk hangsúlyozza, hogy a termikus képalkotó rendszerekkel végzett mérések érintésmentesek, így nem károsítják a vizsgált magot, szemben a laboratóriumi roncsolásos vizsgálatokkal, melyek idő- és munkaigényesebbek is. A cikk szerzői borsó- és salátamagok biokémiai/biofizikai jellemzőit vizsgálták, az egészséges és elöregedett magvak közti

különbséget meg tudták állapítani a magok vízfelvételének, tartalék tápanyagaik lebontásának sebessége által. Az egészséges és öreg magvakat 24, 48, 72, 96, 120, 144 és 168 órás időtartamokban vizsgálták, a kinyert hőmérsékleti adatok segítségével modellt alkottak. Borsómagvak életképességének vizsgálatát ElMasry és munkatársai a következő módszerrel is végezték: infravörös és látható képeket készítettek 5 napon keresztül 5 percenként. Az így kinyert adatokból hőmérséklet-idő görbét készítettek. Kutatás irányult továbbá arra is, hogy miként befolyásolja egy mag életképességét egy gombás fertőzés. Ezek a tényezők már jelentősen megváltoztathatják a magvak hőmérsékleti profilját. Kanadai búzafajták hőképét úgy vizsgálták a szerzők, hogy 180 másodpercig melegítették, majd 30 másodpercig hűtötték a magokat. Ilyen vizsgálatoknál a magok hőmérséklet-emelkedésének mértéke a nedvességtartalmuktól erősen függ. A cikkben megemlített módszerek csak érintőlegesen vannak elénk tárva, így az teljes, konkrét mérési módszert nem tartalmaz.

Liu és munkatársai cikkükben megállapítják, hogy magok életképességi vizsgálatát nagyban megkönnyíti a non-invazív, nagy felbontású infravörös thermográfia módszere (Liu et al. 2020). A szibériai szil magjait 30 éves fákról gyűjtötték, szobahőmérsékleten szárították 4 napig, majd a vizsgálatig -20°C -on nylon tasakban tárolták. Vizsgálták továbbá a következő fajokat is: kínai szúrósfenyő, fehér akác, szójabab, rizs, kukorica, paradicsom, melyek magjait 4°C -on tárolták használat előtt kb. 1 évig. A szibériai szil vizsgálatát 0, 24, 48, 72, 96 és 120 óra elteltével végezték el. A magokat mesterségesen öregítették a kísérlethez, majd csíráztatták azokat, ennek során készítették a hőkamerás képeket.

Thakur és munkatársai hagymamagok „infravörös termikus lenyomatát” vizsgálták (Thakur et al. 2021). A méréseket 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36 és 52 órán keresztül végezték zárt kamrában, amely közel állandó környezeti viszonyokat tudott biztosítani. A kamera 90 cm-re helyezkedett el a vizsgált magoktól. A mérések előtt 2 órát biztosítottak a körülmények optimalizálásához. A magok között elegendő távolságot biztosítottak a hőhidak elkerülése érdekében.

2.5. Digitális képfeldolgozás, magmorfometria

A számítógépes képfeldolgozás célja és lényege, hogy a környezetünkből származó vizuális információt a számítógép segítségével feldolgozzuk és kiértékeljük. A digitális képfeldolgozás új lehetőségeket kínál számos tudományterület számára, köztük az agrártudományokban is. Mivel a

képfeldolgozási műveletek jelentős mértékben és egzakt módon automatizálhatók, így a szubjektív hatások teljes mértékben kiiktathatók. Manapság ez az egyik leggyorsabban fejlődő tudományág (Berke et al. 2010).

A magmorfometria a magok vizsgálatára irányuló digitális képfeldolgozási módszer (Csákvári et al. 2017). Ennek keretében korábban régészeti ásatások során fellelt magokat vizsgálták, majd később számos eredmény született génbanki magtételek és egyéb gyűjtött magtételek vizsgálata során (Gyulai és Rovner 2004, Rovner és Gyulai 2007, Gyulai et al. 2011). Biztató eredmények születtek az elmúlt években alakor és szőlő magmorfometriai vizsgálata során fajtaelkülönítés tekintetében (Mravcsik 2019, Emódi 2020).

2.5.1. Hőkamerás képérzékelő rendszerek

A hőkamera a gyakorlatban infravörös tartományban érzékeli az elektromágneses hullámokat. Működési tartományai általában 3–5 μm , illetve 8–14 μm . Az érzékelő felületére a hőfelvételt speciális optikával képezik le, amely ezekben a hullámhossztartományokban is megfelelően működik. A szobahőmérsékletű testek kb. 10 μm hullámhossznál (FIR – Far Infrared) sugároznak maximális energiával (Berke et al. 2010).

A hőkamerák műszaki fejlődésében áttörést jelentett a francia ULIS cég által megalkotott mikrobolométer alapú FIR érzékelő eszköz. Ez fontos előrelépés, mert amellet, hogy jó felbontású és kiváló érzékenységű rendszer, nem igényel hűtést.

2.5.2. A távérzékelés alapvető fizikai törvényei

A hőkamerás vizsgálatok fizikai háttere rendkívül fontos, hiszen ennek ismeretében lehet kialakítani a vizsgálati módszert, és megtervezni az egyes méréseket. Ideális esetben ilyennek tekintjük a fekete testet. Tudjuk, hogy a fekete test „minden sugárzást teljes mértékben elnyel egy adott, de tetszőleges hőmérsékleten, és az összes elnyelt sugárzást maradéktalanul vissza is sugározza, így az elnyelt és a kibocsátott sugárzás aránya állandó, nem függ az anyagi minőségtől” (Berke et al. 2010).

Max Planck német fizikus fedezte fel hogy az energia diszkrét csomagokban (kvantumokban) adható le/vehető fel. A sugárzás nem vehet fel tetszőleges értéket, hanem egy adott energiaadag egész számú többszöröse lehet, ezért egy energiakvantum értéke csak a frekvenciától függ, vagyis egy részecske energiája a

sugárzás frekvenciájának és a Planck állandó szorzatával egyenlő (Planck 1902, Nagy 2001):

$$E = h \times \nu$$

ahol E: energia (J),
h: Planck-állandó ($6,625 \times 10^{-34}$ Js),
ν: frekvencia (Hz).

A kvantum elektromágneses hullámelmélet alapján [$E = hc/\lambda$, ahol c = fénysebesség (3×10^8 m/s, vákuumban) és λ = hullámhossz] egy kvantum energiája fordítottan arányos a hullámhosszával, tehát az energiamennyiség annál kisebb, minél nagyobb a hullámhossz.

Az abszolút fekete test által kibocsátott sugárzásnak a hullámhossz szerinti energiaeioszlását definiálja a Planck-féle sugárzási törvény: egy T hőmérsékletű, abszolút fekete test egységnyi felületéről adott idő alatt kibocsátott λ hullámhosszúságú sugárzás energiája (Planck 1902):

$$E = \frac{c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{ch}{k\lambda T}} - 1}$$

ahol
c: fénysebesség (299 792 458 m/s),
h: Planck-állandó ($6,62606957 \times 10^{-34}$ Js),
k: Boltzmann-állandó ($k = 1,380 649 \cdot 10^{-23}$ J/K).

A Planck-féle sugárzási törvény segítségével írható le a fekete test hullámhosszfüggése (Planck-görbe), melynek frekvencia szerinti határozott integrálja adja a teljes kibocsátott sugárzási teljesítményt. A kibocsátott teljes energiamennyiség annál nagyobb, minél nagyobb a sugárforrás hőmérséklete. A Stefan–Boltzmann-féle sugárzási törvény szerint egy fekete test által kisugárzott fajlagos energia (emittancia) arányos a sugárzó test abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával:

$$R = \sigma T^4$$

ahol
R: emittancia (W/m²),
σ: Stefan-Boltzmann állandó ($5,6697 \times 10^{-8}$ W/m²K⁻⁴),
T: abszolút hőmérséklet (K).

Az elektromágneses sugárzás hullámhosszeloszlása tehát csak az abszolút hőmérséklettől függ, a test anyagától nem, ezért hőmérsékleti sugárzásnak is nevezik.

A valós anyagok emissziós és abszorpciós képessége anyagfüggő, azonban ezen két mennyiség hányadosa anyagi minőségtől független állandó (Kirchhoff törvény), (Schowengerdt, 2007):

$$E(\nu, T) = \frac{e(\nu, T)}{a(\nu, T)}$$

ahol

$e(\nu, T)$: a T hőmérsékletű test egységnyi felülete által egységnyi idő alatt egységnyi tartományban kisugárzott elektromágneses energiája (teljesítménysűrűség/frekvencia),

$a(\nu, T)$: a T hőmérsékletű test a ráeső elektromágneses energia hányad részét nyeli el egységnyi frekvenciatartományban (dimenziótlan).

A Wien-féle eltolódási törvény alapján a fekete test sugárzási görbéje az alábbi összefüggés szerint függ a fekete test hőmérsékletétől:

$$\lambda_{\max} T = A$$

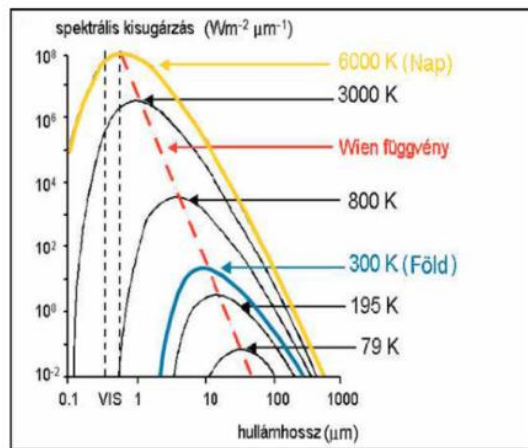
ahol

λ_{\max} : maximális energiahozamú spektrális sugárzás hullámhossza (μm),

T: abszolút hőmérséklet (K),

A: állandó, $2898 \mu\text{mK}$.

A maximális energiájú spektrális sugárzáshoz tartozó hullámhossz (Planck görbe maximuma) és az abszolút hőmérséklet szorzata állandó, ezek szerint az abszolút hőmérséklet növekedésével ez a maximum a rövidebb hullámok felé tolódik el (7. ábra).



7. ábra. Különböző hőmérsékletű testek sugárzási görbéi (Buiten 1993)

A gyakorlatban a kibocsátott sugárzási energia maximumát az objektum hőmérséklete befolyásolja (De Loor 1993). Egy 6000K hőmérsékletű fekete test (hasonló sugárzó forrás a Nap) a maximális spektrális energiáját a látható tartományban kb. 0,5 μm hullámhossz esetén bocsátja ki. A földfelszín átlagos hőmérséklete 300 K, ennél a hőmérsékletnél a sugárzási görbe 9,7 μm -nél éri el a maximumát, ez a termális infravörös csúcs, amely csak speciális szenzorokkal érzékelhető (Berke - Kozma- Bognár 2010).

Az elektromágneses spektrum tartományait az alábbi, 1. táblázat mutatja be (Sabins 1987):

1. táblázat: Az elektromágneses spektrum tartományai

Hullámhossz tartomány megnevezése		Hullámhossz tartomány
gamma-sugárzás		<0,03 nm
röntgen-sugárzás		0,03-3,0 nm
ultraibolya-sugárzás		0,03-0,4 μm
	fotózásra alkalmas	0,3-0,4 μm
látható fény		0,4-0,7 μm
infravörös		0,7-100 μm
	visszavert infravörös	0,7-3,0 μm
	<u>termális infravörös</u>	3,0-5,0 μm , 8,0-14,0
mikrohullámú sugárzás		0,1-30 cm
	radar	0,1-30 cm
rádióhullámok		>30 cm

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A vizsgálni kívánt fajok meghatározása (maganyag)

A fajok kiválasztásánál a hőkamerás mérések sajátosságának megfelelően fontos szempont volt, hogy különböző méretű és formájú magokat vizsgáljunk olyan fajokból, amelyek a génbankban megfelelően reprezentáltak. Ezt követően olyan fajokra fókuszáltunk, amelyek jelentős génbanki gyűjteményekkel rendelkeznek és a hazai mezőgazdaságban fontos szerepet töltenek be. A kezdeti mérések során bebizonyosodott róluk, hogy jól mérhetőek, a mérési módszerbe és rendszerbe illeszthetőek.

Ennek megfelelően az alábbi fajok génbanki tételei szerepeltek a hőkamerás méréseken (2. táblázat):

2. táblázat: a hőkamerás vizsgálatokba bevont génbanki tételek listája

intézményi azonosító	növényfaj	magyar növénynév	fajtanév	beszerzés éve	gyűjtés helye
RCAT003611	Triticum aestivum L.	Közönséges búza	Martonvásári 12 (Mv. 12) (Mv. 06-79)	1979	
RCAT014479	Zea mays L.	Kukorica	Florentini 8 soros (T-372)	1978	Szendrőlád
RCAT014988	Zea mays L.	Kukorica	Valticka		
RCAT014640	Zea mays L.	Kukorica	Valticka		
RCAT017513	Panicum miliaceum L.	Termesztett köles	Tápiószentmártoni tf.	1987	Tápiószentmárton
RCAT017703	Phaseolus vulgaris L.	Veteménybab	GH-162.		
RCAT017757	Phaseolus vulgaris L.	Veteménybab	The Prince	1962	
RCAT017817	Phaseolus vulgaris L.	Veteménybab	Extender	1963	
RCAT018955	Phaseolus vulgaris L.	Veteménybab	Prinsa	1957	
RCAT067091	Phaseolus vulgaris L.	Veteménybab	Mezőnagymihályi tf.	1994	Mezőnagymihály
RCAT019270	Phaseolus vulgaris L.	Veteménybab	Magyi tf. ("Helmeci bab")		
RCAT019866	Phaseolus vulgaris L.	Veteménybab	Bodrogolaszi tf.	1960	Bodrogolaszi
RCAT024077	Cicer arietinum L.	Csicseriborsó	FLIP 81-39	1982	
RCAT024574	Cicer arietinum L.	Csicseriborsó	Békéscsabai tf.	1987	Békéscsaba
RCAT038201	Helianthus annuus L.	Közönséges napraforgó		1989	
RCAT038505	Helianthus annuus L.	Közönséges napraforgó	Nagykállói tf.	1990	Nagykálló
RCAT055754	Helianthus annuus L.	Közönséges napraforgó	Egreskátai tf.	2002	Nagykátá
RCAT072087	Triticum monococcum L.	Alakor	(tf.) FAZEKAS-2970	1998	
RCAT072092	Triticum monococcum L.	Alakor	(tf.) JANICS-2400	1998	
RCAT002725	Triticum monococcum L.	Alakor			

3.1.2. A magok előkészítésének módszere

A vizsgálni kívánt magok bármely növényfajhoz tartozhatnak. A mérést megelőzően a magok szárítása 10–25 °C-on és 10–15% relatív páratartalom mellett történik szárítókamra vagy szárítóanyag segítségével. A magok fajtól függően a szárítást követően átlagosan 3 és 7% közötti nedvességtartalommal rendelkeznek. Ezt követően a vizsgált magtétel legalább 24 órára, de lehetőleg minél hosszabb időre -18 °C ± 3 °C hőmérsékletre kerülnek zárt edényzetben, vagy a méréshez használt speciális 2850 × 1800 mm nagyságú kartontálcára helyezve „no frost” üzemű fagyasztószekrénybe szabadon annak érdekében, hogy a pára ne csapódjon le és fagyjon meg a vizsgálni kívánt magok felületén. A tárolóedényzet kulcsfontosságú (Gómez 2006). Anyaga lehet hermetikusan lezárt üveg, vagy 3 rétegű alumínium-műanyag tasak hegesztett zárással.

A mérést végzőknek figyelemmel kell lenniük arra, hogy a száraz, és különösen a nagyon száraz magvak gyakran törékenyek, és így érzékenyek a mechanikai károsodásra. A génbankban lévő magmintákat ennek megfelelően mindig óvatosan kell kezelni, lehetőleg mozgásuk során nem szabad rázni, rázkódtatni, és az ütődésektől védeni kell.

3.1.3. A magok csíráztatásának módszere

A magok csíráztatását az adott fajra vonatkozó hazai szabványnak, vagy nemzetközi ajánlásoknak megfelelően végeztem. Ahogy fentebb jeleztem, az életképesség meghatározását célzó hőkamerás vizsgálatok három növényfajt érintettek: kukorica, alakor, veteménybab. Az alábbiakban erre a három fajra vonatkozó csíráztatási protokollok láthatóak (3. táblázat).

3. táblázat: Csíráztatási eljárások a Magyar Szabvány és az ISTA (International Seed Testing Association) szerint

Faj neve	csíráztató közeg	csíráztatási hőmérséklet (°C)	Csíranövény értékelés (napon)		A nyugvó magvakra alkalmazható előkezelések, eljárások	Szabvány
			első	utolsó		
Phaseolus vulgaris L.	BP; TPS; S	20-30; 25; 20	5	9		ISTA
Phaseolus vulgaris L.	S; BP	20; 20-30; 25	5	9	Szórt fény	MSZ (2008)
Triticum spp.	TP; S; BP	20	4	8	E; GA ₃ ; Előszáritva 30-35 °C	MSZ (2008)
Zea mays L.	BP; TPS; S	20-30; 25; 20	4	7		ISTA
Zea mays L.	S; BP	25; 20-30; 20	4	7		MSZ (2008)

Jelmagyarázat:

BP= between paper (szűrőpapír között)

S= sand (homokban)

TPS= top of sand (homok tetején)

E= előhűtés

GA₃= gibberellinsav oldat használata (250mg/l töménységben)

20-30= váltakoztató hőmérséklet (a mag 16 órán keresztül 20 °C-on, 8 órán keresztül 30°C-on van)

A csíráztatást a tápiószelei génbank Életképességi laboratóriumában végeztük a vonatkozó szabványoknak, előírásoknak megfelelően. A magokat egyenként, beazonosítható módon csíráztattuk annak érdekében, hogy a felvételen látható, adott maghoz tartozó mérés összehasonlítható legyen a csíráztatási eredményekkel.

3.2. Alkalmazott módszerek és eszközök bemutatása

3.2.1. A hőkamerás vizsgálatokhoz alkalmazott eszközök jellemzése

A vizsgálni kívánt tételek begyűjtése, előkészítése után következett a számítógépes mérésekhez nélkülözhetetlen digitalizált képek megalkotása. Ehhez egy speciális kialakítású hőkamerát használtunk, amelynek részletes paraméterei az alábbiakban olvashatóak (4. és 5. táblázatok):

4. táblázat: A 2016-tól 2019-ig használt hőkamera műszaki paraméterei

Speciális génbanki vizsgálatokhoz egyedi építésű hőkamera rendszer I. (2016-tól 2019-ig)	
Érzékelő típusa:	hűtetlen FPA mikrobolométer
Zoom:	×1
Pixelszám:	384 × 288
Beépített képalkotó eszközök:	hőkamera (16 bit/pixel)
Kimenetek:	USB
Spektrális érzékenység:	min. 50mK@300K, 50Hz
Mérési korrekciók:	automatikus
Tápellátás:	akku és Külső adapter (230V AC, 50Hz)
Páratartalom működtetés:	10%-95%, nem kondenzálódó
Mérési tartomány:	-30 °C-tól +1000 °C-ig
Spektrális tartomány:	8–14 mikron

5. táblázat: A 2020-tól használt hőkamera műszaki paraméterei

Speciális génbanki vizsgálatokhoz egyedi építésű hőkamera rendszer II. (2020-tól)	
Érzékelő típusa:	hűtetlen FPA mikrobolométer
Zoom:	×1, ×2 (digitális zoom feldolgozó szoftverrel)
Pixelszám:	640 × 480
Beépített képalkotó eszközök:	hőkamera (16 bit/pixel)
Kimenetek:	USB, külső display kapcsolat
Spektrális érzékenység:	min. 30mK@300K, 50 Hz
Mérési korrekciók:	automatikus (külső hőmérséklet, távolság, relatív páratartalom)
Tápellátás:	akku és külső adapter (230V AC, 50Hz)
Páratartalom működtetés:	10%–95%, nem kondenzálódó
Mérési tartomány:	-30 °C-tól +1000 °C-ig
Spektrális tartomány:	8–14 mikron

Az alkalmazott hőkamera egy hazai fejlesztésű kamerarendszer. Olyan egyedi megoldásokkal rendelkezik, amelyek a magok vizsgálatához szükséges megfelelő pontosságú, megbízható adatgyűjtést tesznek lehetővé a felvételezések során. Az egyedi fejlesztéseknek köszönhetően a hőérzékenysége 25 mK, ami a piacon

jelenlévő kamerarendszerekhez viszony tv  dupla nagys g nak tekinthető. Ezzel a kis hőmérsékleti különbségek is észlelhetőek, amely elengedhetetlen a magokon belül jelentkező eltérő hőmérsékletű szerkezeti elemek, valamint a gyors hőingadozás megjelenítéséhez. A mérési tartomány skálázható,  gy a vizsgálati célhoz igaz that an a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ -t l akár $+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig is v gezh t nk felméréseket. További előnye az objektumok méretéhez igazítható látószög beállítása. A különböző méretű magok, melyek mm vagy cm nagyságrendűek is lehetnek, egy kamerarendszerrel monitorozhat ak, nem kell más felv v rendszert használni a vizsgálatok során.

A távérzékelő-rendszer segítségével külső beavatkozás nélkül tudunk információt gyűjteni a vizsgálat t rgy r l, a magokról anélkül, hogy bármilyen fizikai roncsolást v gezn nk rajtuk. A hőkamera használatával kiválthatjuk a hagyományos életképesség-, vagy cs rak pess g-vizsgálatokat, melyek elvégzését követően a mag már nem használható további vizsgálatokra. M ivel ez utóbbiak veszteséget okoznak kevesebb lesz a vizsg lathat  objektumok száma. Sok esetben a rendelkezésre álló véges számú készleteket tekintve ez egyáltalán nem elhanyagolható tényező. A hőkamerás felvételezések során a magok élettani paraméterei sem változnak,  gy a későbbiek folyamán a cs rak pess g k megmarad, természetesen abban az esetben, amennyiben a mag a vizsgálat előtt is cs rak pes volt. M ivel semmilyen befolyásoló hatása nem ismert az általunk fejlesztett rendszernek,  z rt a vizsgálat bármikor megismételhető, újra elv gezh t  anélkül, hogy magokat a további vizsgálatokból kivonnánk.

A hőmérséklet és páratartalom mérésére valamennyi mérési helyszínen a Testo 174 H adatgy jtv  készüléket használtuk (8.  bra). Az eszköz folyamatosan képes mérni és rögzíteni a levegő hőmérsékletét, relatív páratartalmát. A mért értékek a hozzá tartozó ingyenes, excel export funkcióval ellátott, ComSoft Basic szoftverrel megtekinthetőek. A Testo 174 H számos beállítási lehetőséget biztosít, amellyel egyszerűen lehet rögzíteni a szükséges adatokat.



