



**A MÁK (*PAPAVER SOMNIFERUM L.*) FAGYTŰRÉSÉBEN SZEREPET JÁTSZÓ
TÉNYEZŐK**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

PAPPNÉ JÁSZBERÉNYI CSILLA

TÉMAVEZETŐ: ZÁMBORINÉ DR. NÉMETH ÉVA (DSc)

BUDAPEST
2014

A doktori iskola

megnevezése: Kertészettudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: Dr. Tóth Magdolna
egyetemi tanár, DSc
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar,
Gyümölcsstermő Növények Tanszék

témavezető: Zámboriné Dr. Németh Éva
egyetemi tanár, DSc
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar,
Gyógy- és Aromanövények Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....
Dr. Tóth Magdolna
iskolavezető jóváhagyása

.....
Zámboriné Dr. Németh Éva
témavezető jóváhagyása

1. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉS

A mák (*Papaver somniferum* L.) amellet, hogy tradicionálisan fogyasztott élelmiszer nemcsak hazánkban, hanem más európai országokban egyaránt, a gyógyszeriparban mindmáig betöltött szerepénél fogva az egyik legkeresettebb, alkaloidokat felhalmozó gyógynövény fajunk. Jelentősége e két speciális funkcionalitásában rejlik, amit a világszerte egyre fokozódó volumenű kutatás támaszt alá.

Magyarországon a máknak kétféle ökotípusát termesztik, az áttelelő, őszi ökotípust, illetve a tavaszt. Napjainkban az őszi vetésű (őszi-tavaszi vegetációs ciklusú) fajták termesztése előtérbe került, ugyanis magasabb tok-, illetve maghozamot biztosítanak a tavaszi vetésű fajtákénál. Természetesen az őszi-tavaszi vegetációs ciklusú fajták magasabb fagytoleranciával rendelkeznek, tölevélrózsás állapotban képesek áttelelni, jól bírják a téli fagyokat, szemben a tavaszi vetésűekkel (FÖLDESI, 1995). Ugyanakkor a fajtaválasztékukat tekintve megállapítható, hogy az őszi fajtaspektrum hazánkban mindössze hat fajtára korlátozódik, ellentétben a tavaszi fajtaszortimenttel, mely tizenhat alacsony és magas hatóanyag-tartalmú fajtával is képviselteti magát (Nemzeti Fajtajegyzék, 2013). Bár az őszi fajták iránti kereslet a termelők részéről az utóbbi években markánsan nő -hiszen a nagyobb hozam, a korábbi értékesítési lehetőség pluszjövedelmet biztosíthat- e fajtakörben a választék igen csekély. Így a mák nemesítésének további perspektivikus célja a hatóanyag-tartalmának módosításán túl, a hideg- és fagyűrő képességének fokozása.

A hideg időszak átvészelését, illetve az áttelelés sikerességét számos tényező befolyásolja. A környezeti tényezők közül egyik legfontosabb a téli időjárás, vagyis a hőmérséklet és a lehullott csapadék mennyisége, valamint annak formája. Ezen túl természetesen a növény fejlettsége, valamint genetikai adottságai is meghatározónak bizonyulnak. A növény megfelelő fejlettségi fázisában a genetikailag öröklött védőmechanizmusai fenotípusosan is megnyilvánulnak. Az edződés során a növény számos biokémiai és élettani folyamattal készül fel a fagy által okozott stressz elviselésére. A fagy károsító hatása a sejtekben jégkristályok képződésében nyilvánul meg (SZIGETI, 2007), mely folyamatot a növény a sejt közötti járataiban krioprotektáns anyagok, vagyis védővegyületek felhalmozásával próbál megakadályozni. Másrészről stressz hatására általánosan indukálódó mechanizmus a különböző ozmolitikumok képződése, melyek segítségével a növény a hidegre rendkívül érzékeny citoplazmát sűríti be, csökkentve a sejt fagyáspontját, illetve a szövetek víztartalmát (KAZUO és KAZUKO, 1996; TAKAGI, 2008; SMIRNOFF, 1998; DELAUNEY és VERMA, 1993). A mák esetében mindezen folyamatok kevéssé kutatottak, a mák téltűrésére vonatkozó információk sporadikusak, alapvető ismereteink leginkább csak a gyakorlatból származnak, csupán termesztési tapasztalatokkal alátámasztottak. A máknemesítés hosszadalmas folyamatát felgyorsíthatná olyan markermolekulák (pl. oldható cukor, prolin) vagy morfológiai, szövettani

bélyegek azonosítása, melyek a szakirodalom közlései alapján számos más növényfaj esetében kapcsolatban állnak a fagyűréssel.