8. ábra. A mérési helyszíneken a hőmérséklet és páratartalom mérésére használt Testo 174 H készülék

3.2.2. Alkalmazott digitális módszerek és szoftverek

A magok hőkamerás vizsgálata során szükséges olyan szoftverek alkalmazása, amelyekkel a kívánt műveletek elvégezhetők. Ezeknek a szoftvereknek a száma és a megbízhatósága jelentősen megnőtt az elmúlt években.

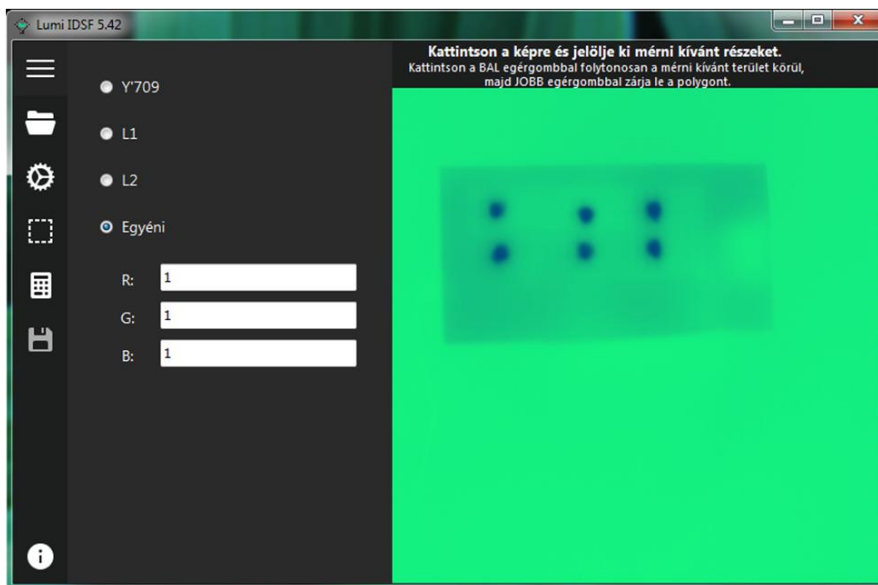
Az általam végzett munka a magok hőkamerás vizsgálata, amihez két programot használtam: Lumi szoftver és IRPlayer szoftver.

3.2.2.1. Lumi szoftver

A képelemzés során általában minőségi és mennyiségi információkat várunk a vizsgálati folyamatok végén.

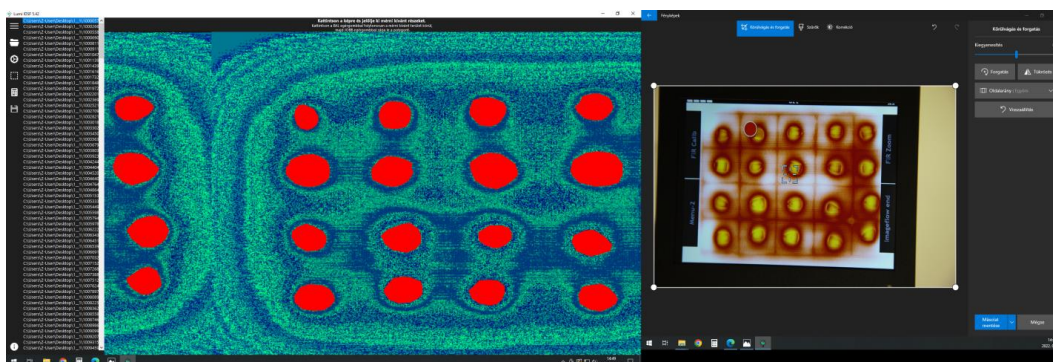
A Lumi IDSF 5.42 program kötegelt digitális képek intenzitásának mérésére alkalmas beépített (pl. Y'709, L1 vagy L2) és tetszőlegesen definiálható (Egyéni) függvény alapján.

A 9. ábra mutatja a program felhasználói felületét. A hat ikonon felülről lefelé történő kattintással végezhető el a teljes mérés.



9. ábra. Kötegelt FIR képek feldolgozására alkalmas Lumi program mérés közben

A Lumi program sávonként 8/16 bit TIFF formátumú képek feldolgozására alkalmas.



10. ábra. A magminták szoftveres kijelölése (jobb oldalon a kamera kijelzőjén látható kép, bal oldalon a mérőszoftver által megjelenített felvétel látható)

A 10. ábrán látható, hogy a magok teljes felületén történik a kijelölés, amely nem pontszerű. A kamera által mért és a 3. ábrán látható teljes terület 640×480 pixel, a kijelölt terület ennek 9%-a (fajonként eltér). A kijelölt területekhez tartozó pixelek intenzitásának átlagát méri a szoftver, a képen ez magonként átlagosan 1400 pixel. Az intenzitás az emittált energiának az átlagaként kezelhető. Ez a mért érték az energialeadás digitális értéke pixelenként.

3.2.2.2. IRPlayer 4.0

Az IRPlayer a Hexium Kft. által speciális labormérésekhez kifejlesztett hőkamerájának egyedi fájlformátumát kezelő szoftver.

A program a labormérések során a kamerába beépített, valamint a külső vezérlő szoftverrel létrehozott képi adatok kezelését is elvégzi.

Az adatkezelési funkciókat tekintve 5 fő programmodulból épül fel. Az IRPlayer szoftver 4.0 verziójában az alábbi programmodulok foglalnak helyet (11. ábra):

1. Képi adatok beolvasása

A modul a képi adatok beolvasása esetében kizárólag a fejlesztő cég által előállított kamerák adatait tudja kezelni, ezen állományok kiterjesztése: .idsf.

2. Állományok összefűzése

Bár a kamera képes több órán át tartó összefüggő mérésre és ezen adatok egy állományba történő rögzítésére, amennyiben mégis több rögzített fájl egyetlen állománnyá történő egyesítésre van szükségünk, a szoftver segítségével ez is megoldható.

3. Alapvető pontszerű mérési funkciók

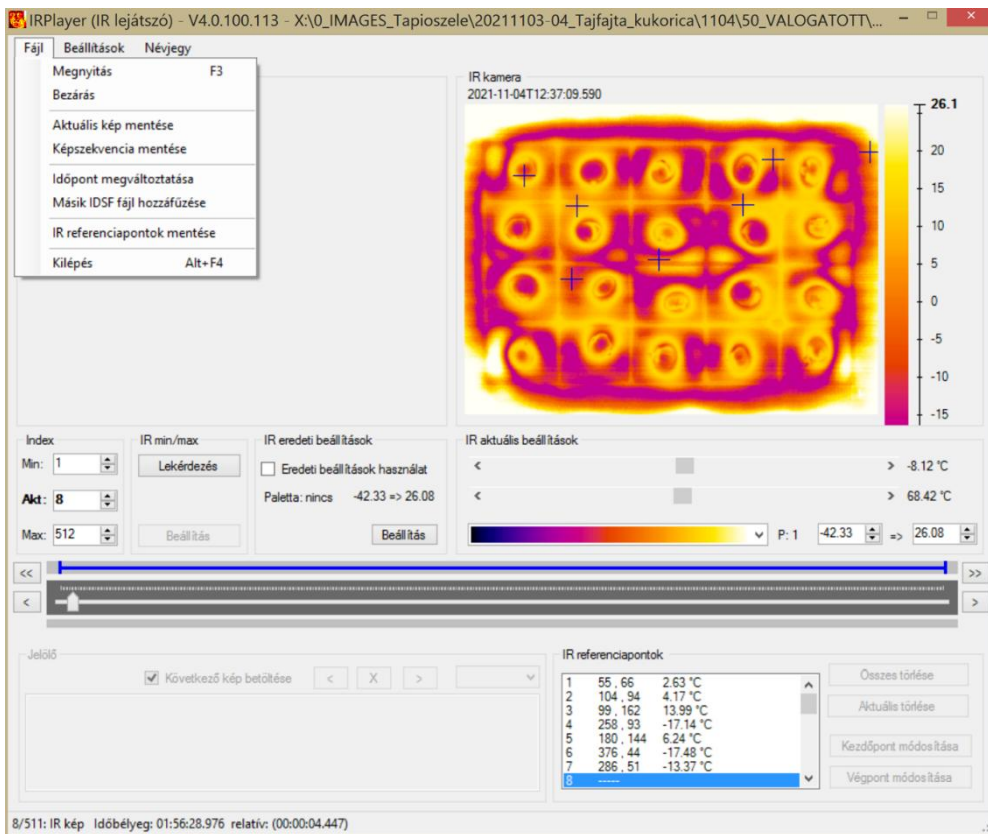
A betöltött kép tetszőleges pontja szátkereszttel kijelölhető, és ezek hőmérsékleti adatai kijelzésre kerülnek, illetve kimenthetők.

4. Beépített paletták (Look-Up Table) választása

Különböző alkalmazási célokra kifejlesztésre került paletták választhatók a megjelenítéshez.

5. Adatkonverzió, adatmentés

Az .idsf kiterjesztésű állományokból a program képes pixelenkénti intenzitásértékek vagy abszolút hőmérsékleti adatok megjelenítésére. Támogatott adatmentési fájlformátumok: bmp, .tif, .jpg, .raw, .cvs, .avi, .xml



11. ábra. Az IRPlayer 4.0 szoftver kezelőfelülete

3.3. A hőkamerás mérések helyszínei

A méréseket 2013 és 2022 között mindösszesen 4 helyszínen végeztük. A helyszínek változtatására azért volt szükség, mert az első mérések elvégzése után kiderült, hogy speciális körülmények szükségesek a megfelelő mérési eredmények elérése érdekében.

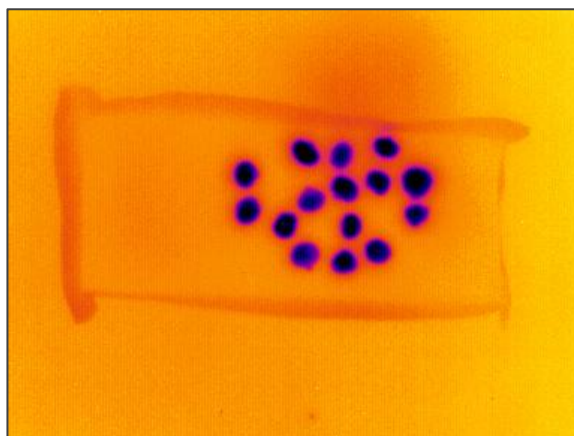
3.3.1. Az 1. helyszín

A legelső méréseket (2013. 09. 17.) egy általános laborban végeztük szobahőmérsékleten (12. ábra). Kezdetben a magok melegítésével próbálkoztunk, és azok hűlési folyamatát vizsgáltuk hőkamerával. A melegítést infralámpával végeztük, majd a felmelegített magok lehűlését néztük hőkamerával. Mindösszesen 5 faj magmintáit vizsgáltuk. A magminták elhelyezése ekkor még nem a később használt rácsrendszerben történt, hanem véletlenszerűen, egymástól különböző távolságra.

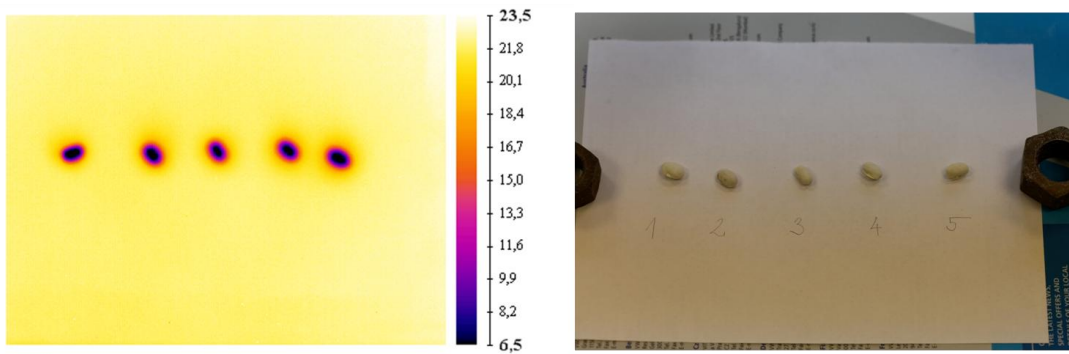


12. ábra. Az első hőkamera, állványon egy általános laborban Tápiószelén

A következő mérésen (2013. 11. 09.) a magok hűtését követően a magok felmelegedését vizsgáltuk hőkamerával. A magok hűtése egyrészt hűtőszekrényben (6 és 7,9 °C), illetve mélyhűtőben (-2 – -33,7 °C) történt. A felvételeken először véletlenszerűen véletlen mennyiségű magot helyeztünk el (13. ábra), majd egyszerre 5 magot, egymástól megfelelő távolságra úgy, hogy ne befolyásolják egymást hőfelvétel tekintetében. Az utóbbi felvételezés során készült mintaképek az 14. ábrán láthatóak.



13. ábra. Magok véletlenszerűen a hőkamera alatt



14. ábra. Veteménybab FIR (balra) és VIS (jobbra – „visible” látható) felvétele

Az ezt követő méréseken hűtött napraforgó magminták látható- és hőtartományban történő felvételezése következett (2014. január 23. és 2015. február 27. között). A várható effektusok akkor mutatkoztak, mikor a legnagyobb volt a levegő-mag hőmérsékletkülönbség, azaz a magok áthelyezését a mérőasztalra a lehető leggyorsabban kellett elvégezni. Ekkor már papír alapra készített rácsot használtunk a méréshez, amelynek köszönhetően egyszerre 20 db magot tudtunk vizsgálni. A mérési eredmények azt igazolták, hogy a mérőtér páratartalma döntően befolyásolja a kapott eredményeket. A mért magok felületén a felmelegedés során kicsapódó pára, valamint a magok felületére a fagyasztás során esetlegesen ráfagyó pára ugyanis egyértelműen befolyásolta a kapott eredményeket. Ebből adódóan olyan mérési helyszínt kerestünk, amely megfelelően magas páratartalommal rendelkezik a mérés teljes hossza során.

3.3.2. A 2. helyszín

Állandó páratartalommal rendelkező mérési helyszín két esetben lehetséges: ha természetes magas páratartalommal rendelkezik a helyszín, vagy ha mesterségesen fenntartott folyamatosan magas páratartalmú a laboratórium. Mivel utóbbi infrastruktúra nem állt rendelkezésünkre, ezért olyan természetesen magas páratartalmú helyszínt kerestünk, ahol lebonyolíthatóak a mérések a magok hűtésével együtt.

A Nemzeti Biodiverzitás- és Génmegőrzési Központ két hűtőtárolót működtet az Esztramos-hegy egyik elhagyott bányajáratában az Aggteleki Nemzeti Park területén a biztonsági duplikátumok megőrzése céljából. A bányajárat természetes páratartalma állandónak tekinthető, és általában eléri a 70%-ot. A mérések helyszíne az Esztramos-hegy bányajárata volt (15. ábra). A páratartalom méréseink alapján

valóban folyamatosan 70% feletti volt, és a -20 °C -on üzemeltetett hűtőtárolók megfelelőnek bizonyultak a magok hűtéséhez.



15. ábra. Hőkamerás mérés az Esztramos-hegy bányajáratában 2015-ben

3.3.3. A 3. helyszín

Az Esztramos-hegy bányajáratában történt méréseket követően Tápíószelén az egyik használaton kívüli hűtőkamrát próbáltuk meg átalakítani mérési laborrá (16. ábra). Állandó hőmérséklet és emelt páratartalom mellett próbáltunk stabil, megfelelő körülményeket biztosítani a mérésekhez. A magok hűtését a bányajáratban elhelyezett -20 °C -os tárolóban valósítottuk meg. 2015. 07. 30. és 2016. 02. 11. között folytattunk méréseket a kialakított laborban.



16. ábra. Hőkamerás mérés Tápíószelén hűtőtárolóban 2016. február 11-én

3.3.4. A 4. helyszín

2019-ben sikerült megkezdeni egy olyan mérőlabor kialakítását, amely kifejezetten magok hőkamerás mérésére szolgál. A labort egy konténerből alakítottuk ki. Az állandó magas páratartalmat párasító berendezés, az állandó hőmérsékletet pedig hűtő-fűtő berendezés biztosítja. A kamera egy plexi kalitkával körülvett speciális állványon helyezkedik el, hogy teljesen zárt mérési teret alkosson a laboron belül. Ez biztosítja, hogy a külső hatások (pl. a levegő mozgása, áramlása, a kutatók mozgása stb.) ne befolyásolják a méréseket, és minél pontosabb mérési eredményt kapjunk. A mérőlabort olyan új kamerával szereltük fel, amelyet kifejezetten magok mérésére alakítottak ki. A szigetelt tetőszerkezettel ellátott labor valamennyi évszakban megfelelő a mérések elvégzésére. 2020-tól folyamatosan zajlanak hőkamerás mérések az új laborban.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. Új módszer kidolgozása a génbankban őrzött magok hőkamerás vizsgálatára

Ahogy azt az Irodalmi áttekintés fejezetben látni lehet, a magok hőkamerás vizsgálatára nincs kialakult módszer sem hazai, sem nemzetközi viszonylatban. Ennek megfelelően nincs olyan módszer, amelyet méréseimhez alkalmazni tudtam volna. Meglévő módszer hiányában ki kellett dolgozni egy teljesen új módszert, amely a génbanki gyűjteményekben őrzött magok hőkamerás mérését teszi lehetővé. Jelen alfejezetben tehát egy módszertan leírása olvasható, de a gyakorlatban ez az egyik legfontosabb kutatási eredményem, hiszen sikerült megalkotni egy új módszert magok hőkamerás mérésére.

A meglévő tapasztalatok alapján, illetve a más területeken szerzett tapasztalatok szerint kulcsszerepe van a mérési környezetnek a mérés pontosságában és ezzel abban, hogy valós eredményeket kapjunk.

4.1.1. A vizsgálat menetének kidolgozása, a mérés folyamata

A 2013-tól 2021-ig tartó kutatás során a méréseket az alábbi folyamat szerint valósítottuk meg:

- növényfajok és fajták kiválasztása
- génbanki tétel kiválasztása
- génbanki minta kiválasztása
- magok kiválasztása
- szárított magok hűtése (-20 °C) az erre kialakított speciális rácson
- hűtött magok kamera alá helyezése rácsozattal együtt
- magminták látható és hőtartományban történő felvételezése
- nyers felvételek átalakítása, magok kijelölése, mérések kiértékelése

4.1.2. Magok előkészítése, elhelyezése, mérési környezet kialakítása

4.1.2.1. Magok előkészítése

A génbanki magtételek a tápiószelei génbankban kerültek betárolásra a nemzetközi Génbank Szabványinak (FAO 2013) megfelelően. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a magokat $-18\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ tárolási hőmérsékletről vesszük ki a mérések elvégzéséhez. A nedvességtartalmuk ekkor fajonként eltér, betároláskor

hozzávetőlegesen az alábbiak szerint alakul a dolgozatban bemutatott négy faj esetében:

- alakor: 6,9 %
- kukorica: 6,1 %
- napraforgó: 3,9 %
- veteménybab: 6,1 %

4.1.2.2. Magok elhelyezése a méréshez (magtartó közegek)

A hőkamerás mérésekhez a magokat a hőkamera látótere alá kell helyezni. Ez egy erre a célra kialakított speciális tálcán lehetséges úgy, hogy a mérőtálca elhelyezése során ne guruljanak, vagy csússzanak el a magok, illetve a kezünk/ujjaink érintése során keletkezett hőlenyomatok ne befolyásolják a mérni kívánt magok hőmérsékletét. A tálca kialakítása során számos anyagot vizsgáltunk. A tesztelés során figyeltük a magok hőmérséklet-változását, illetve a magtartó közegek magok hőmérsékletére vonatkozó befolyásoló hatását. Mindemellett olyan anyagot kerestünk, amely valamennyire megmunkálható, tehát ki lehet alakítani belőle olyan tálcát, amely praktikus, és a magok elhelyezésére alkalmas. A tesztelés során hét eltérő típusú magtartó közeget vizsgáltunk:

- agyagkerámia
- mázas agyagkerámia
- üveg
- habosított PVC (Palfoam™)
- süthető gyurma
- fa
- kartonpapír

A magtartó közegek hőkamerás tesztelése során a méréseket a magok méréséhez használt módszerrel végeztük, tehát a lehűtött anyagok felmelegedését vizsgáltuk. A mérések hossza a közeg típusától függött. Összességében 5–45 percig mértük az egyes magtartó közegeket és a rajtuk elhelyezett magokat. A speciális, nagy érzékenységgű és egyedi fejlesztésű hőkamera által készített képeket .idsf kiterjesztésű fájlok formájában mentettük el, majd a későbbi könnyebb vizuális megjelenítés érdekében .tif formátumba konvertáltuk.

Az üveg, a habosított PVC, az agyagkerámia és a mázas agyagkerámia esetében csak az anyag került bemérésre magok nélkül. Mivel már ezen anyagok

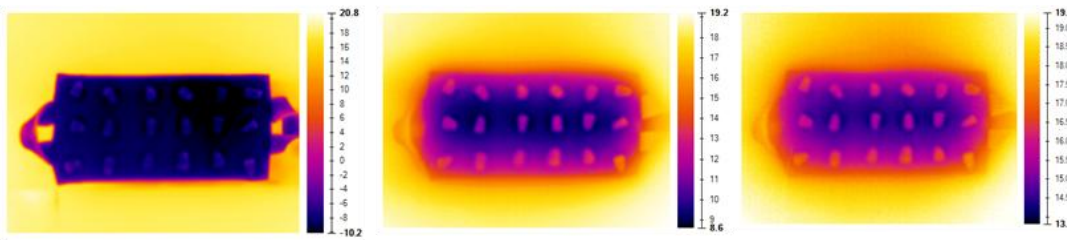
mérésénél látszódott, hogy alkalmatlanok a magok méréséhez, mert nem szigeteltek megfelelően (túl jól vezetik a hőt), azaz nem megfelelőek a használt „tálca” szerepére. Ezek további mérésére már nem került sor. Ezt követően három anyaggal dolgoztunk tovább: süthető gyurma, fa, kartonpapír.

Süthető gyurma (17. ábra) esetében a mérések során azt tapasztaltuk, hogy a gyurma hőkapacitása nagy, mely jelentősen befolyásolja a rajta elhelyezett növényi magok hőmérséklet-változását (felmelegedését), ennek megfelelően csökkenti a magok hőmérsékletének változásából levont élettani jellemzők eredményeinek megbízhatóságát. Ezen túlmenően az empirikus vizsgálatok azt mutatták, hogy a süthető gyurma esetében a mérés hossza megnő, amely a magtartó közeg hőkapacitásának tulajdonítható.



17. ábra. Süthető gyurmából készült tálcára helyezett kukorica magok

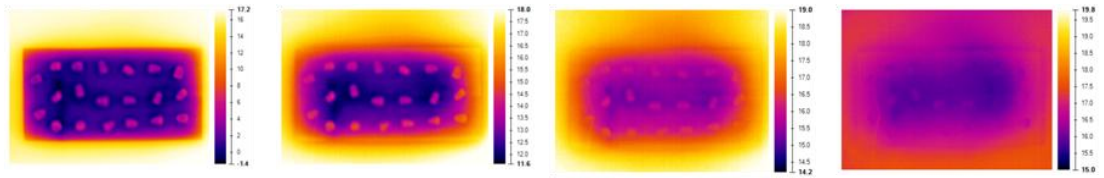
A gyurma esetében a hőkamera és a tárgyasztal távolságának megfelelő képkivágáshoz illeszkedően kialakított méretű tartóra összesen 18 db kukoricamag elkülönített elhelyezését tudtuk megvalósítani 3 × 6-os kötésben. A gyurma előzetes kialakítása (mélyedések formájában) segítette a kukoricamagok stabilitását. A mérési idő kb. 30 perc volt, a tárgyasztalon elhelyezett tartó és a magok hőmérséklet-változását ezen belül rögzítettük az egyedi fejlesztésű hőkamera alkalmazásával. A tesztelés során folyamatosan figyeltük a hőmérsékleti adatokat és azok változását a kamera kijelzőjének segítségével. A gyurma hőkapacitásából adódó hőmegtartó képessége egyértelműen látható a tesztmérés során készített felvételeken (18. ábra). Mindez jelentősen befolyásolja a növényi magok hőmérséklet-változását (a magvak felmelegedésének lassítását) és az ebből levonható élettani folyamatok eredményeinek megbízhatóságát.



18. ábra. Süthető gyurma tálcára helyezett magok hőkamerás felvételei (balról jobbra: mérés kezdetén, 10 perc és 20 perc elteltével)

A mérés folyamán készült hőkamerás felvételek alapján látható, hogy a gyurma 20 perc elteltével is alacsony hőmérsékleten marad, és közben befolyásolta a növényi magvak saját, biológiai felépítéséből adódó hőmérséklet-változását. A teszteredmények alapján a mérés során alkalmazott gyurma nem alkalmas magok hőmérsékletváltozásának mérésére, így egyéb magtartó közeg tesztelése javasolt.

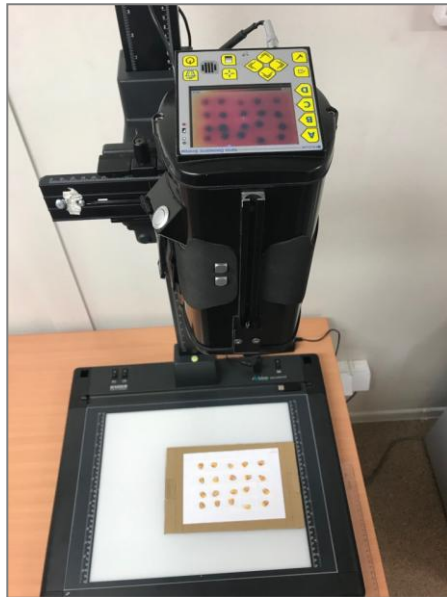
Fenyőfa deszkalap mérései során azt tapasztaltuk, hogy a gyurmához hasonlóan a fa hőkapacitása is jelentős, mely szintén nagy mértékben befolyásolja a rajta elhelyezett növényi magok hőmérsékletváltozását (felmelegedését) és ennek megfelelően a magok hőmérsékletének változásából levont élettani jellemzők eredményeinek megbízhatóságát. A mérési idő hosszára vonatkozó empirikus vizsgálatok a gyurmához hasonlóan azt mutatták, hogy a mérés hossza megnő, amely a magtartó közeg hőkapacitásának tulajdonítható. A 2 cm vastagságú fenyőfa deszkalap esetében a hőkamera és a tárgyasztal távolságának megfelelő képkihíváshoz illeszkedően kialakított méretű tartóra összesen 3×7 (azaz 21 mag) kukorica mag elkülönített elhelyezését tudtuk megvalósítani. A deszkalap kialakítása nem biztosította a stabil elhelyezkedést, mivel benne nem kerültek mélyedések kialakításra. A mérési idő ebben az esetben kb. 45 perc volt, a tárgyasztalon elhelyezett tartó és magok hőmérséklet-változása a gyurmához hasonlóan itt is ezen belül kerültek rögzítésre az egyedi fejlesztésű hőkamera alkalmazásával. A tesztelés során természetesen ezen mérés során is folyamatosan figyeltük a hőmérsékleti adatokat és azok változását a kamera kijelzőjének segítségével. A mérés kezdetekor a hűtőből való kiemelés során sajnos itt is egyértelműen láthatóak voltak a jégkristályok. Ez a jelenség a magtartó közegen és a magok felszínén is jelentkezett, bár kisebb mértékben, mint a gyurma esetében. A deszkalap hőkapacitásából adódó hőmegegyenlítő képessége egyértelműen látható a tesztmérés során készített felvételeken (19. ábra). Mindez jelentősen befolyásolja a növényi magok hőmérséklet-változását (a magvak felmelegedését lassítja), és az ebből levonható élettani folyamatok eredményeinek megbízhatóságát.



19. ábra. Hőkamerás felvételek fenyőfa deszkalap esetében (balról jobbra: mérés kezdetén, 10 perc, 20 perc és 30 perc elteltével)

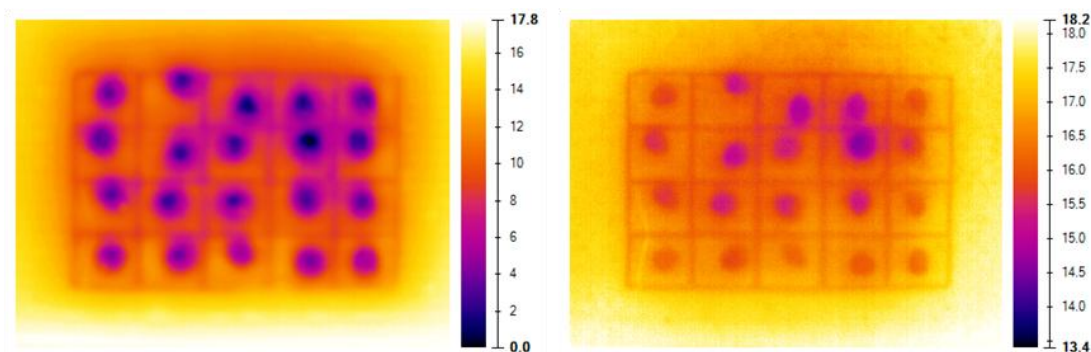
A mérés folyamán készült hőkamerás felvételek alapján egyértelműen látható, hogy a fa 30 perc elteltével is alacsony hőmérsékleten marad, és közben befolyásolja a növényi magvak saját, biológiai felépítéséből adódó hőmérséklet változását. A teszteredmények alapján a mérés során alkalmazott deszkalap nem alkalmas magok hőmérsékletváltozásának mérésére.

Kartonlap mérései során azt tapasztaltuk, hogy míg a gyurma és a deszkalap esetében a hőkapacitása nagy volt, a kartonlap esetében a hőkapacitás kisebb volt, mindez csak csekély mértékben befolyásolhatja a rajta elhelyezett magok hőmérséklet-változását (felmelegedését), és ennek megfelelően a magok hőmérsékletének változásából levont élettani jellemzők eredményeinek megbízhatóságát. A mérési idő hossza az empirikus vizsgálatok alapján a süthető gyurmaétól és a fától eltérő módon rövid volt, amely a kartonlap magtartó közegként történő alkalmazását és megfelelő hőkapacitását bizonyítja. A kartonlap esetében a hőkamera és a tárgyasztal távolságának megfelelő képkivágáshoz illeszkedően kialakított méretű tartóra összesen 4×5 db kukoricamag elkülönített elhelyezését tudtuk megvalósítani (20. ábra). A karton kialakítása úgy történt, hogy az egyes magoknak fizikailag elkülönített rács segítségével biztosítani lehetett a magok stabil elhelyezkedését.



20. ábra. Kartonlap magtartó közeg hőkamerás felvételezése

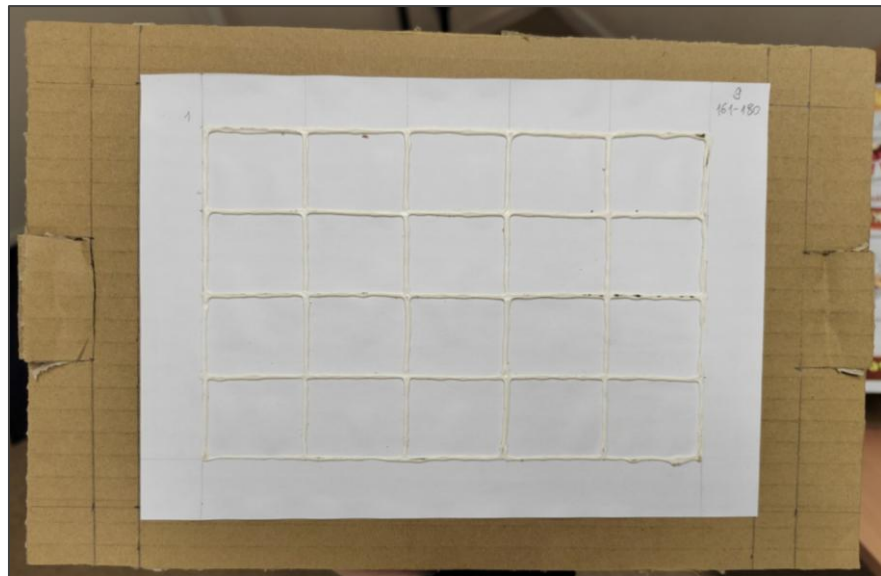
A mérési idő ebben az esetben a gyurmához és a deszkalaphoz képest jelentősen lerövidült (kb. 15 perc volt), a tárgyasztalon elhelyezett tartó és magok hőmérséklet-változása ebben az esetben is ezen időszakon belül kerültek rögzítésre az egyedi fejlesztésű hőkamera alkalmazásával. A tesztelés során természetesen ezen mérés során is folyamatosan figyeltük a hőmérsékleti adatokat és azok változását a kamera kijelzőjének segítségével. A mérés folyamán készült hőkamerás felvételek alapján egyértelműen látható, hogy a kartonlap hőmérséklete 5 perc elteltével sem változott jelentős mértékben, és a tárgyasztalhoz közeli hőmérsékleti értéket tartotta. A felvételeken látható, hogy ez a magtartó közeg szinte egyáltalán nem befolyásolta a növényi magvak saját biológiai potenciáljából adódó hőmérséklet-változását.



21. ábra. Hőkamerás felvételek kartonlap esetében (balra: mérés kezdetén, jobbra: 5 perc elteltével)

A tesztmérés során készített felvételeken látható (21. ábra), hogy a kartonlap kis hővezetéséből adódóan a jó hőszigetelő képessége miatt a hőkamerás

felvételezésekre (a másik két magtartó közeggel ellentétben) egyértelműen alkalmas. Mindezek alapján nem befolyásolja jelentősen a növényi magok hőmérsékletének változását és az ebből levonható élettani folyamatok eredményeinek megbízhatóságát. A teszteredmények alapján a mérés során alkalmazott kartonlap minősült a legkiválóbbnak a növényi magok hőmérsékletváltozásának mérésére, és magtartó közegként történő alkalmazására (22. ábra).

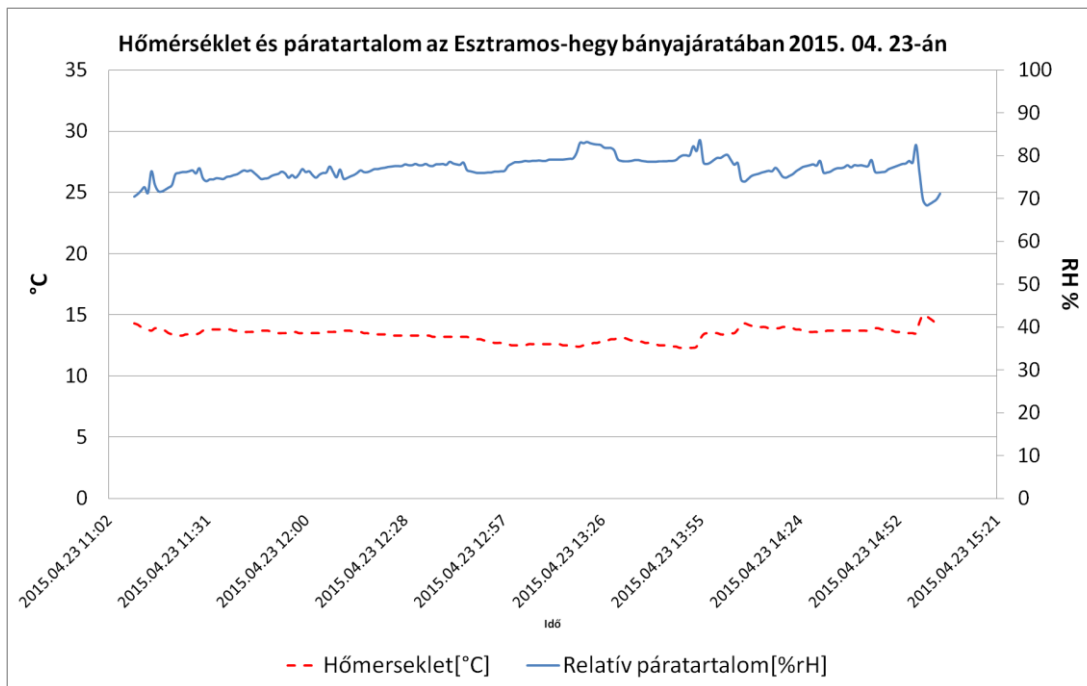


22. ábra. Speciális rácsozású karton mérőtálca magok hőkameras vizsgálatához

4.1.2.3. Mérési környezet

A mérések során egyértelművé vált, hogy a mérési környezet elsődleges fontosságú a mérési pontosság szempontjából. A magok felületén kicsapódó pára ugyanis hibás mérési eredményeket produkál. Ezért kiemelkedően fontos, hogy a mérési környezet folyamatosan magas páratartalmú és állandó hőmérsékletű legyen. Ezt elérni mesterségesen lehetséges, vagy olyan természetes körülményeket kell keresni, ahol ez adott (pl. a barlangok, bányajáratok nedves levegője stb.).

Az Esztramos-hegy bányajáratában végzett mérések szerint a helyszínen biztosított volt a folyamatosan magas páratartalom és állandó hőmérséklet (23. ábra).



23. ábra. Hőmérséklet és páratartalom az Esztramos-hegy bányajáratában a hőkameras mérések idején. Kék színnel a levegő relatív páratartalma, piros színnel a hőmérséklet görbéje látható, mindkettő állandónak tekinthető. A levegő relatív páratartalma a mérések alatt 70 és 85 % között volt, amely megfelelő mérési körülménynek tekinthető.

4.1.2.4. Magok elhelyezése

A legfontosabb, hogy annyi magot helyezünk el a kamera látóterébe, amennyi látszik a felvételen, és a magok egymástól megfelelően távol legyenek ahhoz, hogy egymást ne befolyásolják a felmelegedés során.

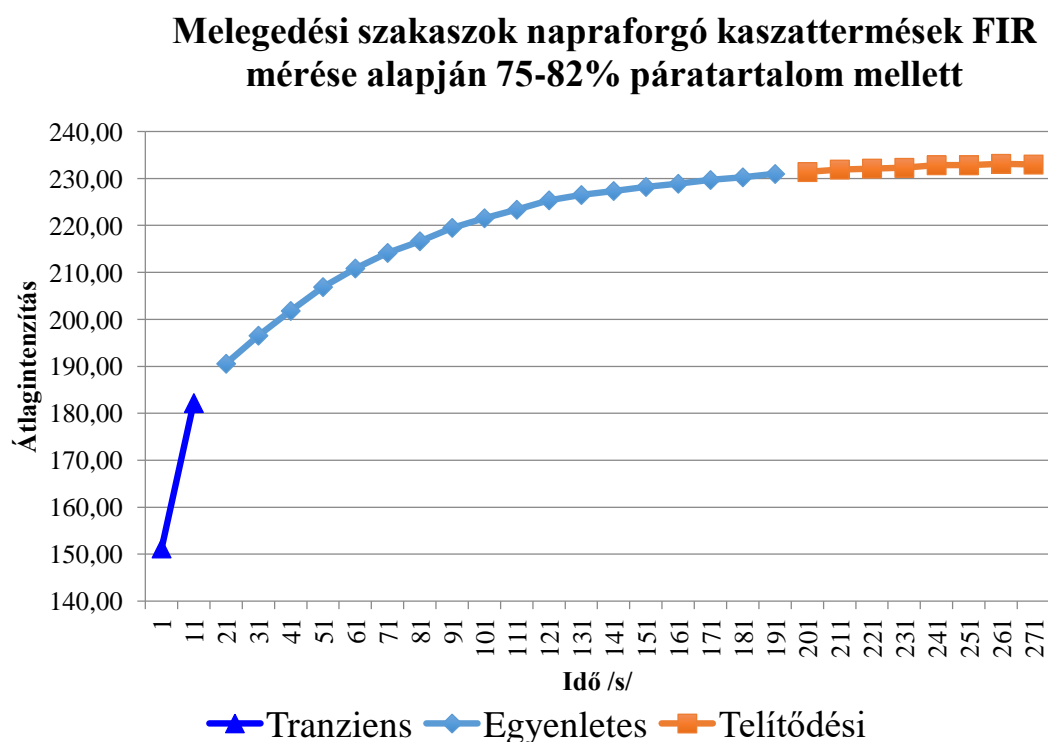
A magokat „tálcán” kell bekészíteni a hűtőbe, és csak a legszélén (peremén) lehet megfogni azt a mérőtérbe helyezés során azért, hogy ujjaink melege ne befolyásolja a magok felmelegedését. Kesztyű viselése javasolt a mérések során. A magokhoz hozzányúlni a mérés előtt nem szabad. Ha meg kell igazítani, az kizárólag csipesszel történhet.

A magok legalább 24 órát tartózkodnak a mérés előtt a -20 °C-os hűtőben. Fontos, hogy a hűtőben ne fagyjon a mag felületére a pára, mert ez befolyásolja a méréseket, és nem pontos eredményt kapunk.

4.1.2.5. A mérés hosszának meghatározása

A magoknak a hőkamera látótere alá helyezését követően a látható tartományban is jól kimutatható változások kezdődnek. A kezdeti mérések során rendkívül hosszú mérési időt határoztunk meg (több mint 1 óra), hogy lássuk, mennyi ideig mutat változásokat egy-egy magtétel a mérés folyamán. A mérések

elemzését követően kiderült, hogy a felmelegedő magok az első kb. 20 percen – mintától függően – mutatnak jelentős és jellemző változásokat, ezt követően a felmelegedés lassul. A legintenzívebb melegedés az első kb. 5 percen mérhető. A mérés során 3 egymástól elkülönülő szakaszt figyeltünk meg, amely minden fajra jellemző (24. ábra). A minta a külső hőmérsékletet monoton növekvő függvényként aszimptotikusan közelítve éri el.



24. ábra. A magok hőkamerás vizsgálata során tapasztalt három egymástól elkülönülő felmelegedési szakasz napraforgó kaszatterméseken modellezve

- I. **Tranziens szakasz:** a magok felmelegedésének kezdeti szakasza, a magok melegedési folyamata elindul. A szakasz eltérő hosszúságú az egyes tételeknél, vélhetően tranziens (pl. a tálca kihelyezésének a sebessége, a tételek egymáshoz viszonyított kezdő hőmérséklete) folyamatok miatt is. Ideje átlagosan 4 és 10 másodperc közötti.
- II. **Egyenletes melegedési szakasz:** ezen szakasz hossza eltérő az egyes fajok és vélhetően a fajták esetében. A felmelegedés mérhető, hossza változó, átlagosan 150–300 másodpercig tart.

III. Telítődési szakasz: mérhetően elindul a felmelegedés. Az erre a részre illesztett egyenes adatai (meredekség, metszéspont, szórás) jellemzőek az egyes magtétélekre.

A várható effektusok akkor mutatkoznak, amikor a legnagyobb a levegő-mag hőmérsékletkülönbség, azaz a kipakolást (mélyhűtőből a magok kihelyezése a kamera látótere alá) a lehető leggyorsabban kell elvégezni.

A mérés hosszának meghatározásakor figyelembe vettük azt is, hogy a magok életképességének megtartása érdekében a mérés ne tartson túl sokáig, valamint azt is, hogy a magok a mérést követően visszaszárítás után továbbra is tárolhatók maradjanak, és hogy a mérés megismételhető legyen. A témában megjelent nemzetközi publikációk sok esetben beszélnek 24 óránál hosszabb időtartamú mérésekről, miközben „non-invasive” módszernek nevezik a hőkamerás technológia alkalmazását. Azonban ilyen hosszú mérések esetében azonban már megindul a csírázás folyamata (több esetben ezért magát a csírázást figyelték hőkamerával), ami azt jelenti, hogy utána ugyanannak a magnak a vizsgálata és felhasználása tovább már nem lehetséges, hiszen csíranövény lesz belőle.

4.1.3. Speciális hőkamerás mérőlabor kialakítása

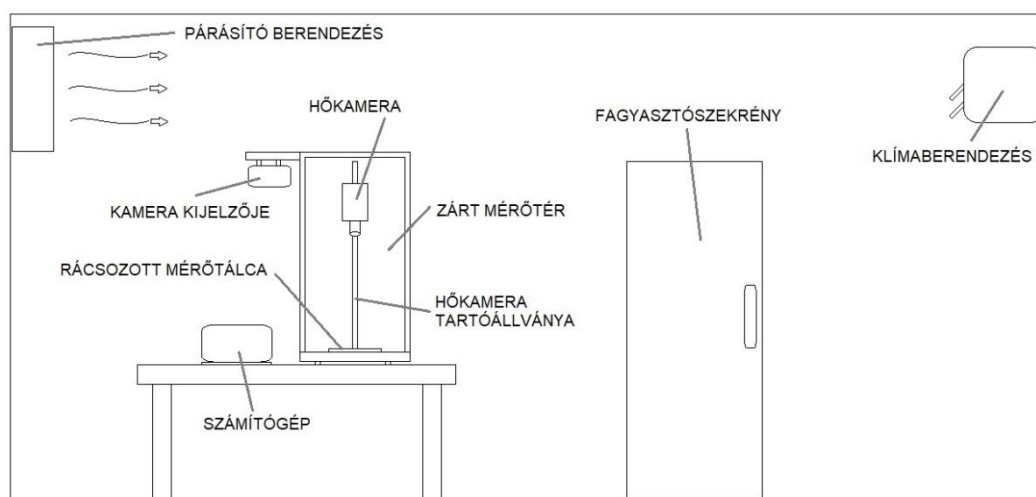
A Nemzeti Biodiverzitás- és Génmegőrzési Központ által elnyert Térmaterület Kiválóság Program keretében sikerült létrehozni egy olyan speciális labort, amely kizárólag a hőkamerás mérések kivitelezését szolgálja. A labor egy hajókonténer átalakításával került kialakításra (25. ábra).