A fentiekből kiindulva kutatásaink során ezért az őszi-tavaszi vegetációs ciklusú mák genotípusok teljesebb megismerését kívántuk elérni, feltárni a mák fagyűrésével összefüggő biokémiai, fiziológiai jellemzőket, továbbá a fagytolerancia és a fontosabb egyéb növényi tulajdonságok esetleges összefüggéseit. Ennek érdekében tehát munkánk célkitűzéseiként részletesebben az alábbiakat fogalmazzuk meg.

Tudományos, elméleti ismeretek bővítése:

- A mák téltűrésében szerepet játszó biokémiai és fiziológiai mechanizmusok minél teljesebb megismerése, és a fajspecifikus elemek kiemelése;
- Az őszi fajtaspektrum szelekcióval történő bővítési lehetőségeinek feltárása, a meglévő törzsanyagokra alapozva, a genetikai variabilitás szélesebb körű megismerése;
- A téltűrés és a mák morfológiai, illetve produkciós sajátosságai közötti összefüggések feltárása, marker-bélyegek keresése;
- A téltűrés és az alkaloidfelhalmozódás kapcsolatának megismerése.

Gyakorlati jelentőségű kérdések és feladatok megoldása:

- A tanszéki génbanki gyűjtemény és nemesítői törzsanyag bővítése különböző fagytoleráns genotípusokkal;
- Fajspecifikus *in vitro* szkrínmódszer kidolgozása különböző genotípusok téltűrésének teszteléséhez;
- Az EU elvárásoknak megfelelő termesztés-szabályozási formákkal konform, őszi-tavaszi ciklusú új mákfajtajelöltek előállítása.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A KÍSÉRLETEK ÁLTALÁNOS KÖRÜLMÉNYEI

Szabadföldi kísérleteinket a Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Karának Kísérleti Üzem és Tangazdaságában, a Gyógy- és Aromanövények Tanszék telepén, Soroksáron végeztük 2008-2012 években. A vetőmagokat tavasszal minden évben március végén, illetve ősszel, szeptember végén vetettük el kézzel, 50 cm-es sortávolságokra, 10 m²-es parcellaméretet alkalmazva, három ismétlésben. A nemesítési munkák kezdetekor reciprok keresztezéseket is végeztünk, melyekből származó magok felszaporításával nyertük a későbbi évek vizsgálatainak alapanyagát.

In vitro kísérleteinket a Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Karán, a Gyógy- és Aromanövények Tanszék Laboratóriumában folytattuk. A csíráztatáshoz és a növények előneveléshez Sanyo MLR-351H klímakamra volt a segítségünkre, az edzést és a fagytürési teszteket pedig RUMED 1000 típusú, programozható fénytermosztátban folytattuk. A magokat 7x7 cm-es műanyag edényekbe töltött Blüh-Fix szaporítóföldbe vetettük, és tálcák segítségével helyeztük a növénynevelő berendezésbe. Minden ciklus során az alábbi kondíciókat alkalmaztuk: 15/10 °C (nappali/éjszakai hőmérséklet), 14000 lux fényerősség (nappal), 70 %-os relatív páratartalom. A növényeket egészen 4-6 lombleveles állapotukig neveltük, mely időszak átlagosan, megközelítőleg 1,5-2 hónapot vett igénybe. Ez az a legkorábbi fejlettségi fázis, amely már lehetővé teszi a máknövények fagytürésének vizsgálatát kontrollált környezetben. Genotípusonként átlagosan mintegy 50 egyedet neveltünk fel.

A három év során végzett kísérletek több projekt részét képezték (OTKA K 62732, ipari megbízások 2008 és 2011 között), a vizsgálatok különböző időszakokban és parcellákon folytak, melyekben számos mákfajta, törzs és hibrid szerepelt. A jelen értekezésben felsorolt eredmények tehát széleskörű munkafolyamatokhoz illeszkedően, változatos populációkban (*1. táblázat*) és több kísérleti ciklusban születtek.

1. táblázat: A kísérletekben előforduló *Papaver somniferum* L. fajták és taxonok

Államilag elismert fajták, fajtajelöltek		Tanszéki szelekcióból származó, szelektált törzsek	Keresztezésből származó hibridnemzedékek	
tavaszi	őszi		F2	F3
'Al'	'Leila'	„67” (2002)	'Ametiszt' x 'Leila'	'Ametiszt' x 'Leila'
'Ametiszt'	'Kozmosz'		'Kozmosz' x 'Korona'	'Kozmosz' x 'Korona'
Bence (fajtajelölt)	Monte (fajtajelölt)		'Kozmosz' x 'Minoán'	'Kozmosz' x 'Minoán'
'Botond'	'Zeno'		'Kozmosz' x 'Medea'	'Kozmosz' x 'Medea'
'Korona'			'Kozmosz' x 'Przemko'	'Kozmosz' x 'Przemko'
'Medea'			'Korona' x 'Kozmosz'	'Korona' x 'Kozmosz'
'Minoán'			'Korona' x 67	'Korona' x 67
'Óriás kék'			'Leila' x 'Przemko'	'Leila' x 'Przemko'
'Przemko'			'Leila' x 1/172	'Leila' x 1/172
'Tebona'			'Leila' x 'Ametiszt'	'Leila' x 'Ametiszt'
			'Medea' x 'Kozmosz'	'Medea' x 'Kozmosz'
			'Medea' x 67	'Medea' x 67
			'Minoán' x 'Kozmosz'	'Minoán' x 'Kozmosz'
			67 x 'Korona'	'Przemko' x 'Kozmosz'
			67 x 'Minoán'	67 x 'Korona'
			67 x 'Medea'	67 x 'Minoán'
			1/172 x 'Leila'	67 x 'Medea'

2.2. A KÍSÉRLETEK ANYAG ÉS MÓDSZERE

2.2.1. Fagyűrészvizsgálat

A szabadföldi kísérleteink alapjául szolgáló növényanyagok vetésére 2008., 2009. és 2010. szeptember végén került sor. A vizsgálatba 3 őszi ökotípusúként regisztrált mákfajtát, valamint 3 tavaszi ökotípusúként elismert fajtát vontunk be. Mindemellett kísérletünk tárgyát képezte még a különböző F2 és F3 nemzedékbe tartozó, keresztezéssel előállított hibridnemzedékek fagytoleranciájának vizsgálata is. A növényállomány fagyűrészére vonatkozó felmérését 2009, 2010 és 2011 tavaszán végeztük. A bonitálás során szemrevételezéssel állapítottuk meg a sorok beállottságát, sűrűségét, öt kategóriába sorolva azokat (ritka: 20 %, ritka-közepes: 40 %, közepes: 60 %, közepes-sűrű: 80 % és sűrű: 100 %), összesen 6 ismétlésben (2 parcella, vagyis 2x3 sor). Ezek alapján meghatároztuk a fajták és a hibridek áttelelési százalékát.

2.2.2. Cukortartalomra vonatkozó vizsgálatok

Az oldhatócukor-tartalom mint a fagyűrész egyik lehetséges markerének mérését különböző fajtákban, szabadföldön vizsgáltuk mind tavaszi, mind pedig őszi, áttelező vetésben, többszöri mintavételt alkalmazva. A kísérleti parcellák létesítése, a helybevetés 2009 tavaszán történt,

melyhez őszi és tavaszi ökotípusú fajtákat, valamint F3 nemzedékbe tartozó hibrideket használtunk fel. Abból a célból, hogy a különböző mák genotípusokban a stresszindukció nélkül jelen lévő oldhatócukor-tartalom mennyiségét meghatározzuk, a mintaszedést 2009 májusában végeztük. Ekkor a növények fejlett tölevélrózsás állapotban voltak, szárbaindulás előtt.

A tél során a fagystressz által feltételezhetően indukált cukortartalom, valamint a felhalmozódás dinamikájának meghatározásához a mákmagok vetését 2009 szeptemberében végeztük. A növényanyagot őszi és tavaszi ökotípusú fajták, valamint F2 és F3 nemzedékbe tartozó hibridek képezték. A cukortartalom vizsgálatához szükséges növényanyag begyűjtése a máknövények tölevélrózsás állapotában, három különböző időpontban történt. A fagyok bekövetkezte előtt (amikor az átlaghőmérséklet még nem süllyedt 0°C alá), a fagyok beállta után (amikor az átlaghőmérséklet már legalább egy héten keresztül fagypontra esett), valamint a következő évben, tavasszal (a fagyok elmúltával, mikor a növények már láthatóan regenerálódtak).