25. ábra. Hőkamerás mérések elvégzésére létrehozott labor kívülről a Nemzeti Biodiverzitás- és Génmegőrzési Központ tápiószelei telephelyén

A korábbi fejezetekben több esetben említésre került, hogy a megfelelő méréshez 70–90 % közötti – lehetőleg állandó – relatív páratartalom szükséges. A hőmérséklet ennek megfelelően a laborban $16\text{ °C} \pm 4\text{ °C}$. A mérőlabor hőmérséklete és páratartalma speciális eszközökkel szabályozott. A légáramlatok kiszűrése elengedhetetlen, mert az zavarja a mérés pontosságát (26. ábra).

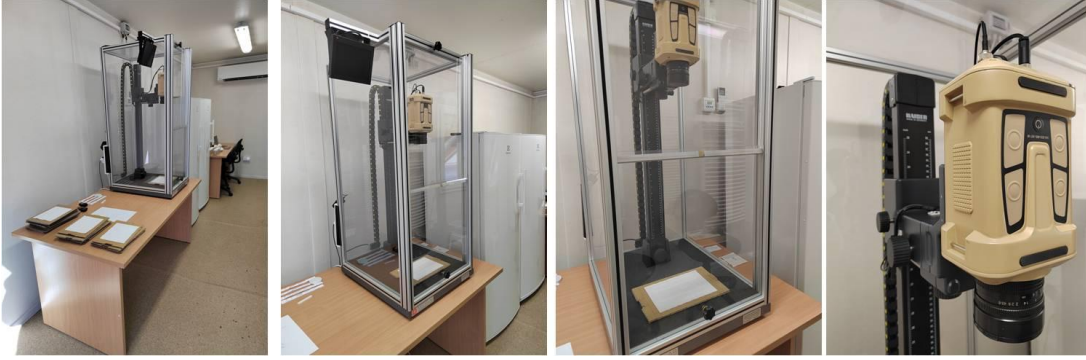
ÁLLANDÓ HŐMÉRSÉKLETŰ ÉS RELATÍV PÁRATARTALMÚ, ZÁRT, HŐKAMERÁS MÉRŐLABOR



26. ábra. Hőkamerás mérésekre létrehozott labor sematikus ábrája

A kamera és a mérőtér zárt, levegőmozgástól mentes, átlátszó falú „kalitka”, amelynek méretei: $50\text{ cm} \times 60\text{ cm} \times 117\text{ cm}$ (szélesség \times mélység \times magasság). A mérni kívánt magtételek behelyezése céljából $49 \times 49\text{ cm}$ -es ajtóval nyitható, a mérés folyamata alatt teljesen zárttá tehető, így a mérési eredményeket nem befolyásolja semmilyen zavaró külső körülmény (légáramlat). A zárt mérőtér páratartalma és hőmérséklete megegyezik a mérőlabor páratartalmával és hőmérsékletével.

A mérőlabor legfontosabb eleme a méréseket végző speciális hőkamera (27. ábra). Az első, 2019-ig használt hőkamera továbbfejlesztett változatával 2020 óta végzünk méréseket. A kamera kifejezetten magok vizsgálatához készült, teljesen egyedi építésű, műszakilag egyedi összeállítású (lásd Anyag és módszer fejezet). A kamera tehát egy prototípus, amely létrehozásával teljesült a vállalt célkitűzés.



27. ábra. Hőkamerás vizsgálatok elvégzésére létrehozott labor belülről, és az egyedi építésű hőkamera

A laborban a magok a mérés folyamán nem károsodnak, tovább vizsgálhatóak, illetve ismételten mérhetőek, egyéb génbanki/mezőgazdasági tevékenységek céljából felhasználhatóak (pl. felszaporítás). Ismételt szárítást követően a magok tovább tárolhatóak hűtött körülmények között. Fentiek értelmében egy mag mérésére több alkalommal is lehetőség van.

4.2. A napraforgó léha és nem léha kaszatterméseinek elkülönítése

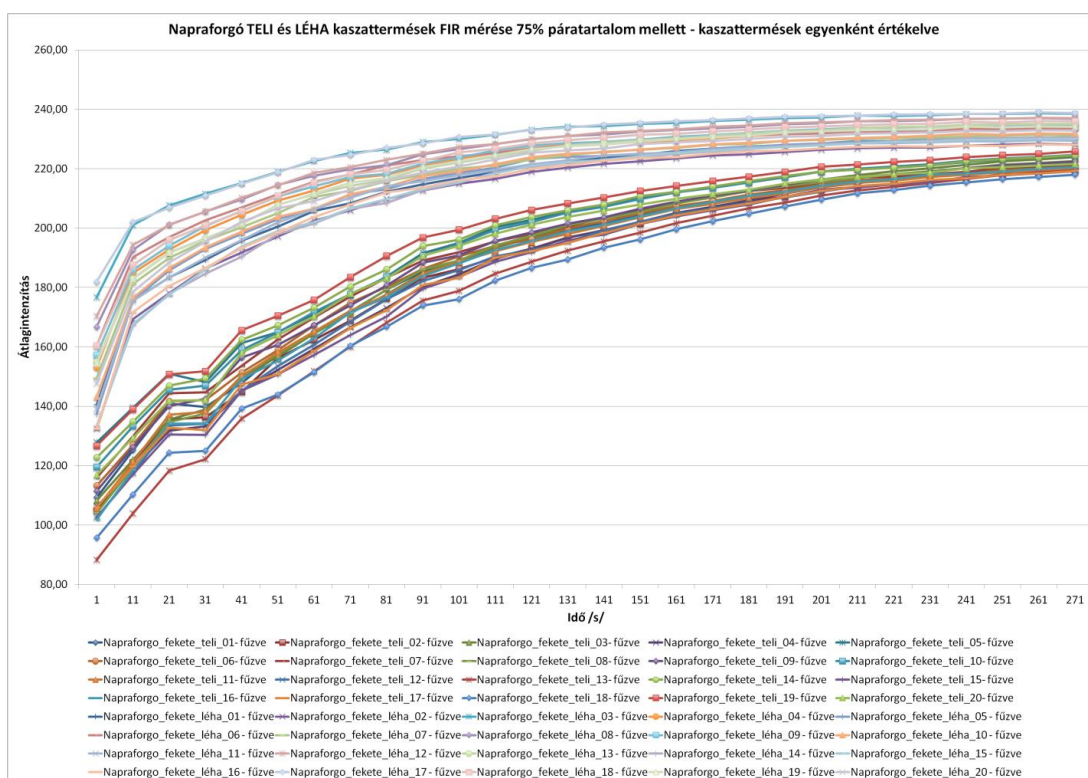
Napraforgó „teli” (mag található a kaszattermésben) és „léha” (nem található mag a kaszattermésben, a termés üres) kaszattermések vizsgálatokor a 20 kaszattermés elhelyezése a mérőórácson a lenti táblázat szerint történt. Az ismerten teli vagy léha kaszattermések mellett olyan kaszattermést is mértünk, amely léhasága ismeretlen volt a kutatócsoport számára is. A 20 mag felmelegedését közel 15 percig mértük, de a mérések első 300 másodperce a leginkább érdekes, hiszen itt mutatnak intenzív elkülönülést az egyes csoportokhoz tartozó kaszattermések.

A teli és léha napraforgó kaszattermésekhez tartozó FIR-görbék átlagosan és magonként is szignifikánsan eltérnek (min. $3\times$ szórás). A léha kaszattermések elvileg levegővel telítettek, a teli kaszattermésekben elvileg mag található. A mérések során a cél a léha és a teli kaszattermések elkülönítése volt hőkamerás mérés alapján. Ezt követően a magok csíráztatásra kerültek. A léha kaszatterméseket a génbanki szaporítást követően fajsúly alapján elkülönítő gép segítségével választottuk ki („szelelés”). A méréseket az alábbi táblázat szerint végeztük (6. táblázat):

6. táblázat: Léha és nem léha napraforgó mérések paramétere

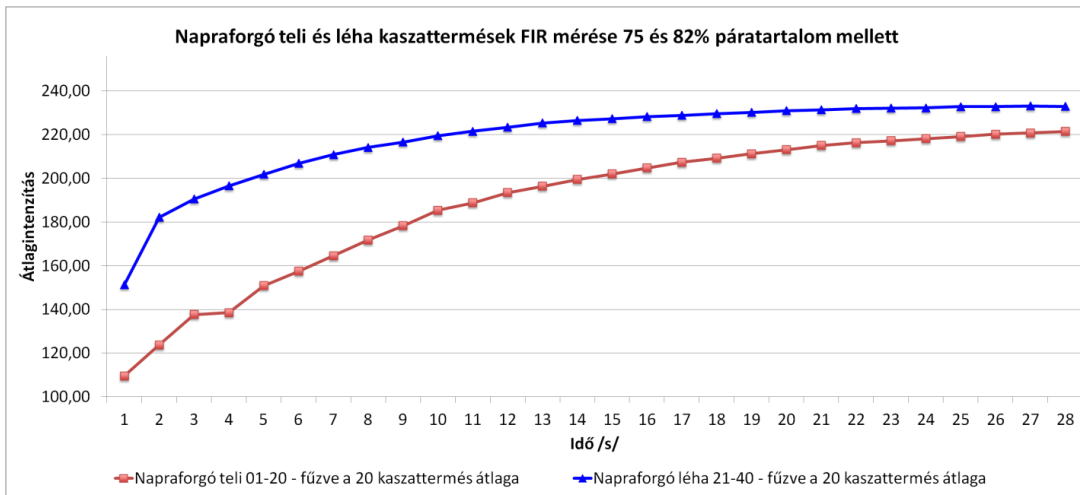
2015. április 23. Esztramos-hegyi mérés			
Magsorszám	Génbanki tétel neve		Páratartalom (%)
1 - 20	Napraforgó RCAT038201	teli	75
21 - 40	Napraforgó RCAT038201	léha	82,2
41 - 60	Napraforgó RCAT055754	kevert¹	78
61 - 80	Napraforgó RCAT055754	kevert	77,2

A mérési eredmények kiértékelése során kapott grafikonok görbéi a 28. és 29. ábrán láthatóak. A kiértékeléseket mind kaszattermésenként, mind a teli és léha kaszattermésekből összefűzött csoportonként is elvégeztük.



28. ábra. Napraforgó teli és léha kaszatterméseinek hőkamerás mérési eredményei alapján készített felmelegedési görbék. Minden egyes görbe egy kaszattermés felmelegedését mutatja: az adott időponthoz tartozó átlagintenzitást. A görbék egyértelműen mutatják, hogy a teli és a léha kaszattermések felmelegedése teljesen más ütemben zajlik, különösen a középső, egyenletes szakasz mutat jelentős különbséget. A görbék alapján egyértelműen elkülöníthetőek a teli és léha kaszattermések.

¹ véletlenszerűen tartalmaz léha és teli kaszatterméseket

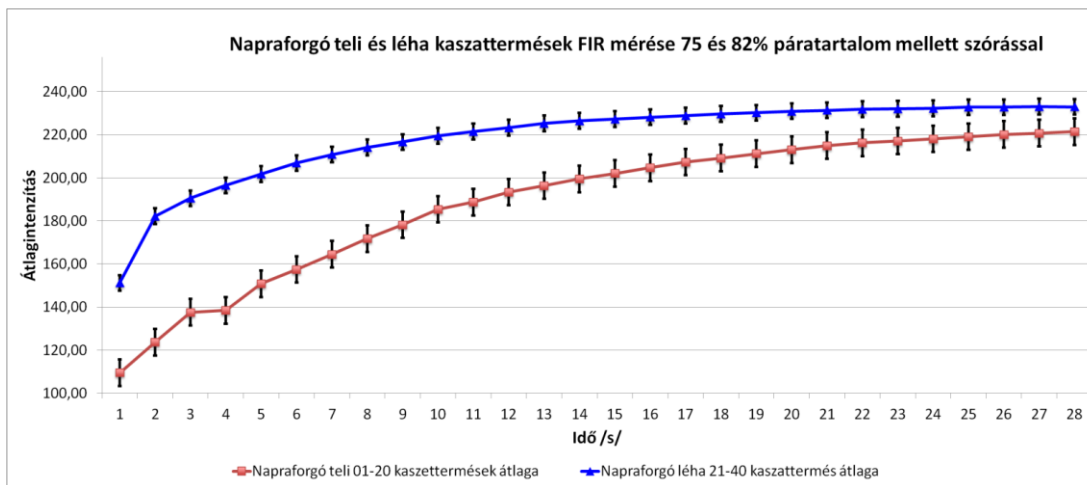


29. ábra. Napraforgó teli és léha kaszattermések felmelegedési görbéi. A piros görbe mutatja a 20 teli kaszattermés, a kék görbe a 20 léha kaszattermés átlagos átlagintenzitását adott időponthoz tartozóan. A görbék jól elkülönülnek egymástól.

A léha kaszattermések esetében a kezdeti tranziens szakasz meredeksége magasabb, mivel a kaszattermés belseje levegővel telt, nincs benne mag. A második, egyenletes melegedési szakasz a léha magoknál szinte nem is megfigyelhető, amíg a teli magok esetében jól kivehető. A harmadik, telítődési szakasz a teli magok esetében meredekebb. A 21. ábrán látható, hogy a teli és léha magok átlagintenzitást bemutató görbéi egymástól jól elkülönülnek az idő függvényében. Ebből a napraforgó esetében egyértelműen lehet következtetni a várható életképességre, hiszen a lénak vélt magok általában nem csíráképesek. Az ismert görbék alapján az ismeretlen kaszattermés osztályozhatóvá válik, mivel az adott kaszatterméshez tartozó görbe lefutása és a hozzá tartozó értékek (átlagintenzitás) egyediek, besorolható a teli vagy a léha kaszatterméshez tartozó értékek szerint. Az első tranziens szakaszt követően (kb. 21. másodperctől kb. 90. másodpercig) a legnagyobb a különbség a két csoport között. Adatelemzés kidolgozása esetén feltehetően elegendő ezt a szakaszt vizsgálni, nem szükséges a teljes görbét nézni. Ez a lenti táblázatban, illetve ábrán (7. táblázat, 30. ábra), a szórások alapján is megfigyelhető (1–271 másodperc között mért értékek).

7. táblázat Napraforgó teli és léha kaszattermések átlagintenzitásaihoz tartozó szórások

Idő /s/	Napraforgó teli kaszattermések átlagintenzitása - 20 mag átlaga	Napraforgó teli kaszattermések átlagintenzitása - 20 mag szórása	Napraforgó léha kaszattermések átlagintenzitása - 20 mag átlaga	Napraforgó léha kaszattermések átlagintenzitása - 20 mag szórása
1	109,51	9,75	151,25	14,71
11	123,72	8,77	182,20	10,01
21	137,59	8,06	190,57	8,96
31	138,49	7,63	196,55	7,90
41	150,87	7,53	201,81	7,10
51	157,52	6,96	206,89	6,55
61	164,54	6,50	210,86	6,41
71	171,80	6,15	214,17	5,68
81	178,23	5,92	216,65	5,13
91	185,41	5,69	219,50	4,89
101	188,75	5,64	221,55	4,74
111	193,41	5,17	223,37	4,42
121	196,38	4,91	225,36	4,14
131	199,52	4,65	226,50	4,01
141	202,06	4,22	227,35	3,83
151	204,73	4,04	228,21	3,77
161	207,35	3,61	228,90	3,65
171	209,22	3,37	229,69	3,49
181	211,24	3,14	230,26	3,48
191	213,07	3,02	230,97	3,47
201	215,01	2,82	231,39	3,35
211	216,30	2,52	231,91	3,33
221	217,14	2,48	232,12	3,31
231	218,13	2,27	232,29	3,31
241	219,17	2,35	232,83	3,27
251	220,18	2,24	232,83	3,25
261	220,79	2,20	233,14	3,23
271	221,46	2,17	232,99	3,23



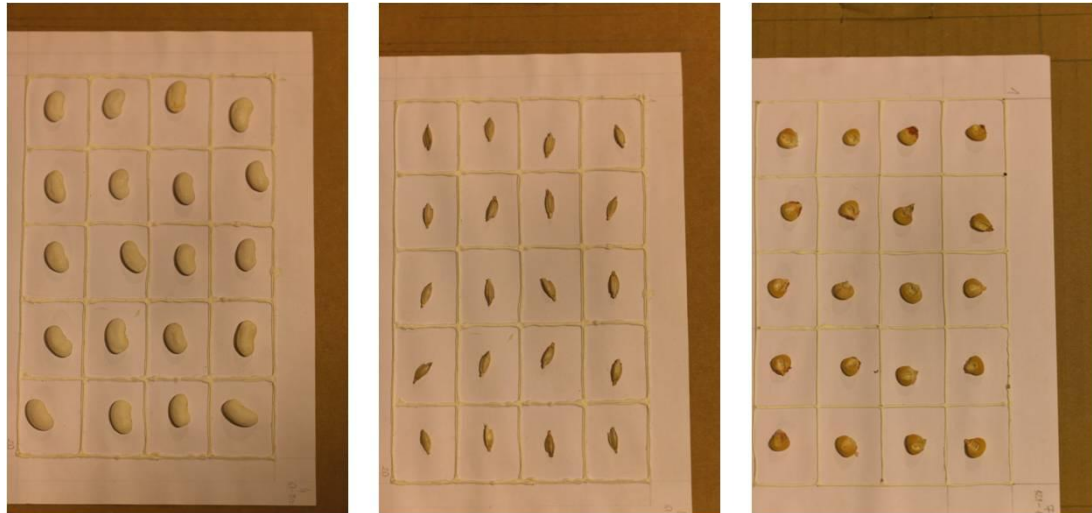
30. ábra. Napraforgó teli és léha kaszattermések felmelegedési görbéi a mért eredmények szórását feltüntetve, amely alapján látszik, hogy nagy mértékben elkülönül egymástól a két görbe.

4.3. Magok életképességének meghatározása hőkamera segítségével

A magok hőkamerás vizsgálata során a mérések megkezdésekor a mérések elsődleges célként a magok életképességére utaló információk nyerését határoztuk meg. Ennek érdekében már a módszer kidolgozása során is vizsgáltuk a hőkamerával mért magok életképességét minden vizsgált génbanki tétel (és mag) esetében. Ezek a mérési eredmények azonban még nem tekinthetők pontosnak (a nem megfelelő mérési környezet miatt), ennek ellenére már ezek a korai mérési eredmények is rámutattak arra, hogy valóban lehet összefüggést látni a vizsgált magok hőkamerával mérhető értékei és a csírázóképeség között.

A hőkamerás mérési eredmények igazolásához szükség volt a magok csíráztatására a hőkamerás méréseket követően. A csíráztatás csak a hőkamerás mérések eredményeinek beigazolása miatt volt szükséges. A cél az volt, hogy csíráztatás nélkül is megbízható információt kapjunk a magok életképességére vonatkozóan a hőkamerás mérések kiértékelését követően.

Fentieknek megfelelően a 2015-ben és 2016-ban az Esztramos-hegy bányajáratában vizsgált génbanki tételek (31. ábra) esetében tudtuk biztosítani a megfelelő mérési körülményeket, így ezeknek az életképességgel kapcsolatos releváns eredményeit mutatom be.



31. ábra. Veteménybab, alakor és kukorica mérőtálcára bekészítve hőkamerás vizsgálatokhoz 2016. március 16-án

A három növényfajhoz tartozóan az alábbi táblázatokban bemutatott génbanki tételek esetében vizsgáltuk az életképességet a mérések során (8. táblázat).

8. táblázat: Génbanki tételek részletes adatai, amelyeken az életképességet vizsgáltuk hőkamera segítségével

selejtje jelölés dátuma	intézményi azonosító szám	nemzetség	faj	fajta	származási ország	küldő ország
2004/01/29	RCAT019270	Phaseolus	vulgaris L.	Magyi tf. ("Helmeci bab")	HUN	HUN
	RCAT019270	Phaseolus	vulgaris L.	Magyi tf. ("Helmeci bab")	HUN	HUN
2012/11/26	RCAT002725	Triticum	monococcum L.	---	---	DDR
	RCAT002725	Triticum	monococcum L.	---	---	DDR
2013/04/04	RCAT014988	Zea	mays L.	Valticka	---	CSK
	RCAT014640	Zea	mays L.	Valticka	---	CSK

A hőkamerás mérésekhez tartozóan minden alkalommal jegyzőkönyvet vettünk fel. A jegyzőkönyv tartalmazza többek között az alábbi táblázatban felsorolt információkat (9. táblázat).

9. táblázat: mérési jegyzőkönyv a 2016. március 16-án az Esztramos-hegy bányajaratában végzett mérésekről

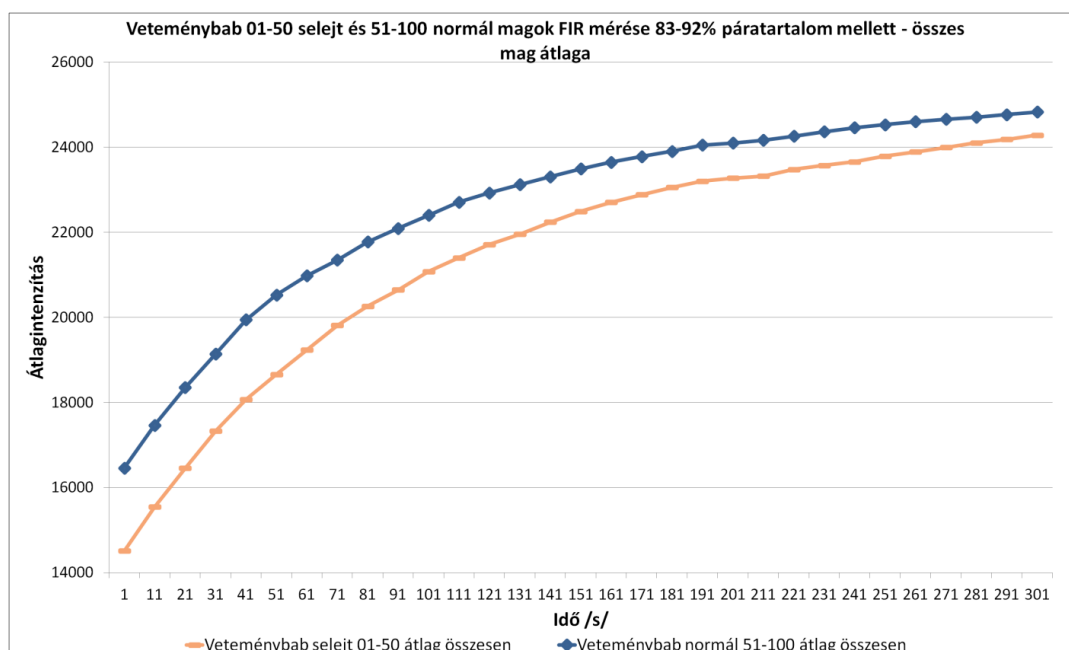
2016. március 16. Esztramos-hegy mérési jegyzőkönyv							
Rács száma	Mag adatai		Hőmérséklet (mérési labor)	Páratartalom (mérési laborban)	Páratartalom (mérési laborban)	Kémcső száma (csíráztatáshoz)	Hőmérséklet (hűtő)
	Faj	Életképesség	(°C)	mérés elején (%)	mérés végén (%)		(°C)
1-20	Phaseolus vulgaris	selejt	14,5 fok	82,2	84,6	1-20	-18,4
21-40	Phaseolus vulgaris	selejt	14,5 fok	82,5	84,2	21-40	-19,0
41-60	Phaseolus vulgaris	első 10 db selejt, második 10 db normál	14,5 fok	81,3	85,2	41-60	-16,6
61-80	Phaseolus vulgaris	normál	14,5 fok	81,4	84,1	61-80	-17,3
81-100	Phaseolus vulgaris	normál	14,5 fok	78,6	82,8	81-100	-17,5
101-120	Zea mays	selejt	14,0 fok	84,1	88,0	101-120	-17,1
121-140	Zea mays	selejt	14,0 fok	84,3	85,0	121-140	-17,9
141-160	Zea mays	első 10 db selejt, második 10 db normál	14,5 fok	84,4	84,9	141-160	-19,4
161-180	Zea mays	normál	14,5 fok	82	84,9	161-180	-18,5
181-200	Zea mays	normál	14,5 fok	83,8	84,8	181-200	-20
1-20	Triticum monococcum	selejt	15,0 fok	81,7	83,3	201-220	-19,1
21-40	Triticum monococcum	selejt	14,5 fok	83	83,9	221-240	-18,5
41-60	Triticum monococcum	első 10 db selejt, második 10 db normál	14,5 fok	80,7	84,8	241-260	-17,5
61-80	Triticum monococcum	normál	14,5 fok	82,5	83,8	261-280	-17,5
81-100	Triticum monococcum	normál	14,5 fok	81,3	85,6	281-300	-17,3

A 9. táblázatban selejtként jelölt tételek esetében az a génbanki protokoll, hogy ha egy adott génbanki minta életképesség-vizsgálati (csírázóképeség-vizsgálati) eredménye 0%, akkor megtörténik a selejtre jelölés. Ha három egymást követő szabadföldi felszaporítás során az adott minta nem csírázik (kel), akkor selejtnek tekinthető.