A kísérleti anyag tisztítását és aprítását követően, mely a növény minden szervét (gyökér, szár, levél) tartalmazta, fajtánként, illetve kombinációnként 3 g-ot mértünk le, háromszori ismétléssel. A fruktóz-, glükóz-, szacharóztartalom meghatározása HPLC-s (nagy hatékonyságú folyadékkromatográfia) módszerrel történt.

2.2.3. Prolintartalomra vonatkozó vizsgálatok

Az 5-6 lomblevéllel rendelkező máknövények prolintartalmát *in vitro* körülmények között, 2009 nyarán határoztuk meg. A növényanyagot a Gyógy- és Aromanövények Tanszék növénynevelő, illetve fénytérmosztát berendezéseiben állítottuk elő. Ehhez két jellemzően fagytoleránsnak ismert őszi ökotípusú, illetve két, jellemzően szenzitív tavaszi ökotípusú fajtát választottunk. Vizsgálatunkhoz 6 időpontban, a nevelési program 6 különböző hőmérsékletű szakaszában gyűjtöttünk mintát a kezelt növényekből: 15/10 °C-on (aug. 6-án), +2 °C-on (aug. 10-én), 0 °C-on (aug. 14.), -2 °C-on (aug. 17.), -3 °C-on (aug. 21-én) és ismételten 10/15 °C-on (aug. 24-én).

A prolin mérését az oldhatócukor-tartalomhoz hasonlóan, különböző fajtákban, szabadföldi körülmények között is elvégeztük, mind tavaszi, mind áttelelő vetésben. A kísérleti parcellák létesítése 2009 tavaszán történt, melyhez őszi és tavaszi ökotípusú fajtákat, illetve az F3 nemzedékbe tartozó hibrideket használtuk fel. A tavaszi vetésű állományokban 2009 májusában szedtünk mintát, a tölevélrózsás állapotban lévő növényekből.

Annak érdekében, hogy a prolin felhalmozódását az áttelelési időszakban is nyomon tudjuk követni, 2010 szeptemberében tavaszi és őszi ökotípusú fajtákat vizsgáltunk. A prolintartalom elemzéséhez szükséges növényi anyagot tölevélrózsás állapotban, három különböző időpontban gyűjtöttük be, fagyhatást megelőzően, fagyhatáskor, majd a fagyhatás elmúltával. Az előkészített

vizsgálati anyag (gyökér, szár, levél) prolintartalmát BATES et al. (1973) módszere alapján, ninhidrin reagens alkalmazásával határoztuk meg.

2.2.4. Szövetteni vizsgálatok

Kísérletünkbe tavaszi és őszi ökotípusba tartozó fajtákat vontunk be. A magokat 2010. szeptember végén, 10 m²-es parcellákba vetettük el, három ismétlésben. A mintákat a következő évben, 2011. május 23-án gyűjtöttük be. A szövetteni vizsgálatokat a Növényteni Tanszéken végeztük. Az azonos fejlettségi fázisban lévő levelek lemezének alapi részéből, fagyasztó mikrotómmal (Leitz Wetzlar) keresztmetszeteket készítettünk. A 25-30 µm vastagságú metszetek anatómiai sajátosságait Zeiss, Axio Imager A2 típusú fénymikroszkóp segítségével tanulmányoztuk 200x-os nagyításon, sötét háttérű megvilágítással. A kísérlet során a színi és a fonáki oldalon található epidermisz és kutikula-vastagságát határoztuk meg. Minden fajta esetében 30-szoros ismétléssel dolgoztunk.

2.2.5. Relatív víztartalomra vonatkozó vizsgálat

Kísérletünkben az *in vitro* fagyűrészvizsgálat során felszaporított, 4-6 levéllel rendelkező máknövényekből határoztuk meg hat mákfajta relatív víztartalmát. A mintavételezés 15/10 °C-os hőmérsékleti kezelés alatt történt. A relatív víztartalom mérését fajtánként tíz, véletlenszerűen kiválasztott egyeden végeztük. A növények relatív víztartalmát (RWC) SCHONFELD et al. (1988) módosított módszere alapján határoztuk meg.

2.2.6. Alkaloidtartalomra vonatkozó vizsgálatok

A tok alkaloidtartalmának vizsgálatára eltérő fagyűrő-képességgel rendelkező, keresztezett F2 és F3 hibridnemzedékek esetében került sor, mind őszi, mind pedig tavaszi vetésben, azonos termőhelyi körülmények között. A mákmagokat 2009 szeptemberében, illetve 2010 márciusában vetettük szabadföldre, a tokokat pedig 2010 júliusában takarítottuk be. A mintavétel egyedileg, 12 ismétlésben történt.

A levélben felhalmozódó alkaloid mennyiségét 2009-ben és 2010-ben tavaszi vetésű populációkból, különböző őszi és tavaszi fajták, illetve F3 hibridek esetében vizsgáltuk. Május közepén a tőlevélrózsás, de még szárbaindulás előtti állapotban lévő növényekből, populációnként 3 ismétlésben, reprezentatív mennyiségű átlagmintaként szolgáló levelet gyűjtöttünk. A növények toktermését mindkét évben, júliusban takarítottuk be, szintén reprezentatív átlagmintákat véve. A tok és a levél hatóanyag-tartalmát vékonyréteg-kromatográfiával (TLC) határoztuk meg.

2.2.7. Zsírosolaj-tartalomra vonatkozó vizsgálat

A vizsgálatba különböző őszi és tavaszi ökotípust reprezentáló fajtákat vontunk be. A növényállomány létesítése 2011. március végén történt, a magvak betakarítását pedig 2011 júliusában végeztük. A zsírosolaj-tartalom meghatározása Soxhlet-extraktor és Rotadest berendezés alkalmazásával történt (Bajpai et al., 1999), fajtáként háromszoros ismétlésben.

2.2.8. Csírázásbiológiai vizsgálatok

A csírázásbiológiai vizsgálatokba 2012 tavaszán őszi és tavaszi ökotípusú fajtákat vontunk be. Fajtánként 3x50 darab magot vizsgáltunk, két ismétlésben. A csíráztatást az MSZ 6354-3:1991 számú magyar szabványban meghatározott módon végeztük. A 10 °C mellé 25 °C-os csíráztatási hőmérsékletet választottuk, a tavaszi- és őszi mák ökotípusok összehasonlítási alapjául.

2.3. STATISZTIKAI ADATFELDOLGOZÁS

Az adatok feldolgozását Microsoft Excel, illetve Microsoft Word program segítségével végeztük el. Az adatok statisztikai elemzéséhez a Pasw 18-as statisztikai programot alkalmaztuk. A módszerek közül egytényezős, egyváltozós és egytényezős többváltozós varianciaanalízist, kétmintás t-próbát, Welch-féle d-próbát, valamint Spearman-féle nemparaméteres regresszióanalízist használtunk. A szórásnégyzetek azonosságát Levene-próba segítségével állapítottuk meg. Az eredményeket minden esetben 95 %-os megbízhatósági szint ($p < 0,05$) mellett elemeztük.

3. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A mákfajták szabadföldi fagyűrésének vonatkozásában megállapítottuk, hogy az áttelelő termesztésre nemesített genotípusok három év átlagában jobb fagyűrést mutattak, mint a tavaszi vegetációs ciklusú fajták (átlagosan 276 %-al). Bár statisztikailag elkülönül a két csoport, de különbség van az őszi illetve tavaszi fajtaként nyilvántartott taxonok csoportján belül is. Az áttelelési adatok szerint az őszi és tavaszi jellegű ökotípusok egymással létrehozott hibridjeinek fagyűrése intermedier jelleget mutat. Megállapítható az is, hogy ugyanazon őszi jellegű szülő fagytoleranciája a tavaszi jellegű partnertől függően manifesztálódhat az utódokban (pl. 'Kozmosz' x 'Korona' fokozott fagyűrést mutat 'Kozmosz' x 'Minoán' kombinációnál.) A különböző generációk (F2-F3) között markáns változás a rendelkezésre álló adatok alapján nem detektálható.