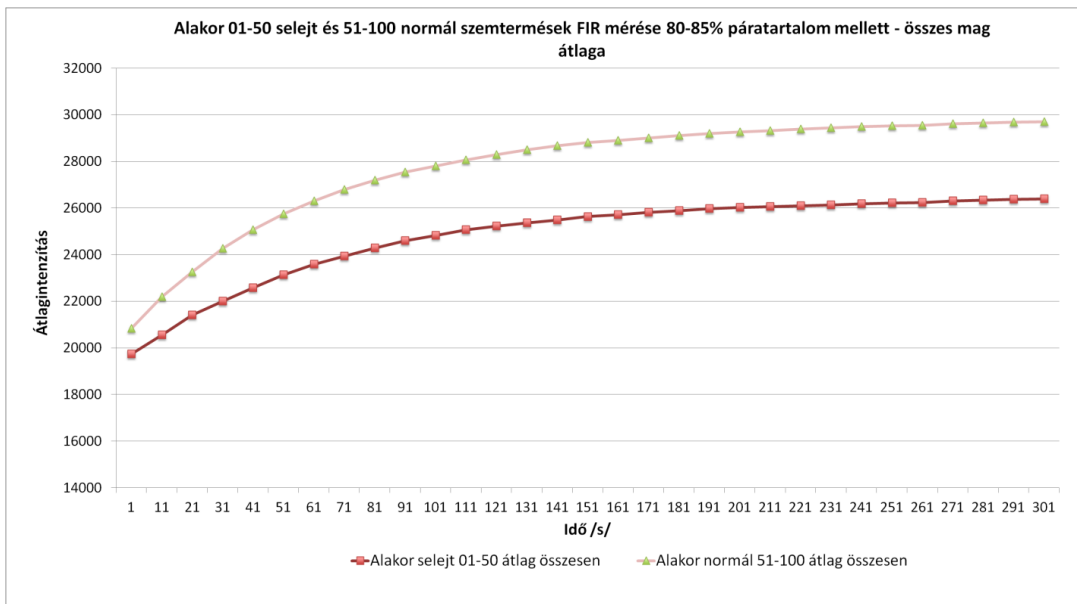
4.3.1. „Normál” és „selejt” magok elkülönítése hőkamera segítségével

2016-ban a vizsgált három fajhoz tartozó génbanki tételek 100-100 magját vizsgáltuk az Esztramos-hegy bányajáratában megfelelő mérési körülmények között. A 100 magból 50 mag génbanki szempontból selejtnek volt tekinthető, 50 mag pedig életképes „normál” mag (korábbi ellenőrző csíráztatási eredmények szerint). A hőkamerás méréseket követően a magokat szabvány szerint csíráztattuk (csíráztatás eredményei M2. melléklet).

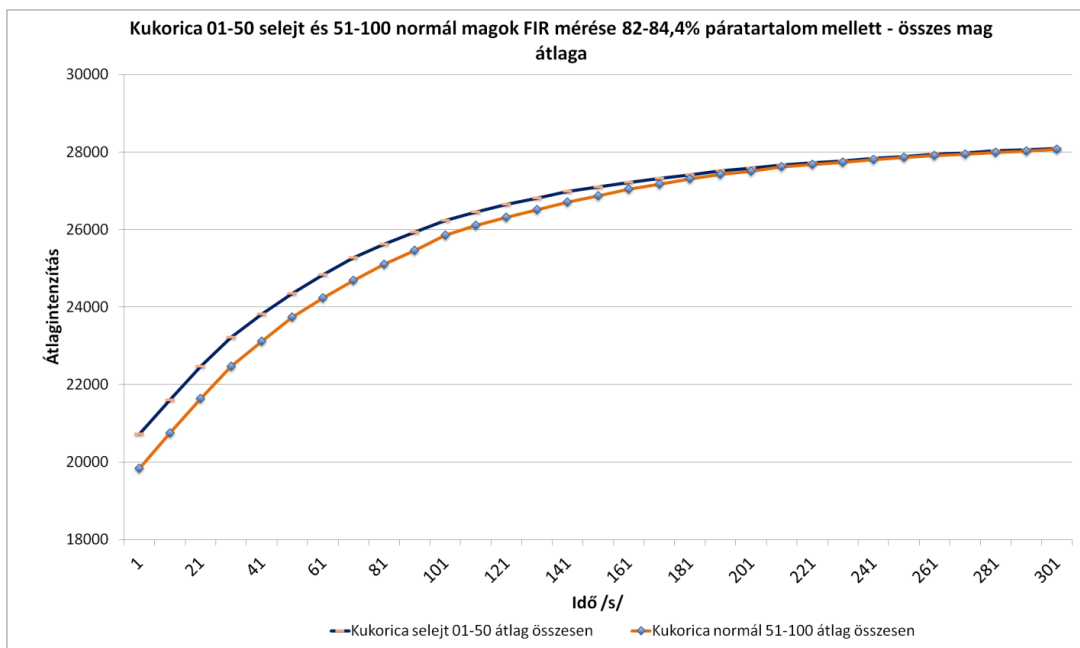
A hőkamerás mérések által rögzített, az egyes magokhoz/szemtermésekhez tartozó átlagintenzitások görbéi az idő függvényében valóban különböző lefutásúak a „selejt” és „normál” magok esetében (32. 33. és 34. ábra).



32. ábra. Veteménybab 50 „selejt” és 50 „normál” mag mérési eredményei. A narancssárga görbével jelzett normál selejt magok átlagintenzitása az idő függvényében egyértelműen elkülönül a kék görbével jelzett normál magok átlagintenzitásától.



33. ábra. Alakor „selejt” és „normál” szemtermések hőkamerás mérési eredményei. A rózsaszínnel jelzett normál magok átlagintenzitása az idő függvényében egyértelműen elkülönül a piros görbével jelzett selejt magok átlagintenzitásától.



34. ábra. Kukorica „selejt” és „normál” szemek hőkamerás mérési eredményei. A narancssárga görbével jelzett normál magok átlagintenzitása az idő függvényében elkülönül ugyan a kék görbével jelzett selejt magok átlagintenzitásától, de az alakorhoz és veteménybabhoz képest sokkal közelebb futnak egymáshoz, a 200. másodpercet követően szinte együtt fut a két görbe.

Mindhárom faj esetében a kapott csíráztatási eredményeket összevettem a hőkamerás vizsgálatok mérési eredményeivel. Amint az az M2. melléklet csíráztatási lapjain olvasható, veteménybab esetében volt olyan „selejt” mag, amely kicsírázott

és volt olyan „normál” mag, amely nem csírázott. A lenti táblázat szerint (10. táblázat) a „selejt” magok közül 4 db csírázott, a „normál” magok közül 8 db nem csírázott, illetve torz csíra keletkezett, amely elhalt. Fontos megjegyezni, hogy a torzult csírákat hozó magokat a génbanki protokoll és Magyar Szabvány (MSZ 1992) szerint nem csírázottak tekintjük, mivel abból várhatóan növény nem fejlődik.

10. táblázat: Csíráztatási eredmények veteménybab esetében

Veteménybab							
Mag sorszáma („selejt” magok)	Csíráztatás eredménye (1: csírázott, 0: nem csírázott)	Mag sorszáma („selejt” magok)	Csíráztatás eredménye (1: csírázott, 0: nem csírázott)	Mag sorszáma („normál” magok)	Csíráztatás eredménye (1: csírázott, 0: nem csírázott)	Mag sorszáma („normál” magok)	Csíráztatás eredménye (1: csírázott, 0: nem csírázott)
1.	0	26.	0	51.	1	76.	1
2.	0	27.	0	52.	1	77.	1
3.	0	28.	0	53.	1	78.	0
4.	0	29.	0	54.	1	79.	1
5.	0	30.	0	55.	0	80.	1
6.	0	31.	0	56.	1	81.	1
7.	0	32.	0	57.	1	82.	1
8.	0	33.	0	58.	0	83.	1
9.	0	34.	0	59.	1	84.	1
10.	0	35.	0	60.	1	85.	1
11.	0	36.	0	61.	1	86.	1
12.	0	37.	0	62.	1	87.	1
13.	0	38.	0	63.	0	88.	1
14.	1	39.	0	64.	0	89.	1
15.	1	40.	0	65.	1	90.	1
16.	0	41.	0	66.	0	91.	1
17.	0	42.	0	67.	1	92.	1
18.	1	43.	0	68.	1	93.	1
19.	0	44.	0	69.	1	94.	1
20.	0	45.	0	70.	1	95.	1
21.	0	46.	0	71.	1	96.	0
22.	0	47.	0	72.	1	97.	1
23.	0	48.	0	73.	1	98.	1
24.	0	49.	1	74.	1	99.	0
25.	0	50.	0	75.	1	100.	1

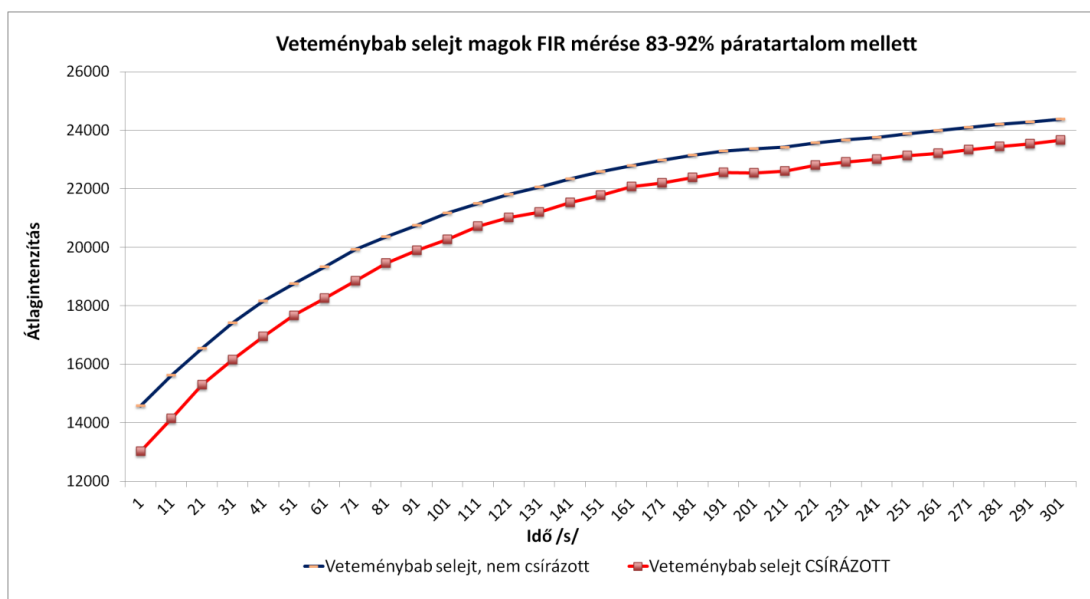
Alakor és kukorica esetében a csíráztatás eredményei alapján a „selejt” szemek valóban nem csíráztak, így azok valóban selejtnek tekinthetők (M2. melléklet). A normál szemek közül azonban nem várt módon magas aránya volt a nem csírázó, penészes, illetve a torz csírázóhozó szemeknek (11. táblázat).

11. táblázat: Csíráztatási eredmények alakor és kukorica esetében

Alakor				Kukorica			
Mag sorszáma („normál” magok)	Csíráztatás eredménye (1: csírázott, 0: nem csírázott)	Mag sorszáma („normál” magok)	Csíráztatás eredménye (1: csírázott, 0: nem csírázott)	Mag sorszáma („normál” magok)	Csíráztatás eredménye (1: csírázott, 0: nem csírázott)	Mag sorszáma („normál” magok)	Csíráztatás eredménye (1: csírázott, 0: nem csírázott)
51.	1	76.	1	51.	1	76.	1
52.	1	77.	1	52.	1	77.	0
53.	0	78.	1	53.	1	78.	1
54.	1	79.	1	54.	0	79.	1
55.	1	80.	1	55.	0	80.	1
56.	1	81.	1	56.	1	81.	0
57.	0	82.	1	57.	1	82.	0
58.	1	83.	0	58.	1	83.	0
59.	1	84.	1	59.	1	84.	0
60.	1	85.	1	60.	1	85.	1
61.	1	86.	1	61.	0	86.	0
62.	1	87.	1	62.	1	87.	1
63.	1	88.	1	63.	1	88.	0
64.	1	89.	1	64.	1	89.	1
65.	1	90.	0	65.	1	90.	1
66.	1	91.	1	66.	1	91.	1
67.	1	92.	1	67.	1	92.	0
68.	1	93.	1	68.	1	93.	1
69.	1	94.	1	69.	0	94.	0
70.	1	95.	1	70.	1	95.	0
71.	1	96.	1	71.	1	96.	0
72.	1	97.	1	72.	0	97.	0
73.	0	98.	1	73.	1	98.	0
74.	1	99.	1	74.	0	99.	1
75.	1	100.	1	75.	0	100.	1

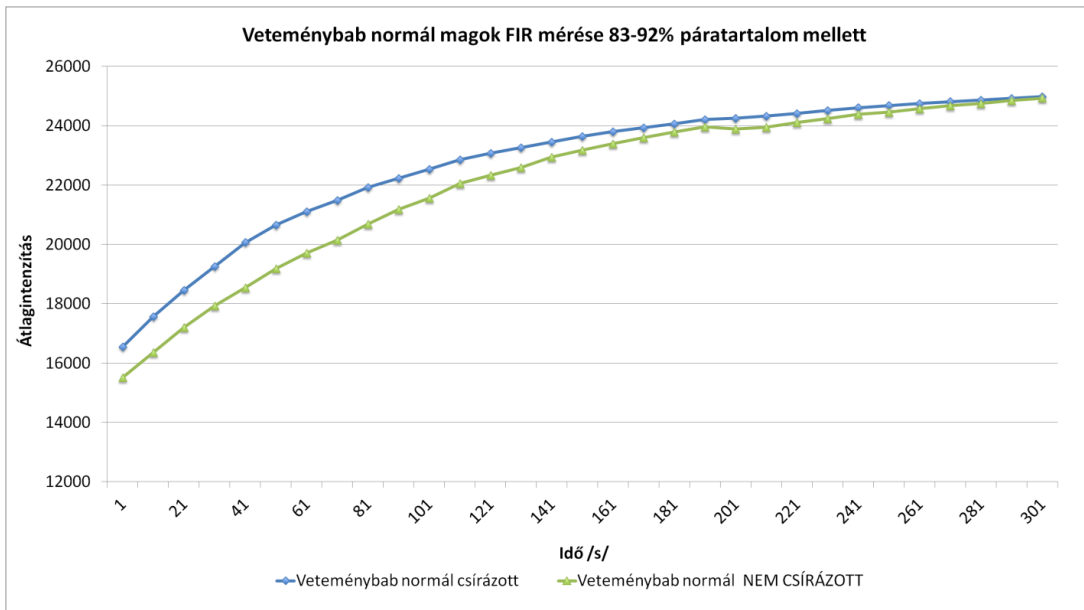
4.3.2. A csíráztatási eredmények összevetése a hőkamerás mérések eredményeivel

A veteménybab esetében a mérési eredmények alapján megvizsgáltuk, hogy a kicsírázott, selejtnek tekintett magok a hőkamerás vizsgálatok mérési eredménye alapján elkülönülnek-e a nem csírázott, valóban selejt magoktól. A 35. ábra jól mutatja, hogy a valóban nem csírázott „selejt” magok elkülönülnek a hőkamerás mérések alapján a kicsírázott, de selejtnek vélt magoktól.

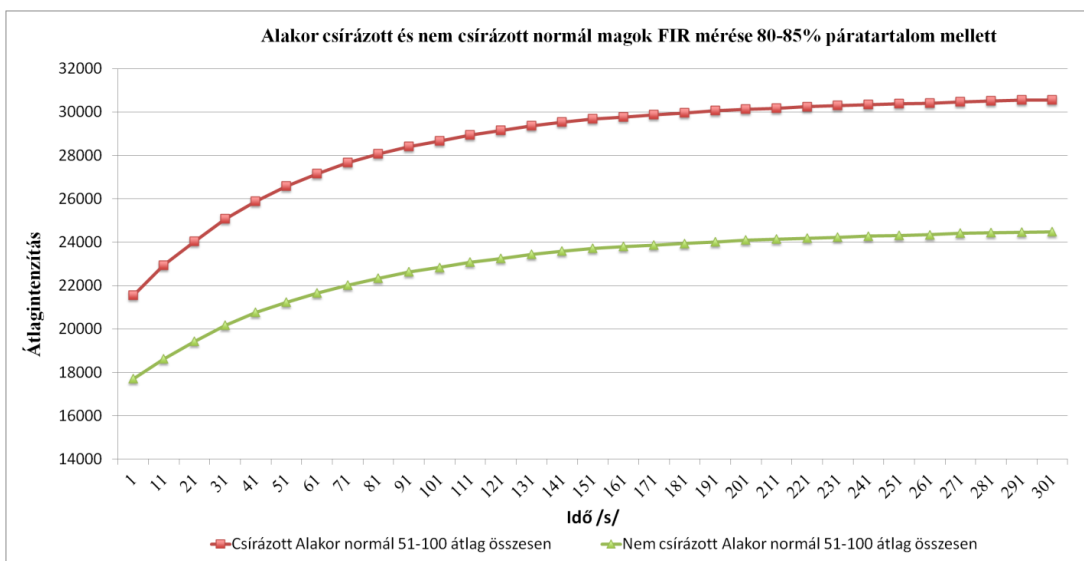


35. ábra. Veteménybab „selejt” magok mérési eredményeinek összevetése a csíráztatási eredményekkel. A piros görbével jelzett csírázott magok átlagintenzitása az idő függvényében egyértelműen elkülönül a kék görbével jelzett nem csírázott magok átlagintenzitásától.

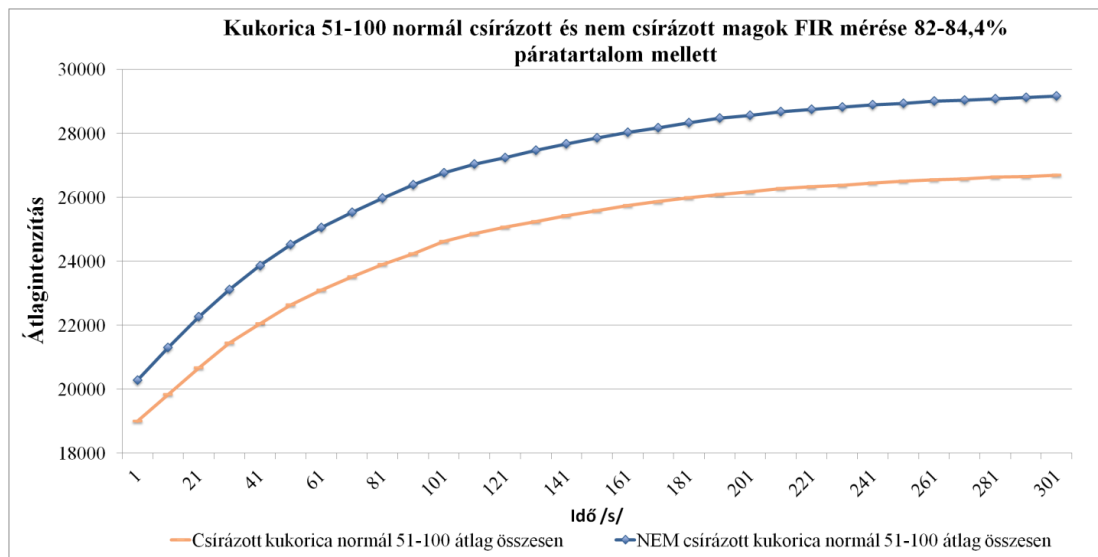
Mindhárom fajnál megvizsgáltuk továbbá, hogy a nem csírázott, de normálnak tekintett magok a hőkamerás vizsgálatok mérési eredménye alapján elkülönülnek-e a valóban csírázott „normál” magoktól. A 36., 37. és 38. ábrákon látható, hogy a kicsírázott magok elkülönülnek a hőkamerás mérések alapján a nem csírázott, de normálnak vélt magoktól. Különösen a 2. egyenletes melegedési szakaszban válik el a két görbe egymástól mindhárom faj esetében.



36. ábra. Veteménybab „normál” magok mérési eredményeinek összevetése a csíráztatási eredményekkel. A zöld görbével jelzett nem csírázott magok átlagintenzitása az idő függvényében egyértelműen elkülönül a kék görbével jelzett csírázott magok átlagintenzitásától.

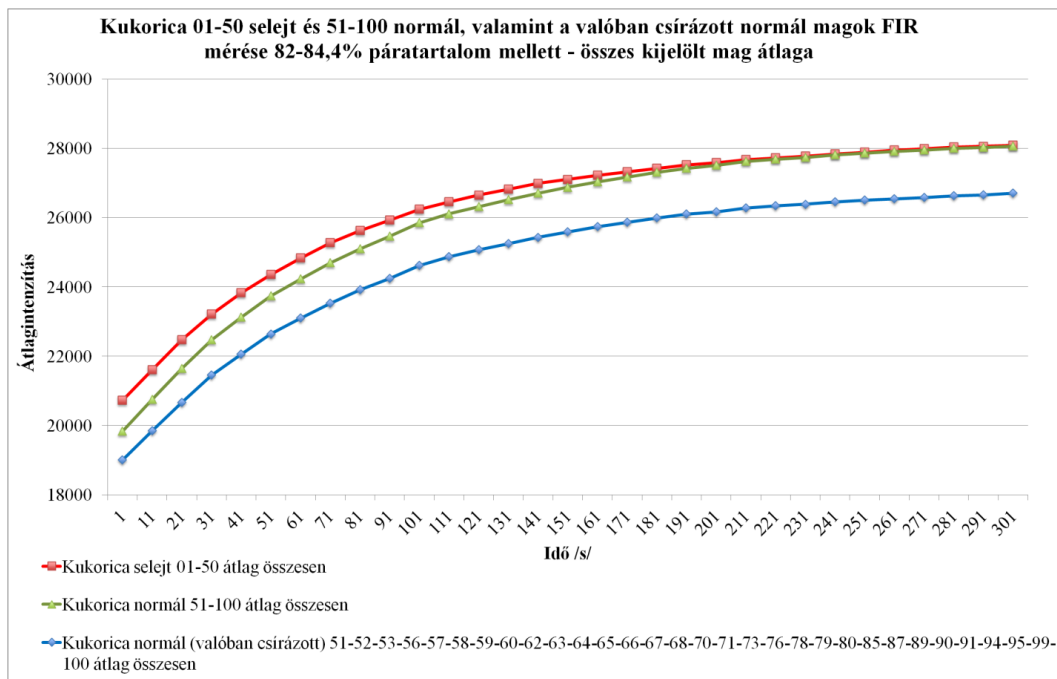


37. ábra. Alakor „normál” magok mérési eredményeinek összevetése a csíráztatási eredményekkel. A zöld görbével jelzett nem csírázott magok átlagintenzitása az idő függvényében jelentősen elkülönül a piros görbével jelzett csírázott magok átlagintenzitásától.

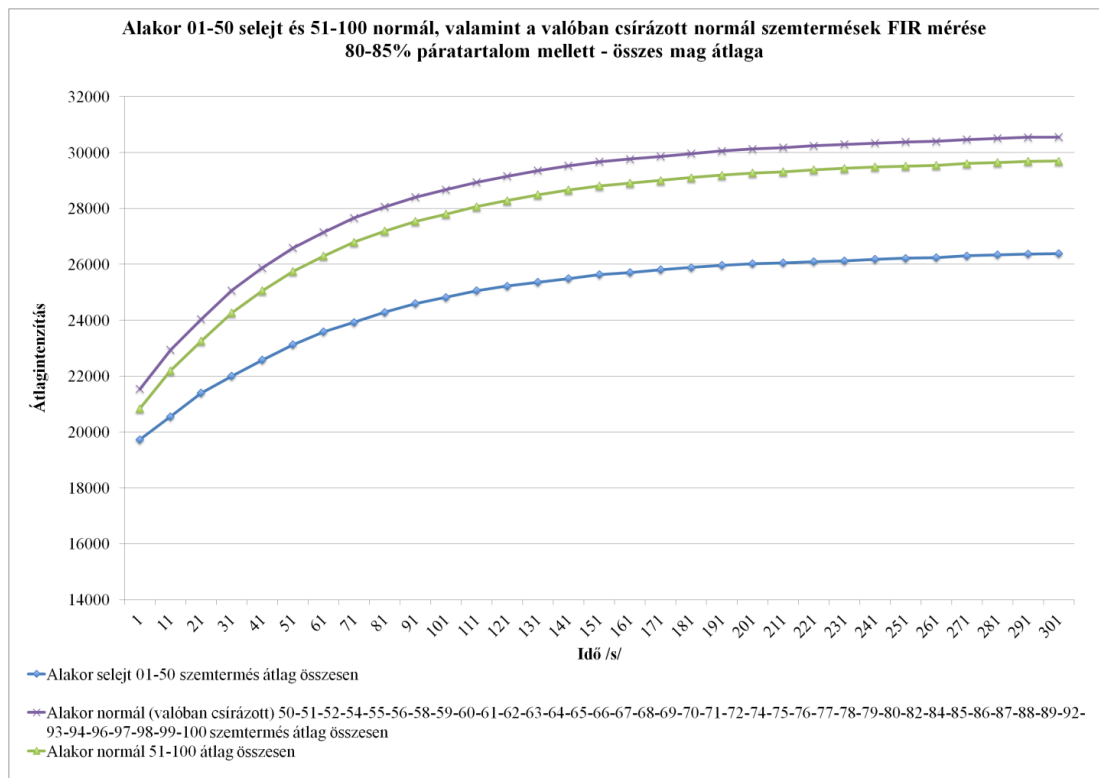


38. ábra. Kukorica „normál” magok mérési eredményeinek összevetése a csíráztatási eredményekkel. A kék görbével jelzett nem csírázott magok átlagintenzitása az idő függvényében egyértelműen elkülönül a narancssárga görbével jelzett csírázott magok átlagintenzitásától.

Az alakor és a kukorica esetében a hőkamerás mérések által rögzített, az egyes szemtermésekhez tartozó átlagintenzitások görbéi az idő függvényében különböző lefutásúak ugyan a „selejt” és „normál” magok esetében, de a nem csírázott „normálnak” tekintett magok aránya igen magas volt. Ezért elvégeztük a hőkamerás mérési eredmények korrekcióját, így a normál szemek közül azok mérési eredményeit, amelyek nem csíráztak, vagy torz csíráztak, nem vettük figyelembe. Az így megalkotott görbék már jól mutatják a különbséget a valóban selejt és a valóban csírázott alakor és kukoricaszemek között (39. és 40. ábra).



39. ábra. Kukorica „selejt” és valóban csírázott „normál” szemterméseinek hőkamerás mérési eredményei. A zöld görbével jelzett normál magok átlagintenzitása az idő függvényében elkülönül ugyan a piros görbével jelzett selejt magok átlagintenzitásától, de a kék görbével jelzett valóban csírázott normál magok átlagintenzitása jelentősen elkülönül a valóban selejt, nem csírázott magok átlagintenzitásától.



40. ábra. Alakor „selejt” és valóban csírázott „normál” szemtermékek hőkameras mérési eredményei. A zöld görbével jelzett normál magok átlagintenzitása az idő függvényében elkülönül ugyan a kék görbével jelzett selejt magok átlagintenzitásától, de a lila görbével jelzett valóban csírázott normál magok átlagintenzitása jelentősen elkülönül a valóban selejt, nem csírázott magok átlagintenzitásától.

4.4. Kukoricafajták elkülönítése hőkamera segítségével

A legelső mérésektől kezdődően igyekeztünk bizonyos fajok esetében mindig több fajtát/génbanki tételt vizsgálni. Már a kezdeti méréseknél is látható volt, hogy ugyanazon fajhoz tartozó különböző fajták más-más képet mutatnak. Ez sokszor már a kamera kijelzőjén látható volt, de a mérések – akár más irányú – értékelésekor is látható volt, hogy az egyes fajták értékei különböznek egymástól.

A fajták elkülönítése teljes biztonsággal jelenleg csak morfológiai úton nemzetközi leíró vizsgálatokkal (ez teljes tenyészidőszakot és a teljes növény igényli) és/vagy DNS-vizsgálattal lehetséges. Mindkét vizsgálat a mag elvesztésével jár. Mag alapján csak nagyon kevés esetben lehet fajtát azonosítani. Biztató eredmények vannak azonban magmorfometriás mérések esetében alakor és szőlő magoknál a fajták beazonosítása szempontjából.

Annak érdekében, hogy megvizsgáljuk, alkalmas-e a hőkamera fajták elkülönítésére, olyan növényfajt kerestünk, amely mezőgazdasági szempontból fontos, a génbank rendelkezik gyűjteménnyel, és beszerezhető nem génbanki anyag

is, amely alapjaiban különbözik a génbanki anyagtól. Így esett a választás a kukoricára, amely bőven kínál fajtákat génbankon belül és kívül egyaránt.

Mindösszesen 40 beltenyésztett hibrid kukoricafajta és 40 szabadelvirágzásúnak tekinthető génbanki kukorica génbanki tétel mérését végeztük el fajtánként 20 maggal. A cél az volt, hogy a génbanki kukoricákat és a hibrid kukoricákat el tudjuk különíteni. A magokat kb. 10 percig mértük, ezt követően már nem volt érdemi változás megfigyelhető a folyamatokban. A méréseket az új hőkamerával végeztük, megfelelő körülmények között, az NBGK erre kialakított laborjában.

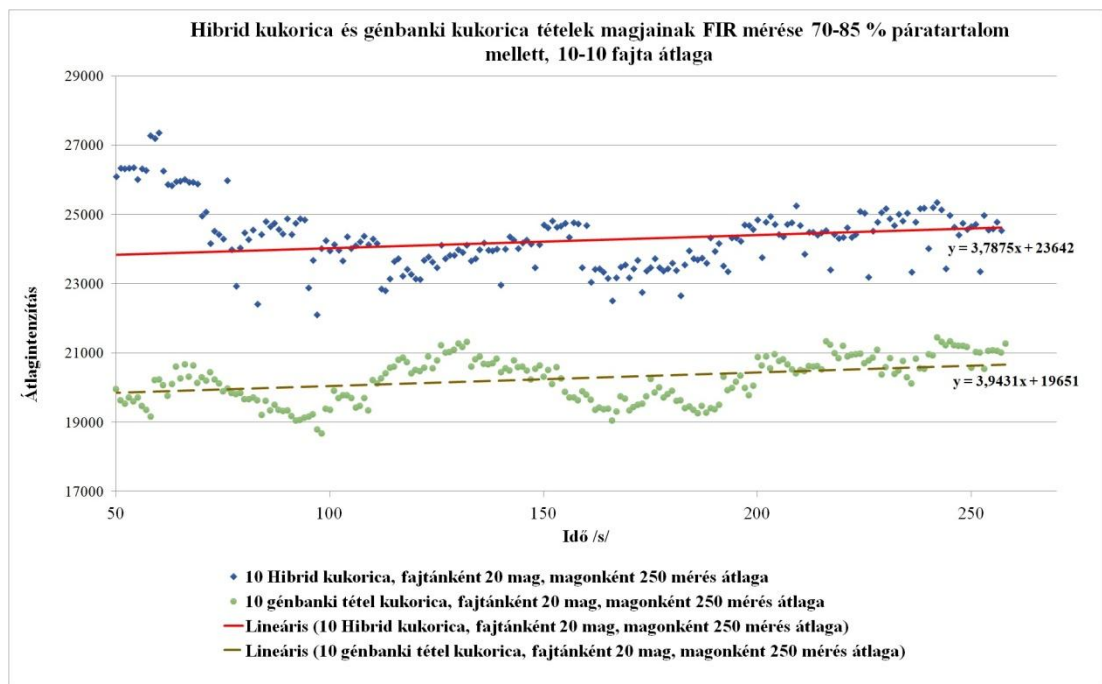
Az értekezésbe 10 génbanki szabadelvirágzású kukoricafajta és 10 szabadelvirágzású fajta mérési adatai kerültek (12. táblázat). Magonként 500 mérési adat keletkezett, amely 20 mag esetében 10 000 mért érték, ez 10 fajtára vetítve 100 000 mért értéket jelent. A 41. ábrán 10 hibrid kukoricafajta és 10 génbanki kukoricatétel mért adatainak átlaga látható. A két csoport szemmel láthatóan elkülönül. A tranziens szakaszok elkülöníthetőek, a fajtacsoportra vonatkozóan látható különbséget mutatnak. Az új kamera érzékenységből fakadóan több mérési (kalibrációs) szakasz különül el, ezek egymáshoz történő illesztését nem tartalmazza az ábra, ehhez speciális szoftver kidolgozása szükséges. Az eredmények e nélkül is értelmezhetőek és összehasonlíthatóak az illesztett görbék vagy trendvonalak meredeksége alapján.

12. táblázat: A hőkamerával vizsgált kukoricafajták fajtanevei

Vizsgált kukoricafajták	
Génbanki tétel	Hibrid
8 soros sárga fillér	DKC3972
Bánkúti	DKC4351
Csemege téli	DKC4670
F korai sárga lófogú	P0412
Fehér fillér	P8816
Kék főznivaló	P9009
Sárga lófogú 030821	P9978
Sárga lófogú 031412	SU REPLIX
Sárga simaszemű	SY ORPHEUS 251
Sárgásfehér fillér 031413	SY ZEPHIR 147176

Az illesztett lineáris trendvonal mutatja, hogy a hibrid kukoricák és a génbanki tétel kukoricák esetében is egyértelműen felfelé futó (pozitív előjelű) egyenesről van szó. Az átlagintenzitások és az illesztett egyenes y-tengellyel való

metszéspontja azonban egymástól jelentősen eltérnek, amely alapján lehetőség van ismeretlen fajtájú kukorica azonosítására csoportba sorolás (hibrid vagy szabadelvirágzású) szinten a hőkamera segítségével.



41. ábra. Kukorica génbanki tételek és hibrid fajták elkülönítése mag alapján hőkamera segítségével. A kézzel jelölt hibrid kukoricák magjainak átlagintenzitása egyértelműen eltér a zölddel jelölt génbanki tétel kukoricák magjainak átlagintenzitásától a mérés 50. és 250. másodperce között.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A genetikai erőforrások megőrzése kiemelt feladat jelenleg is az egész világon, és a jövőben a génbanki gyűjtemények várhatóan egyre nagyobb szerepet kapnak a mezőgazdaság és a természetvédelem területén egyaránt. Ennek megfelelően minden olyan információ, amit a megőrzött génbanki anyagokról kapunk, kiemelt jelentőséggel bír. A kutatómunkám során létrejött egy teljesen új mérési módszer génbanki minták magjainak vizsgálatára hőkamera segítségével. Ezen keresztül számos olyan információhoz juthatunk – amely információk korábban nem álltak rendelkezésre – anélkül, hogy megsemmisülne a vizsgált mag,

A digitális képfeldolgozás adta lehetőségek közül olyan feldolgozási módszert sikerült kifejleszteni, amellyel a hőkamerás vizsgálatok során keletkezett képanyag objektív szoftveres feldolgozást követően alkalmas arra, hogy magok életképességére és fajtáinak elkülönítésére vonatkozó információkat kapjunk. A méréseket több mint 10 növényfajon végeztük, de a módszer szinte valamennyi növényfaj esetében alkalmazható méréseink szerint. Ennek megfelelően a magbanki gyűjtemények jelentős részénél is alkalmazható, függetlenül a mag alakjától, szöveti szerkezetétől.

Mivel a hőkamerás mérések a csírázás szempontjából rövid ideig tartanak, így az azt meghatározó élettani folyamatok feltételezhetően még nem indulnak meg. A jövőben érdemes tehát vizsgálni, hogy pontosan mely élettani folyamatok kezdődnek meg a hőkamera által is mért első kb. 400 másodpercben, és pontosan milyen folyamatok zajlanak ez idő alatt a vizsgált magok sejtjeiben.

Napraforgó esetében a léha és nem léha kaszattermések elkülönítése nagy biztonsággal sikeresnek bizonyult hőkamera segítségével. Ezek az eredmények rámutatnak, hogy a hőkamera képes megmutatni a levegő jelenlétét magokban, ebből következően más fajoknál is képes ezt megmutatni, illetve adott esetben pl. a kártevőket és egyéb elváltozásokat is, így a jövőben növényvédelmi vonatkozásokban is érdemes vizsgálni a hőkamera és a módszer használhatóságát.

A módszer részletes kidolgozásának köszönhetően sikerült kialakítani egy speciális mérőlabort, amelyben speciális, egyedi építésű hőkamera segítségével speciális körülmények között van lehetőség magok és egyéb élő szervezetek, szövetek vizsgálatára. A mérőlabor lehetőséget teremt a módszer alkalmazására. Az elkészült hőkamera-prototípus alkalmas a kidolgozott rácsszerkezetben magok mérésére, így a jövőben lehetőség lesz további méréseket végezni. A tápiószelei

génbank közel 1200 növényfaj 56 ezernél is több génbanki tételét őrzi, így van lehetőség további fajok és fajták, illetve klónok, akár nemesítési vonalak mérésére. Ezzel számos további információhoz juthatunk a megőrzött magokról, és ez segítheti a biztonságos megőrzést.

További vizsgálatokkal felderíthető, hogy mely más fajok esetében működik a módszer, és alkalmas-e a rendelkezésre álló hőkamera az adott fajhoz tartozó magok vizsgálatára. Várhatóan a legfontosabb paraméter, ami meghatározza a magok mérhetőségét, a mag nagysága lesz, hiszen a nagyon kis méretű magok gyorsan felmelegednek, így a mérőtérbe helyezés előtt elérhetik vagy megközelíthetik a mérőtér hőmérsékletét. Javaslom a különböző növényfajok magjainak részletes mérését, hogy minél több információt kapjunk a hőkamerás vizsgálatok lehetőségeiről.

Javaslom továbbá valamennyi mérhető növényfaj magjaival méréseket végezni, és a kapott adatokat adatbázis-jelleggel rendszerezni. Ehhez minél több csíráztatási eredményt kell mellékelni, és össze kell vetni a hőkamerás mérésekkel kapott eredményekkel. Ezt követően a létrejött adatbázissal dolgozva meg lehet kezdeni a génbanki protokoll szerinti csíráztatások kiegészítését hőkamerás mérésekkel annak érdekében, hogy minél több adat és információ álljon a génbank rendelkezésére. Ez a gyakorlatban megvalósítható a génbankban oly módon, hogy az életképességi vizsgálatra kiválasztott génbanki tételek magjai először hőkamerás vizsgálaton esnek át, majd ezt követően a rutinszerűen megvalósított csíráztatáson. A hőkamerás vizsgálat eredményeit ezután össze lehet vetni a csíráztatás eredményeivel az értekezésben is ismertetett módon.

A hazánkban legfontosabb termesztett növényfajok esetében javaslom az egyes növényfajok fajtáinak mérését. Valamennyi Nemzeti Fajtajegyzéken szereplő fajta adatbázisba történő felvétele után lehetőség lenne az egyes fajták azonosítására hőkamera segítségével.

További fejlesztések után a Mesterséges Intelligencia (MI) segítségével a keletkezett adatok és adatbázisok felhasználásával egy szoftver létrehozását követően lehetőség lenne az adatelemzés automatizálására, így az eredmények gyorsan és egyszerűen elérhetőek lennének.

Emellett szorgalmazom a mérések kiterjesztését más élő szervezetek, szövetek vizsgálatára, hiszen várhatóan ott is különbséget mutatnak a hőkamerás felvételek eredményeként létrejött képanyagok, és az abban rejlő információk. Ehhez szükség van azon szövetek és szervezetek felderítésére, amelyek nem

károsodnak/pusztulnak el fagyasztás, majd a hőkamera alatt történő felmelegedés következtében. Várhatóan a módszer alkalmas egyéb növényi részek, valamint állati eredetű szervek és szövetek mérésére is.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Hazai és nemzetközi viszonylatban egyaránt új eredmény, hogy eddig nem ismert információkhoz jutottam a hőkamera használatának magok vizsgálatával kapcsolatos lehetőségeiről. A magok hőkamerás vizsgálatával nyert új információk az egyes fajokra/fajtákra vonatkozóan egyedülállóak, hiszen korábban hasonló méréseket nem publikáltak. A kapott eredmények alapján elmondható, hogy a hőkamera és a módszer alkalmas a magok vizsgálatára.
2. Kidolgoztam a mérés módszerét, és sikerült tökéletesíteni azt a sokéves mérési sor segítségével. A bemutatott módszer alkalmas a génbankban őrzött magok -18 ± 3 °C-ról $+16$ °C-ra történő felmelegedését követni hőkamera segítségével. Az új módszer kialakításának köszönhetően sikerült létrehozni egy valóban nem invazív módszert, hiszen ezek a vizsgálatok akár ugyanazokkal a magokkal is megismételhetők, feltéve, ha a vizsgálat magok újbóli szárítást követően ismét bázis tárolóba kerülnek, és ezt követően ismételjük meg a méréseket.
3. A hőkamerás mérések eredményeinek elemzését követően sikerült elkülöníteni kukorica, alakor és veteménybab esetében a csírázóképes és nem csírázóképes magokat.
4. Napraforgó esetében a léha és a nem léha kaszattermések egyértelműen elkülönültek a hőkamerás mérések eredményeinek kiértékelését követően.
5. Sikerült elkülöníteni egymástól a hőkamera segítségével a kukorica esetében a hibrid fajtákat és a szabadelvirágzású génbanki tétéleket.
6. Létrehoztam a méréshez szükséges speciális körülményeket biztosító hőkamerás mérőlabort, amelyben lehetőség van magok és egyéb élő szervezetek, szövetek hőkamerás mérésére. Kutatómunkámnak köszönhetően sikerült megalkotni egy speciális, egyedi építésű hőkamerát, amely kifejezetten magok hőkamerás vizsgálatához készült.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A genetikai erőforrások génbanki megőrzése egyre nagyobb szerepet kap a világon mindenhol. Az élelmezési célú növényi genetikai erőforrások sokfélesége évről évre csökken. Számos növényfaj, illetve fajta kikerült a természetből az elmúlt évtizedekben, így ezeknek a megőrzése az *ex situ* gyűjteményekre tevődött át a természetben történő fenntartásból. Ennek megfelelően minden információ, amely a génbankokban megőrzött növényekkel kapcsolatos, és minden olyan új módszer, amely a génbanki megőrzést segíti, kulcsfontosságú lehet a jövőre nézve.

Hazai és nemzetközi szinten egyaránt rendkívül kevés példa van magok hőkamerás vizsgálatára. Nincs kialakult módszer magok hőkamerás mérésére, és ennek megfelelően kevés információ van arra a nemzetközi irodalomban, hogy milyen élettani vagy egyéb folyamatokat lehet vizsgálni hőkamerával magok esetében. Célkitűzéseim között szerepelt tehát egy teljesen új módszer kidolgozása génbanki magok vizsgálatára, továbbá egy speciális, magok vizsgálatára kidolgozott egyedi hőkamera összeállítása, valamint különböző génbanki magtípusok vizsgálata hőkamerával életképesség és fajtaelkülönítés tekintetében.