A mák levelei a környezeti feltételekhez való alkalmazkodás révén anatómiai változásokat mutatnak. Kimutattuk, hogy az őszi ökotípusú fajták esetében a kutikula mind a színi, mind pedig a fonáki oldalon szignifikánsan, átlagosan 1,858 és 2,349 μm -rel vastagabb. Adataink alapján arra következtethetünk, hogy a kutikula-vastagság a fagyűrő fajták egyik prediktív jellemzője lehet. Ugyanakkor a vékony kutikula nem szükségszerűen jelzi az adott genotípus intoleranciáját. A kutikula-vastagság, mint a fagytolerancia egyik markere, gyors, kiegészítő szkrínmódszerként szolgálhat az új, hidegtűrő mákvonalak teszteléséhez.

Bizonyítottuk, hogy a mák 5-6 leveles állapotában, átlagos őszi vagy tavaszi vetést követő körülményeket reprezentáló 15/10 °C-os hőmérsékleten, a vizsgált fajták relatív víztartalma nem különbözik szignifikánsan (őszi fajták: 59,139 %, tavaszi fajták: 59,280 %). Nem találtunk kapcsolatot a genotípusok relatív víztartalma és várható fagytoleranciája között.

Vizsgálataink során azt tapasztaltuk, hogy az őszi-tavaszi vegetációs ciklusú, áttelelő termesztésre alkalmas fajták statisztikailag bizonyíthatóan magasabb arányban halmozták fel a zsírosolajat, mint a tavaszi ökotípust reprezentáló genotípusok. A vizsgálatba vont hazai fajtaspektrum alapján tehát nem zárható ki, hogy a magasabb mag olajtartalom a jobb áttelelő képességű fajtákra jellemző.

Az őszi fajták általánosan minden hőmérsékleti értéken (10 és 25 °C-on) jól csíráztak, illetve az alacsonyabb hőmérséklet összességében csak lelassította a magok kelését, de nem blokkolta a csírázásukat. A tavaszi fajták csírázását a 25 °C gátolni látszik, de a hőmérsékletre adott reakcióban erős fajtaspecifikusság figyelhető meg. A 28 évvel ezelőtti adatokhoz képest ez markáns eltérést jelent, ami bizonyos adaptációra enged következtetni. Úgy tűnik, az őszi fajták genotípusa - feltehetően szelekciós nyomásra - módosulhatott, ökológiai amplitúdójuk megnőtt.

Vizsgálataink alapján a 4-6 lomblevelés állapotú máknövények összes oldhatósukortartalma és a fagytolerancia között összefüggés feltételezhető. Ezt a korreláció szorosságára utaló r^2

értékek bizonyítják, ami mind a fajták ($r^2=0,774$), mind pedig a hibridek esetében megnyilvánulnak ($r^2=0,781$). Ugyanakkor úgy tűnik, az ozmolitikumként jelentős cukor-felhalmozódás valószínűleg nem csak ökotípusra, hanem fajtára is specifikus jelleg. Ezen eredmények egy gyors szkrín módszer fejlesztésének lehetőségét rejtik magukban, amely az őszi ökotípusú mákfajták nemesítése során, a téltűrésre való szelektálás folyamatát gyorsíthatja fel.

Adataink azt mutatják, hogy egy hetes fagyhatás szabadföldön nem indukál nagymértékű prolin-akkumulációt a növényekben. Átlagosan 185 %-os változást detektáltunk. A mesterséges körülmények között, kontrollált hőmérsékleti lépcsőben előidézett fagyhatás a mák genotípusokban a prolintartalom változását eredményezte. *In vitro* kísérleteink adatai szerint az őszi ökotípusba tartozó, fagytoleráns fajták átlagosan 221 %-al nagyobb mértékben halmozták fel az ozmoprotektáns hatású prolint, mint a tavasziak, összefüggést mutatva a fajták téltűrésével. Eredményeink alapján megállapíthatjuk, hogy a prolin közrejátszhat bizonyos esetekben a fagytoleranciában, de nyilván nem egyedüli tényezője a védelemnek. A prolin krioprotektáns szerepe a mákban valószínűleg attól is függ, hogy milyen erős a fagyhatás és milyen hosszan tart, valamint milyen akklimatizációs körülmények után köszönt be a fagy.