Értekezésemben beszámoltam a magok hőkamerás vizsgálatával kapcsolatos új mérési módszer kialakításának folyamatáról és annak eredményeiről. Egy teljesen új, egyedi mérési folyamatot és annak módszerét dolgoztam ki, amellyel magok hőkamerás vizsgálatára van lehetőség oly módon, hogy a vizsgálat a magot nem károsítja, így bármikor megismételhető ugyanazzal a maggal, illetve a mért mag tovább vizsgálható. A kidolgozott módszert alkalmazva több mint 3500 mag hőkamerás mérését végeztem el a kutatás 9 éve alatt. Kutatómunkám során a Nemzeti Biodiverzitás- és Génmegőrzési Központ által elnyert Tématerület Kiválóság Programnak köszönhetően sikerült létrehozni azt a speciális labort, amelyet a magok hőkamerás vizsgálatára alakítottunk ki a kutatás során tapasztaltak alapján. Az új labor elengedhetetlen ahhoz, hogy a kidolgozott mérési módszert alkalmazni tudjunk.

A mért adatok alapján sikerült elkülöníteni napraforgó esetében a léha és nem léha kaszatterméseket, kukorica, alakor és veteménybab esetében a csírázó és a nem csírázóképes magokat, illetve pelyvás szemterméseket a mérési eredmények feldolgozását követően. Továbbá kukorica esetében a hibrid fajtakörhöz és a szabadelvirágzású fajtakörhöz tartozó kukoricafajtákat is sikerült hőkamera segítségével különválasztani.

Jövőbeli terveim között szerepel – további fajok magjainak mérését követően – egy új adatbázis létrehozása, melynek köszönhetően lehetőség nyílik a magok csoportosítására (fajok meghatározása, fajták elkülönítése). A csoportosítás, valamint az életképesség meghatározása is automatizálható egy megfelelő szoftver segítségével.

A számítás alapja lehet egy Mesterséges Intelligencia (MI) alapú rendszer, ami lehetővé teszi a magok azonosítását, pontos, gyors és automatizált módon, valamint besorolja az egyes magokat feltételezhető csírázókéességük szerint a hőkamerával mért értékek alapján.

8. SUMMARY

The conservation of genetic resources in gene banks is gaining importance all over the world. The diversity of plant genetic resources for food and agriculture is diminishing year by year. Several plant species and varieties have been withdrawn from production in the last decades; therefore *ex situ* collections are becoming more and more important besides *in situ* (on farm) conservation. Consequently, every piece of information on gene bank stored plants and each new method supporting gene bank conservation activities will be essential in the future.

There is only very limited experience on seed testing carried out by thermal imaging both in Hungary and internationally. Since no standard methodology has been developed for the thermal imaging of seeds, there is limited information in the international literature on which seed related physiological or other processes can be analysed with the help of this tool. Accordingly, my research goals included the development of a brand new method for the testing of gene bank stored seeds, the creation of a special thermal camera prototype for seed testing and using it for testing the viability of gene bank stored seeds and also for the identification of the different varieties.

In my thesis I presented how the new measuring method has been developed for the thermal camera imaging of seeds, and also showed the results achieved with the help of this tool. I elaborated a brand new unique measuring process and its methodology by which seeds can be analysed through thermal imaging without causing any damages. This way the same seed can be tested again if needed, or it can be further analysed after performing thermal imaging. During the 9 years long research period I carried out the thermal camera imaging of more than 3500 seeds according to the elaborated methodology. During my research activities a special laboratory has been created for the thermal camera based testing of seeds in the framework of the Thematic Excellence Program won by the National Centre for Biodiversity and Gene Conservation. This laboratory is essential for the practical application of the elaborated measuring method.

Based on the measured data empty and full sunflower achenes could be differentiated from each other. After processing the results of measuring the viable and non-viable seeds or glumaceous grains could be differentiated in the case of maize, einkorn and common bean. Furthermore, in the case of maize varieties

belonging to the hybrid or the open-pollinated variety groups could be differentiated from each other with the help of thermal imaging.

After analysing the seeds of further species I plan to create a new database enabling for the automatic grouping of seeds (identification of species and differentiation of varieties). In addition, the definition of viability can be also automated with the help of appropriate software containing all relevant information in the case of each species.

Calculations could be carried out by an artificial intelligence based system enabling for the accurate, fast and automated identification of seeds and also their classification according to their presumed germination rate based on the values measured by the thermal camera.

9. MELLÉKLETEK

M1: Irodalomjegyzék:

- ABDULLAHI, A., VANDERLIP, R. L. (1972): Relationship of vigour tests and seed source and size to sorghum seedling establishment. *Agronomy Journal* 64. p. 143-144.
- ÁNGYÁN J., MENYHÉRT Z. (2004): Alkalmazkodó növénytermesztés, környezet- és tájgazdálkodás. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- ÁNGYÁN J., TARDY J., VAJNÁNÉ MADARASSY A. (szerk.) (2003): Védett és érzékeny természeti területek mezőgazdálkodásának alapjai. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- BAILLY, C., EL-MAAROUF-BOUTEAU, H., CORBINEAU, F. (2008) From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. *CR Biol* 331:806–814.
- BAKTAY B. (2012): A Biológiai Sokféleség Egyezmény 10. konferenciájának fő eredményei (COP-10, Nagoya, 2010. okt. 18-29.). Múlt és Jövő IV. Tartamosság, Országos Erdőforum Kőszeg, Nyugat Magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron. Abstract/Összefoglaló, p. 12–15.
- BAKTAY, B., SIMON, A. (2016): Hungarian Strategies for the Conservation of Crop Wild Relative and Landrace Diversity. In: Enhancing crop genepool use: capturing wild relative and landrace diversity for crop improvement / edited by Nigel Maxted, M. Ehsan Dooloo, Brian V. Ford-Lloyd. Boston, MA: CABI, p. 318-325
- BARANOWSKI, P., MAZUREK, W., WALCZAK, R. (2003) The use of thermography for presowing evaluation of seed germination capacity. *Acta Horti* 604:459–465.
- BERKE J., KELEMEN D., KOZMA–BOGNÁR V., MAGYAR M., NAGY T., SZABÓ J., TEMESI T. (2010): Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai. DIGKEP.7.0, Keszthely: Kvarc Számítástechnikai Bt, 104 p.
- BERKE J., BÍRÓ T., BURAI P., KOVÁTS L.D., KOZMA-BOGNÁR V., NAGY T., NÉMETH T., TOMOR T. (2011a): A vörösiszap katasztrófa

légifelvételzése /tervezés, kivitelezés és hasznosulás/. Nemzetközi Báthory–Brassai Gazdasági, Műszaki és Természettudományi Konferencia. Balatonlelle, 2011. július 1-2.

- BERKE J., KOZMA-BOGNÁR V., KOVÁTS L.D., NAGY T. (2011b): Informatikai eszközök alkalmazása a vörösiszap katasztrófa légifelmérési adatainak feldolgozása során, Magyar Tudomány Napja, 2011. november 9. GDF Budapest.
- BERKE J., KOZMA- BOGNÁR V. (2010): Távérzékelés alapjai. In: Berke, J. (szerk.) Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai (DIGKEP v7.0). Elektronikus és nyomtatott tankönyv. Kvarc Számítástechnikai Bt., Keszthely. ISBN:978-963-06-7825-4.
- BEWLEY, J. D. (1997): Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9:1055–1066.)
- BUITINK, J. et al. (2006): Transcriptome profiling uncovers metabolic and regulatory processes occurring during the transition from desiccation-sensitive to desiccationtolerant stages in *Medicago truncatula* seeds. *Plant J* 47:735–750
- CHEN, D., OSBORNE, D. J. (1970): Hormones in translational control of early germination in wheat embryos. *Nature* 226:1157–1160.
- CRIDDLE, R. S., FONTANA A. J., RANK, D. R., PAIGE, D., HANSEN, L. D., BREIDENBACH, R. W. (1991): Simultaneous measurement of metabolic heat rate, CO₂ production, and O₂ consumption by microcalorimetry. *Anal Biochem* 194:413–417. 9.
- CZIMBER GY. (1970): A hazai előfordulású, keményhéjú magot termő növények ökológiai és rendszertani vonatkozásai. Agrártudományi Egyetem Keszthely, Mosonmagyaróvári Mezőgazdaságtudományi Kar Közleményei, (13): 5–40.
- CSÁKVÁRI, E., GYULAI, F., BAKTAY, B., BERKE, J. (2017): The role of environmental research in education based on digital image and metadata. *Journal of Applied Multimedia* No. 1./XII./2017 ISSN: 1789-6967
- CSONTOS P. (2001): A természetes magbank kutatásának módszerei. *Synbiologia Hungarica Scientia* Kiadó, Budapest, 155 p.,
- DE LOOR, G. P. (1993): Physical Characteristics of Remote Sensing Information. In: Buiten,

- EDELSTEIN, M., BRADFORD, K. J., BURGER, D. W. (2001): Metabolic heat and CO₂ production rates during germination of melon (*Cucumis melo* L.) seeds measured by microcalorimetry. *Seed Sci Res* 11:265–272.
- EFFMANN, H. (1966): Die Anwendung der Säurefuchsinmethode bei der Ermittlung der Keimfähigkeit von Gramineen. *Thaer-Arch.* 10. 205-212.
- EFFMANN, H., SPECHT, G. (1967): Bestimmung der Lebensfähigkeit der Samen von Gramineen mit der Säurefuchsinmethode unter Anwendung der Sequenzanalyse. *Proc. Int. Seed Test. Ass.* 32. 27-47.
- EIDMANN, T. E. (1936): Saatgutprüfung auf biochemischen Wege. *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen.* 68. 422-443.
- ELLIS, R.H., HONG, T.D., ROBERTS, E.H. (1985a): Handbook of seed technology for genebanks. Handbooks for Genebanks n. 2, International Plant Genetic Resources Institute 210 p. ISBN: 978-92-9043-118-3, ISBN: 92-9043-118-0
- ELLIS, R.H., HONG, T.D., ROBERTS, E.H. (1985b): Handbook of seed technology for genebanks. International Board for Plant Genetic Resources. 456 p. ISBN: 978-92-9043-119-0, ISBN: 92-9043-119-9
- ELEKES P. (1949): A borsómag életképességének megállapítása metilén-kékkel. *Mezőgazdasági Tudományos Közlemények*, 1. 217.
- ELMASRY, G., ELGAMAL, R., MANDOUR, N., GOU, P., AL-REJAIE, S., BELIN, E., ROUSSEAU, D. (2020): Emerging thermal imaging techniques for seed quality evaluation: Principles and applications. *Food Res Int.* 2020 May;131:109025. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109025. Epub 2020 Jan 22. PMID: 32247450 Review.
- EMŐDI A: Az alakor sokféleségének vizsgálata a morfometria módszereivel. Doktori (PhD értekezés). Szent István Egyetem, Gödöllő, 2020
- ENGELS, J .M. M. (2003): A Guide to Effective Management of Germplasm Collections. IPGRI Handbooks for Genebanks No. 6., 2003
- ENSZ (1972): Stockholmi Nyilatkozat. Egyesült Nemzetek Szervezetének Konferenciája az Emberi Környezetről, Stockholm, 1972

- ENSZ (1992): *Biológiai Sokféleség Egyezmény, Egyesült Nemzetek Szervezete, Rio De Janeiro, 1992*
- ERDEI L. (2004): *Növényélettan. Növekedés- és fejlődésélettan. JATEPress, Szeged, 366 p.*
- FAO (1996): *Global plan of action for the conservation and sustainable utilisation of plant genetic resources for food and agriculture. Leipzig, Germany, June 1996.*
- FAO (2001): *International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Thirty-First Session of the Conference of the Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001*
- FAO (2004): *What is agrobiodiversity? Training Manual - "Building on Gender, Agrobiodiversity and Local Knowledge". FAO, 2004*
- FAO (2013): *Genebank Standards. UN Food and Agriculture Organization, Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, 14th Regular Session, Rome.*
- FERNÁNDEZ-MARÍN, B., BUCHNER, O., KASTBERGER, G., PIOMBINO, F., GARCÍA-PLAZAOLA, J. I., KRANNER, I., (2019): *Non-invasive diagnosis of viability in seeds and lichens by infrared thermography under controlled environmental conditions). Plant Methods. 2019 Dec 5;15:147. doi: 10.1186/s13007-019-0531-8. eCollection 2019. PMID: 31827579 Free PMC article*
- GAFF, D. F., OKONGO-OGALA, O. (1971): *The use of non permeating pigments for testing the survival of cells. Journal of Experimental Botany. 22. 756-758.*
- GÉNBANKSZABVÁNYOK (1994): *Az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezete, Róma, Növényi Genetikai Erőforrások Nemzetközi Intézete, Róma.*
- GÓMEZ-CAMPO, C. (2006): *Erosion of genetic resources within seedbanks: the role of seed containers. Seed Science Research, 16: 291–294 p.*
- GPA (2011): *The Second Global Plan of Action for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture FAO Council at its 143rd Session, 2011 Róma*
- GRÓSZ G. (2010): *Digitális képfeldolgozás alkalmazása üvegházi és szabadföldi kísérletek kiértékelésénél. Doktori Disszertáció. Keszthely : Pannon Egyetem Állat- és Agrárkörnyezet-tudományi Doktori Iskola, 167 p.*

- GSPC (2010): Global Strategy for Plant Conservation. Conference of the Parties of the Convention on Biological Diversity, Nagoya, 2010
- GUREVICS, A. (1937): Über die Dinitrobenzol-Methode zur Bestimmung der Keimfähigkeit ohne Keimprüfung. II. Mitteilung. Berliner der Deutschen Botanischen Gesellschaft. 55. 54-58 p.
- GYULAI F. (1999): Az agrobiodiverzitás változása a Kárpát-medencében. Fenntartható Fejlődés Bizottság, Budapest.
- GYULAI F. (2001): Archaeobotanika. Jászöveg Műhely Kiadó, Budapest.
- GYULAI, F. (2003): Preliminary notes regarding early 10th century cereal production by the first hungarian settlers. Acta Agronomica Hungarica 51(1), 69-75.p.
- GYULAI, F., ROVNER, I. (2004): Applications of Computer-Assisted Morphometry II – Macrobotany: Morphology and Taxonomy of Seeds. 13th Symposium of the International Work Group for Palaeoethnobotany, Girona 16th -22th May 2004. Programme and Abstracts, 140.
- GYULAI, F., KENÉZ, Á., PETŐ, Á. (2011): Morphogenetics of seeds and plant remains in the Carpathian Basin from the neolithic (8000 BP) to the late medieval age (17th cent CE), In: Gyulai Gábor (szerk.) Plant Archaeogenetics: Botanical Research and Practices. New York: Nova Science Publishers Inc., 31-39 p.
- HAGESETH, G.T., CODY, A.L. (1993): Energy-level model for isothermal seed germination.
Exp Bot 44:119–125. p.
- HASEGAWA, K. (1936): On a method of determining seed viability by a certain reagent. Journal of Japanese Botany. 8. 1-4.
- HAY, F., DE GUZMAN, F., ELLIS, D., MAKABIYA, H., BORROMEO, T., HAMILTON, N. (2012): Viability of *Oryza sativa* L. seeds stored under genebank conditions for up to 30 years. Genetic Resources and Crop Evolution, 60 (1): 275– 296. p.
- HEIT, C. E. (1943): Removing embryos of many seeds hastens germination tests. Farm Res., 9 (3). 11-20.

- HEIT, C. E. (1945): Viability testing of extremely dormant seeds by embryo excision. New York Agricultural Station Annual Report. 1943/44. 46.
- HEIT, C. E. (1943): The excised embryo method for testing germination quality of dormant seed. Proceedings of the Association of Official Seed Analysts. 45. 108-117.
- HESZKY L. (2009): A génbankok valóban gének bankjai lesznek a XXI. században. Tájgazdálkodás, tájfajták, génmegőrzés. Országgyűlés Mezőgazdasági Bizottsága, Budapest.
- HEYDECKER, W. (1972): Report of the Vigour Test Committee. Proceedings Institute Seed Testing Association 37. 379-387. p.
- HOLLY L. (1979): Genetikai tartalékok. In: Sterbetz I. (szerk.): Élő örökségünk. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 8-24. p.
- HOLLY L. (2000): A kultúrnövény diverzitás megőrzésének lehetőségei. Az Agrobiodiverzitás megőrzése és hasznosítása. Szimpózium Jánossy Andor emlékére, Budapest.
- HORTOBÁGYI T. et al. (1974): Agrobotanika. Budapest, 469 p.
- HOURTON-CABASSA, MATOS, A. R., ZACHOWSKI, A., MOREAU, F. (2004): The plant uncoupling protein homologues: a new family of energy-dissipating proteins in plant mitochondria. Plant Physiol Biochem 42: 283–290. p.
- HOEKSTRA, F. A. (2005) Differential longevities in desiccated anhydrobiotic plant systems. Integr Comp Biol 45:725–733. p.
- ISELY, D. (1950): The cold-test for corn. Proceedings Institute Seed Testing Association 16. 299-311.
- ISELY, D. (1951): Vigour tests. Proceedings Association of Official Seed Analysts 47. 176-182. p.
- ISTA (2008): ISTA (International Seed Testing Association). 2008. International rules for seed testing. Bassersdorf, Switzerland.
- IVANOV, V. J., Иванов, В. Ю. (1950): Определение всхожести семян с помощью фуксина. Селек. и Семен. 17. 60-61.

- KAUNITZ, J. D. (2015): The Discovery of PCR: ProCuRement of Divine Power, Dig Dis Sci. 2015 August ; 60(8): 2230–2231. doi:10.1007/s10620-015-3747-0
- KOHÁRY E. (szerk.) (2003): Eleven örökség. Kenyér és kásanövények a Kárpát-medencében. Agroinform Kiadó, Budapest.
- KOZMA-BOGNÁR V., BERKE J. (2013) : Termovízió alapú eredmények a közlekedés eredet szennyezőanyagok hatásvizsgálatában XVIII. Nemzetközi HŐTECHNIKAI ÉS TERMOGRAMMETRIAI (THERMO) KONFERENCIA. Budaöresti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. 2013.július 2-5.
- KRANNER, I., KASTBERGER, G., HARTBAUER, M., PRITCHARD, H. (2010): Noninvasive diagnosis of seed viability using infrared thermography. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 107. 3912-7. 10.1073/pnas.0914197107.
- KRANNER, I., KASTBERGER, G., HARTBAUER, M., PRITCHARD, H.W. (2010) Noninvasive diagnosis of seed viability using infrared thermography. Proceeding of the National Academy of Sciences of the USA 107, 3912-3917.
- KIESSELBACH, T. A., WALKER, W. R. (1952): Structure of certain specialized tissues in the kernel of corn. Amer. J. Bot. 39. 561 – 569. p.
- KRANNER I, BIRTIC S. (2005): A modulating role for antioxidants in desiccation tolerance. Integr Comp Biol 45:734–740. p.
- KRANNER, I., BIRTIC, S., ANDERSON, K. M., PRITCHARD, H. W. (2006): Glutathione half-cell reduction potential: A universal stress marker and modulator of programmed cell death? Free Radic Biol Med 40:2155–2165.
- LAKON, G. (1942): Topographischer Nachweis der Keimfähigkeit der Getreidefrüchte durch Tetrazoliumsalze. Ber. Deut. Bot. Ges. 60. 299-305.
- LIU, L., WANG, Z., LI, J., ZHANG, X., WANG, R. (2020): A Non-Invasive Analysis of Seed Vigor by Infrared Thermography. Plants (Basel). 2020 Jun 19;9(6):768. doi: 10.3390/plants9060768. PMID: 32575514 Free PMC article.
- MA, Q. Y., CHEN, L., HOU, J., LIU, H.L., LI, S.X. (2016): Seed viability test for *Acer pictum* and *A. rubrum*. European Journal of Horticultural Science. Vol. 81. No. 1. pp 44-48.

- MAGYAR SZABVÁNYÜGYI TESTÜLET (1992): Magyar Szabvány: Vetőmag-vizsgálati módszerek – A csírázókéesség meghatározása. Magyar Szabványügyi Hivatal, Budapest. MSZ 6354-3.
- MAGYAR SZABVÁNY (2008): Vetőmag-vizsgálati módszerek. 3. rész: A csírázókéesség meghatározása. MSZ 6354-3. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest. 46 p.
- MAGYAR SZABVÁNY (2009): Vetőmag-vizsgálati módszerek. 4. rész: Az életkéesség biokémiai vizsgálata. MSZ 6354-4. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest. 39 p.
- MÁLNÁSI-CSIZMADIA G., BAKTAY B., HOCK ZS., HOLLY L., SIMON A. (2012): Növényi Sokféleség Megőrzése - A Növényi Diverzitás Központ munkája a Tápió-vidéken, Természetvédelem és kutatás a Tápió-vidéken, Rosalia kötet 7, pp. 97-124.
- MEN, S., YAN, L., LIU, J., QIAN, H., LUO, Q., (2017). A Classification Method for Seed Viability Assessment with Infrared Thermography 2017 Apr Basel 12;17(4):845. doi: 10.3390/s17040845. PMID: 28417907 Free PMC article.
- MENEGUZZO, M. R. R., MENEGHELLO, G. E., NADAL, A. P., XAVIER, F., DA, M., DELLAGOSTIN, S. M., CARVALHO, I. R., GONÇALVES, V. P., LAUTENCHLEGER, F., LÂNGARO, N. C. (2021): Seedling length and soybean seed vigour. *Ciência Rural*. volume 51. number 7. 1-8.
- MGSZH (2012): Az agrobotanikai kutatás 50 éve (1959-2009). Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal, Budapest.
- MOURIK, J., BAKRI, A. (1991): Application of microcalorimetry to plant technology: germination and initial growth. *Thermometric Application Note* 22017., VIII/14. p. 451.
- MRAVCSIK Z. (2019): A Vitaceae család termesztett fajainak evolúciója domesztikációja és diverzitása a Kárpát-medencében a morfogenetikai vizsgálatok tükrében. Doktori disszertáció 2019 Szent István Egyetem
- NAGY K. (2001): Max Planck és a százéves kvantumhipotézis *Fizikai Szemle* 2001/2. p. 37.
- NAGY, T. (2005): Resurrection of Thermovision, *Magyar Elektronika* 1-2.

- NBGK (2019): A tápiószelei génbank története, feladatai és gyűjteményei. Nemzeti Biodiverzitás- és Génmegőrzési Központ. ISBN 978-615-00-5919-8
- NYEBULJOV D. N. (1925): Über die Methoden der Bestimmung der Keimfähigkeit ohne Keimprüfung. *Jard. Botan. Inst. Essias Semences Leningrad, Ann. Essais Semences* 7. 31-35. p.
- O'DONNELL, K., SHARROCK, S. (2015): Seed Banking Botanic Gardens: Can botanic gardens achieve GSPC Target 8 by 2020? *BGjournal*, 12 (1): 3-8.
- OSBORNE, D. J., DELLAQUILA, A., ELDER, R.H. (1984): DNA repair in plant cells - an essential event of early embryo germination in seeds. *Folia Biol (Prague)* 30:155–160. p.
- PETI E., MÁLNÁSI-CSIZMADIA G., OLÁH I., SCHELLENBERGER J., TÖRÖK K., HALÁSZ K., BAKTAY B. (2015): A Pannon Magbank program (2010–2014) maggyűjtési, tárolási, előzetes életképesség vizsgálati eredményei és módszerei In: *Természetvédelmi közlemények*. 2015. 21., . 215-231. p.
- PETI, E., SCHELLENBERGER, J., NÉMETH, G., MÁLNÁSI CSIZMADIA, G., OLÁH, I., TÖRÖK, K., CZÓBEL, SZ., BAKTAY, B. (2016): Presentation of the HUSEEDwild – a seed weight and germination database of the Pannonian flora – through analysing life forms and social behaviour types. — *Applied Ecology and Environmental Research* 15(1): 225 – 244. Print ISSN: 1589 1623, Online ISSN: 1785 0037
- PETHŐ M. (1993): *Mezőgazdasági növények élettana*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 508 p.
- PETHŐ M. (1998): *A növényélettan alapjai*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 177 p.
- PLANCK, M. (1901): On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum. *Annalen der Physik*. Vol. 4. pp. 553-560. p.
- PLANCK, M. (1902): Über die Verteilung der Energie zwischen Aether und Materie. *Annalen der Physik* 1902. Band 314, Heft 11, S. 629-641.
- PRAT, H. (1952): Microcalorimetric studies on germinations of cereals. *Can J Bot* 30:379–394.

- QIAO, Y. M., WANG, R.J., BAI, Y.G., HANSEN, L.D. (2005): Characterizing critical phases of germination in winterfat and malting barley with isothermal calorimetry. *Seed Sci Res* 15:229–238.
- RAJJOU, L. GALLARDO, K., DEBEAUJON, I., VANDEKERCKHOVE, J., JOB, C., JOB, D. (2004): The effect of alpha-amanitin on the Arabidopsis seed proteome highlights the distinct roles of stored and neosynthesized mRNAs during germination. *Plant Physiol* 134:1598–1613.
- RAJJOU, L., LOVIGNY, Y., GROOT, P. C. S., BELGHAZI, M., JOB, C., JOB, D. (2008): Proteome-wide characterization of seed aging in Arabidopsis: A comparison between artificial and natural aging protocols. *Plant Physiol* 148:620–641.
- RAO, N., HANSON, J., DULLOO, M., GHOSH, K., NOWELL, D., LARINDE, M. (2006): *Manual of Seed Handling in Genebanks*. Bioversity International, Rome
- ROBERTS, E. H. (1973): Predicting the storage life of seeds. *Seed science and technology*, 1: 499-514. p.
- 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.
- ROYAL BOTANIC GARDENS KEW (2020): Seed Information Database (SID). Version 7.1. Available from: <http://data.kew.org/sid/>
- RUIZ, M., MARTIN, I., DE LA CUADRA, C. (1999): Cereal seed viability after 10 years of storage in active and base germplasm collections. *Field Crops Research*, 64 (3:) 229-236. p.
- SABINS, F. F. (1987): *Remote Sensing Principles and Interpretation*. W. H. Freeman and Company, New York
- SCHOWENGERDT, R. A. (2007): *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*. Elsevier. ISBN 13: 978-0-12-369407-2.
- SCHUBERT, J. (1965): Vergleichsuntersuchung zur Prüfung der excised Embrio. Methode anhand des Keim- und Tetrazoliumtests bei *Fraxinus excelsior*, *Prunus avium* und *Pinus monticola*. *Proc. Int. Seed Test. Ass.* 30. 821-860. p.

- SEMAGN, K., BJØRNSTAD, Å., NDJIONDJOP, M. N. (2006): An overview of molecular marker methods for plants. African Journal of Biotechnology Vol. 5 (25) pp. 2540-2568 29 December, 2006
- SIGSTAD, E. E., PRADO, F. E. (1999): A microcalorimetric study of *Chenopodium quinoa* Willd. seed germination. Thermochim Acta 326:159–164. p.
- SMITH, R. D., DICKIE, J. B., LININGTON, S. H., PRITCHARD, H. W., PROBERT, R. J., EDS. (2003): Seed conservation: turning science into practice. Chapter 24. Kew, UK, Royal Botanic Gardens
- SP (2010): Strategic Plan 2010-2020, Conference of the Parties of the Convention on Biological Diversity, Nagoya, 2010
- SoWPGR-2 (2010): Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations 2010
- STERBETZ I. (szerk.) (1979): Élő örökségünk. Généráció, génbank. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- STOUTAMIRE W. (1974): Terrestrial orchid seedlings. In: Whitner, C. (Ed.) The orchids, Scientific Studies. A Wiley-interscience publication, 101-128. p.
- SUSZKA, B., MULLER, C., BONNET-MASIMBERT, M. (2008): Az erdei lombos fák magjai a begyűjtéstől a vetésig. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 291 p.
- SZABÓ LÁSZLÓ GY. (szerk.) (1980): A magbiológia alapjai. Akadémiai Kiadó, Budapest, 391 p.
- THAKUR, M., SHARMA, P., ANAND, A., PANDITA, VK., BHATIA, A., PUSHKAR, S. (2020): Raffinose and Hexose Sugar Content During Germination Are Related to Infrared Thermal Fingerprints of Primed Onion (*Allium cepa* L.) Seeds. Front Plant Sci. 2020 Oct 6;11:579037. doi: 10.3389/fpls.2020.579037. eCollection 2020. PMID: 33123184 Free PMC article.
- TIHANYI Z., TOMPA K. (1985): Erdészeti nemesítés és szaporítóanyag termesztés: gyakorlatok. Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron, 209 p.

- TOMCSÁNYI A., TURCSÁNYI G. (2004): Az árpa (*Hordeum* L.). Magyarország Kultúrflórája
- TURINA, B. (1922): Vergleichende Versuche über die Einwirkung der Selen-Schwefel- und Tellursalze auf die Pflanzen. Bichemische Zeitschrift. 12. 507-533. p.
- VAUGHAN, J. G. (1970): The structure and utilization of oil seeds, Chapman and Hall Ltd., London
- VERCESI, A. E., BORECKY, J., GODOY MAIA, I., ARRUDA, P., CUCCOVIA, M. I., CHAIMOVICH, H. (2006) Plant uncoupling mitochondrial proteins. Annu Rev Plant Biol 57:383–404
- VM - Vidékfejlesztési Minisztérium (2013): Élelmezési célú növényi genetikai erőforrások megőrzésének szakmai stratégiája 2013-2020
- WALTERS, C., ENGELS, J. (1998): The effects of storing seeds under extremely dry conditions. Seed Science Research, 8: 3-8. p.
- WALSH, D. G. F, WALDREN, S., MARTIN, J. (2003): Monitoring seed viability of fifteen species after storage in the Irish Threatened Plant Genebank. Biology and Environment-proceedings of The Royal Irish Academy, 103 (2): p. 59-67. p.
- WEISINGETAL KURT (2005): DNA Fingerprinting in Plants, Principles, Methods, and Applications, második kiadás, CRC Press 2005
- WOODSTOCK, L. W. (1969) Seedling growth as a measure of seed vigour. Proceedings Institute Seed Testing Association 34. 273-280.
- WOODSTOCK, L. W. (1973): Physiological and biochemical test for seed vigour. Seed Science and Technology 1. 127-157. p.
- ZELENCHUK, T. K. (1961): The content of viable seeds in meadow soils of the L'vov Region. Byull. Mosk. Ova Ispyt. Prir., Otd. Biol., 66 (3): 77--92 (in Russian)

M2: Csíráztatási eredmények

Az Esztramos-hegy bányajáratában 2015. április 23-án végzett hőkamerás vizsgálatokat követő csíráztatási eredmények napraforgó léha és nem léha kaszatterméseken. A táblázatban látható értékek a csírákezdemények hosszát adják meg cm-ben adott napra vonatkozóan.

	2015.06.02	2015.06.03	2015.06.04	2015.06.05	2015.06.08	2015.06.09	2015.06.10	2015.06.11	2015.06.12	
ssz.	kedd	szerda	csütörtök	péntek	hétfő	kedd	szerda	csütörtök	péntek	
1.	0	0	0,8	1	6	8	8	9		1 - 20 TELI
2.	0	0	0	2	2,5	3	5	5,5		
3.	0	0	0	0	0	0	0	torz csírákezd.		
4.	0	0	1	3	14	17	18	18		
5.	0	0	0,8	1,5	2	2,5	2,5	3		
6.	0	0	0,9	2	3,5	5,5	6,5	8		
7.	0	0,1	1	1,5	4,5	5	5,5	5,5		
8.	0	0	1	3	4,5	5,5	10	11,5		
9.	0	0	0,8	1,5 torz	1,5 torz	1,5 torz	1,5 torz	torz		
10.	0	0,4	1,2	2	3	3,5 torzuló	3,5 torz	3,5 torz		
11.	0	0	0,5	2	4	5	5,5	6,5		
12.	0	0	0	0	2	3,5	3,5	4		
13.	0	0,1	1	2	2,5	2,5	2,5	5		
14.	0	0	0	0	0	0	0	2,5	3,5	
15.	0	0,2	1	2	2	3	3	3		
16.	0	0	0	0	0	0	0	torzuló csírákezd.		
17.	0	0,3	1,5	2,5	9,5	14,5	17	18		
18.	0	0	0	0	3,5	6,5	8	8		
19.	0	0	1	1,8	11	13,5	16	17,5		
20.	0	0	1,2	2	4,5	6	6 torzuló	6 torz		

21.	0	0	0	0	0	0	0	üres		21 - 40 LÉHA
22.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
23.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
24.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
25.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
26.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
27.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
28.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
29.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
30.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
31.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
32.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
33.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
34.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
35.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
36.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
37.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
38.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
39.	0	0	0	0	0	0	0	üres		
40.	0	0	0	0	0	0	0	üres		

41.	0	0	0,8	2 torzuló	2 torzuló	5 torzuló	6,5	8	
42.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
43.	0	1	4	7	8	10	11	11	
44.	0	0	1,2	2,5	10,5	12	12	14	
45.	0	0,2	1,3	2,7	2,7 torz+p	2,7 torz+p	2,7 torz+p	torz, penészes	
46.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
47.	0	0,7	2,7	4,5	8	9,5	10	10	
48.	0	0,5	1,5	3,5	9	10	12	12	
49.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
50.	0	0,2	0,5 torz	0,5 torz	0,5 torz+p	0,5 torz+p	0,5 torz+p	torz, penészes	
51.	0	0	1,5	4	5,5 torzuló	5,5 torz	5,5 torz	torz	
52.	0	0,5	2,5	5	30	32	33	33	
53.	0	0	1,3	3,5	6,5	7,5	7,5	8	
54.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
55.	0	0	1,2	4	13,5	17	20	24	
56.	0	0,1	1,2	2	3	5	5,5	6	
57.	0	0,8	2	4	6	7,5	8	8	
58.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
59.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
60.	0	0	0	0	0	0	0	üres	

41 - 60 KEVERT

61.	0	0,7	2	4	5	5,5	6 torzuló	6 torz	
62.	0	1	2	2,5	5 torzuló	6 torzuló	6 torz	6,5 torz	
63.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
64.	0	0	1,5	2	7	7	8,5	8,5	
65.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
66.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
67.	0	0,5	2	2,5	5	6	6,5 torzuló	7 torzuló	
68.	0	0,5	1,6	3	12	16,5	22	25	
69.	0	0	1,5	3	7,5	9,5	12	16	
70.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
71.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
72.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
73.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
74.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
75.	0	0	0	0	0	0	0	penészes	
76.	0	0	1,7	2,5	8	10	10 torzuló	10	
77.	0	0	1	4	4 torz	4 torz	4 torz	torz	
78.	0	0	0	0	0	0	0	üres	
79.	0	0,2	0,2 torz	0,2 torz	0,2 torz+p	0,2 torz+p	0,2 torz+p	torz, penészes	
80.	0	0,5	2,7	5,5	10,5				

61 - 80 KEVERT

Az Esztramos-hegy bányajaratában 2016. március 16-án végzett hőkamerás vizsgálatokat követő csíráztatási eredmények. *Phaseolus vulgaris* (veteménybab) 1–50. sorszám selejt, 51–100 sorszám normál magok. *Zea mays* (kukorica) 101–150. sorszám selejt, 151–200. sorszám normál magok. *Triticum monococcum* (alakor) 201–250, sorszám selejt, 251–300. normál magok.

Csíráztatás kezdete: 2016. 04. 19
 —||— vége: 2016. 04. 28

Sorszám	Fajnév	Vizsgálat ideje (nap)								
		1.	2.	3.	4.	5. ^{04.19}	6.	7.	8.	9.
1.	Phaseolus vulgaris	—	—	—	—	—	—	torzult		
2.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
3.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
4.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
5.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
6.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
7.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
8.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
9.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			0,2 cm extra torzult			
10.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			0,1 cm extra torzult			
11.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			torzult			
12.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			0,6 cm extra			
13.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
14.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			0,6 cm extra			
15.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			0,2 cm extra			
16.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
17.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
18.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			2 cm extra			
19.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
20.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
21.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			0,5 cm extra torzult			
22.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
23.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
24.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
25.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			1 cm extra torzult			
26.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			2 cm extra torzult			
27.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
28.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
29.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
30.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			0,5 cm extra torzult			
31.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
32.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
33.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			torzult			
34.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
35.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			

Sorszám	Fajnév	Vizsgálat ideje (nap)								
		1.	2.	3.	4.	5. cselleg	6.	7.	8.	9.
36.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			0,3cm csíra	torzult		
37.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
38.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
39.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
40.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
41.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
42.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
43.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
44.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			torzult			
45.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
46.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
47.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
48.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
49.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			0,5cm csíra			
50.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
51.	Phaseolus vulgaris	—	—	0,5cm csíra						
52.	Phaseolus vulgaris	—	0,1mm csíra	1cm csíra						
53.	Phaseolus vulgaris	—	—	1,5cm csíra						
54.	Phaseolus vulgaris	—	0,5mm csíra	1,5cm csíra						
55.	Phaseolus vulgaris	—	—	penészes						
56.	Phaseolus vulgaris	—	—	0,5cm csíra						
57.	Phaseolus vulgaris	—	—	0,5cm csíra						
58.	Phaseolus vulgaris	—	torzult cs	torzult						
59.	Phaseolus vulgaris	—	0,2mm csíra	1cm csíra						
60.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			8cm csíra			
61.	Phaseolus vulgaris	—	—	1cm csíra						
62.	Phaseolus vulgaris	—	—	0,5cm csíra						
63.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
64.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
65.	Phaseolus vulgaris	—	1mm csíra	1cm csíra						
66.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			penészes			
67.	Phaseolus vulgaris	—	—	0,5cm csíra						
68.	Phaseolus vulgaris	—	0,6mm csíra	2cm csíra						
69.	Phaseolus vulgaris	—	—	2cm csíra						
70.	Phaseolus vulgaris	—	0,7mm csíra	2cm csíra						

Sorszám	Fajnév	Vizsgálat ideje (nap)								
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
71.	Phaseolus vulgaris	—	—	4cu colra						
72.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			4cu colra			
73.	Phaseolus vulgaris	—	—	0,5cu colra						
74.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			10cu colra			
75.	Phaseolus vulgaris	—	0,5cu colra	torzult						
76.	Phaseolus vulgaris	—	0,5cu colra	1,5cu colra			torzult			
77.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			—	—	2cu colra	10cu colra
78.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			—	—	—	keverék
79.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			12cu colra			
80.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			12cu colra			
81.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			3cu colra			
82.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			8cu colra			
83.	Phaseolus vulgaris	—	—	1,5cu colra						
84.	Phaseolus vulgaris	—	—	0,5cu colra						
85.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			5cu colra			
86.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			12cu colra			
87.	Phaseolus vulgaris	—	—	1cu colra						
88.	Phaseolus vulgaris	—	—	1cu colra						
89.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			6cu colra			
90.	Phaseolus vulgaris	—	—	0,5cu colra						
91.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			0,2cu colra			
92.	Phaseolus vulgaris	—	0,1cu colra	1,5cu colra						
93.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			3cu colra			
94.	Phaseolus vulgaris	—	—	0,5cu colra						
95.	Phaseolus vulgaris	—	—	1cu colra						
96.	Phaseolus vulgaris	—	—	0,2cu colra			torzult			
97.	Phaseolus vulgaris	—	0,5cu colra	2cu colra						
98.	Phaseolus vulgaris	—	0,5cu colra	1,5cu colra						
99.	Phaseolus vulgaris	—	—	—			—	—	—	keverék
100.	Phaseolus vulgaris	—	0,5cu colra	1,5cu colra						

Csúsztatás kezdete: 2016.04.19
 vége: 2016.04.26.

Sorszám	Fajnév	Vizsgálat ideje (nap)						
		1.	2.	3.	4. csúsz	5.	6.	7.
101.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
102.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
103.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
104.	Zea mays	—	—	—			penészes	
105.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
106.	Zea mays	—	—	—			penészes	
107.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
108.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
109.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
110.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
111.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
112.	Zea mays	—	—	—			penészes	
113.	Zea mays	—	—	—			torz	
114.	Zea mays	—	—	—			penészes	
115.	Zea mays	—	—	—			penészes	
116.	Zea mays	—	—	—			penészes	
117.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
118.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
119.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
120.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
121.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
122.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
123.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
124.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
125.	Zea mays	—	—	—			penészes	
126.	Zea mays	—	—	—			penészes	
127.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
128.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
129.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
130.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
131.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
132.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
133.	Zea mays	—	—	—			penészes	
134.	Zea mays	—	—	—			penészes	
135.	Zea mays	—	—	—			penészes	

Sorszám	Fajnév	Vizsgálat ideje (nap)						
		1.	2.	3.	4. érelly	5.	6.	7.
136.	Zea mays	—	—	—			penészes	
137.	Zea mays	—	—	—			—	Penészes
138.	Zea mays	—	—	—			—	Penészes
139.	Zea mays	—	—	—			penészes	
140.	Zea mays	—	—	—			penészes	
141.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
142.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
143.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
144.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
145.	Zea mays	—	—	—			penészes	
146.	Zea mays	—	—	—			penészes	
147.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
148.	Zea mays	—	—	—			penészes	
149.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
150.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
151.	Zea mays	—	1mm csira	gyök+nyerg				
152.	Zea mays	—	1mm csira	gyök+nyerg				
153.	Zea mays	—	—	1mm csira				
154.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
155.	Zea mays	—	1mm csira	0,5cm csira			törzsellet	
156.	Zea mays	—	1mm csira	gyök+nyerg				
157.	Zea mays	—	—	—			6cm csira	
158.	Zea mays	—	1mm csira	gyök+nyerg				
159.	Zea mays	—	—	gyök+nyerg				
160.	Zea mays	—	—	gyök+nyerg				
161.	Zea mays	—	1mm csira	gyök+nyerg			törzsellet	
162.	Zea mays	—	1mm csira	gyök+nyerg				
163.	Zea mays	—	1mm csira	gyök+nyerg				
164.	Zea mays	—	1mm csira	gyök+nyerg				
165.	Zea mays	—	1mm csira	gyök+nyerg				
166.	Zea mays	—	1mm csira	gyök+nyerg				
167.	Zea mays	1mm csira	3mm csira	gyök+nyerg				
168.	Zea mays	—	—	gyök+nyerg				
169.	Zea mays	—	—	2mm csira			törzsellet	
170.	Zea mays	—	1mm csira	nyerg+gyök				

Sorszám	Fajnév	Vizsgálat ideje (nap)						
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
171.	Zea mays	—	—	gyök+mag				
172.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
173.	Zea mays	—	—	gyök+mag				
174.	Zea mays	—	—	gyök+mag			törzset	
175.	Zea mays	—	—	—			—	penészes
176.	Zea mays	—	1mm csíra	mag+gyök				
177.	Zea mays	—	—	—			penészes	
178.	Zea mays	—	—	gyök+mag				
179.	Zea mays	—	1mm csíra	gyök+mag				
180.	Zea mays	—	1mm csíra	gyök+mag				
181.	Zea mays	—	—	2mm csíra			törzset	
182.	Zea mays	—	—	—			penészes	
183.	Zea mays	—	—	—			penészes	
184.	Zea mays	—	—	—			penészes	
185.	Zea mays	—	—	0,5cm csíra				
186.	Zea mays	—	—	—			penészes	
187.	Zea mays	—	—	—			6cm csíra	
188.	Zea mays	—	—	—			penészes	
189.	Zea mays	—	1mm csíra	gyök+mag				
190.	Zea mays	—	1mm csíra	gyök+mag				
191.	Zea mays	—	1mm csíra	gyök+mag				
192.	Zea mays	—	—	—			penészes	
193.	Zea mays	—	—	—			penészes	
194.	Zea mays	—	1mm csíra	gyök+mag				
195.	Zea mays	—	1mm csíra	gyök+mag				
196.	Zea mays	—	1mm csíra	gyök+mag			törzset	
197.	Zea mays	—	—	2mm csíra			törzset	
198.	Zea mays	—	1mm csíra	2mm csíra			törzset	
199.	Zea mays	—	1mm csíra	gyök+mag				
200.	Zea mays	—	—	2mm csíra				

Sorszám	Fajnév	Vizsgálat ideje (nap)						
		1.	2.	3.	4. este	5.	6.	7.
251.	Triticum monococcum	—	—	gyökérsele				
252.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
253.	Triticum monococcum	—	—	—			—	penész
254.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
255.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökérsele				
256.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
257.	Triticum monococcum	—	—	—			toz	
258.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökérsele				
259.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
260.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökérsele				
261.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
262.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
263.	Triticum monococcum	—	—	gyökérsele				
264.	Triticum monococcum	—	—	gyökérsele				
265.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
266.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
267.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
268.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
269.	Triticum monococcum	—	—	gyökérsele				
270.	Triticum monococcum	—	—	gyökérsele				
271.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
272.	Triticum monococcum	—	—	gyökérsele				
273.	Triticum monococcum	—	—	—			gyökér+mag	
274.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
275.	Triticum monococcum	—	—	gyökérsele				
276.	Triticum monococcum	—	—	gyökérsele				
277.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
278.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
279.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
280.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
281.	Triticum monococcum	—	—	—			—	penész
282.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
283.	Triticum monococcum	—	—	—			—	penész
284.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
285.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
286.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
287.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
288.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
289.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökérsele				
290.	Triticum monococcum	—	—	—			—	tenyészt
291.	Triticum monococcum	—	—	—			gyökér+mag	
292.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
293.	Triticum monococcum	—	—	gyökérsele				
294.	Triticum monococcum	—	—	gyökér+mag				
295.	Triticum monococcum	—	—	—			gyökér+mag	
296.	Triticum monococcum	—	—	gyökérsele				
297.	Triticum monococcum	—	—	gyökérsele				
298.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
299.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				
300.	Triticum monococcum	—	gyökérsele	gyökér+mag				

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőimnek Dr. Gyulai Ferencnek és Dr.

Berke Józsefnek, valamint kutatócsoportunk állandó tagjának

Szalkovszki Ottónak.

Köszönöm férjemnek, Oláh Imrének a sok türelmet és segítséget.

Szeretném megköszönni továbbá Soltészné Gál Anikónak, Horváth Lajosnak,

Málnási Csizmadia Gábornak és Édesanyámnak a segítséget.