Nyolclépcsős kísérletsorozatban kidolgoztunk egy, a mákra adaptált *in vitro* teszt módszert a mák genotípusok „őszi” és „tavaszi” jellegének megbízható és gyors elkülönítésére, amely a mák kétféle ökotípusának elválasztására standard körülményeket biztosít, és statisztikailag megbízható eredményt produkál. Meghatároztuk a növények fagytoleranciájának teszteléséhez legalkalmasabb fejlettségi állapotot (4-6 leveles), az előnevelés paramétereit (nappali/éjszakai hőmérséklet: 15/10 °C, 14000 lux fényerősség, 70 %-os relatív páratartalom), a fagyűrés tesztelésének kondícióit (+2 °C: 4 nap, 0 °C: 4 nap, -2 °C: 3 nap, -3 °C: 5 nap), valamint a növények regeneráltatásának körülményeit (15/10 °C: 14 nap).

Megállapítottuk, hogy nincs egyértelmű korreláció a mák genotípusok fagyűrése és a tok alkaloidtartalmának alakulása között. Ez a gyakorlat számára igen fontos eredmény. Az alacsony alkaloidtartalmú máktörzsek nem bizonyultak szignifikánsan fagytoleránsabbaknak, mint a magasak. A fagy által szelektált kísérleti parcellákon szignifikánsan alacsonyabb összes alkaloidtartalmat mértünk, mint az eredetileg azonos genetikai összetételű, tavaszi vetésből származó, teljes populációkban. Ezzel egyidejűleg azonban a keresztezett nemzedékekben találtunk olyan kombinációkat, amelyekben igen magas (3,10 %) egyedi alkaloidtartalom is előfordult az áttelelő vetésben is, amely alapján valószínűsítjük, hogy célirányos nemesítéssel előállíthatók mind magas-, mind alacsony hatóanyag-tartalmú őszi genotípusok.

A levél és a tok alkaloidtartalma között szignifikáns korrelációt mutattunk ki, közepes erősséggel ($r^2= +0,488$). A levél hatóanyag-tartalma az étkezési, illetve ipari célra alkalmas genetikai anyagok korai megkülönböztető bélyege lehet. Az össz. alkaloidtartalom mellett ez

alapján a legtöbb esetben következtethetünk a tokban várható fő komponensre is, ami elsősorban a karakterisztikusan eltérő alkaloidspektrumú fajták (narkotinos, tebainos) esetében mutatkozik markánsnak. Amellett, hogy a jövőben e módszer a nemesítés, a szelekció célirányossá tételében és a generációk felgyorsításában gyakorlati jelentőséggel bírhat, eredményeinket továbbfejlesztve egy, a hatósági ellenőrzésben is segítséget nyújtó fajtaazonosítási rendszer alapjait fektethetjük le.

A nemesítés eredménye alapján megállapítható, hogy munkánk nyomán mind az étkezési, mind ipari felhasználásra alkalmas fajták spektruma értékes genotípusokkal bővült, melyek őszi-tavaszi vegetációs ciklusban, áttelelő termesztésre biztonsággal alkalmazhatók. Az F3 nemzedékben tapasztalható fagytolerancia a kiválasztott törzsek további három nemzedékén át stabilizálódott. Közülük a tebainos fajtajelölt (tebain tartalom: 1,88 %, morfin tartalom: 0,86 %) az ipari érdekeltség alapján, 'Hunor' néven, 2013 őszén fajtabejelentésre is került.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Kutatómunkánk az alábbi tudományos és gyakorlati vonatkozású eredményekkel zárult:

1. Elsőként közöltünk adatokat a mákfajták szabadföldi fagyűrésének vonatkozásában, mely során megállapítást nyert, hogy az áttelelő termesztésre nemesített genotípusok három év átlagában jobb fagyűrést mutattak, mint a tavaszi vegetációs ciklusú fajták.
2. Elsőként vizsgáltuk a mákfajták levelének szövettanát, az epidermisz- és a kutikula-vastagságát a fagyűrés vonatkozásában, mely alapján megállapítottuk, hogy az őszi fajták vastagabb színi és fonáki kutikulával rendelkeznek.
3. Bizonyítottuk, hogy a mák 5-6 leveles állapotában, 15/10 °C-os hőmérsékleten, a vizsgált fajták relatív víztartalma nem különbözik szignifikánsan.
4. Igazoltuk, hogy az őszi-tavaszi vegetációs ciklusú, áttelelő termesztésre alkalmas fajták magasabb arányban halmaztak fel zsírosolajat, mint a tavaszi ökotípust reprezentáló genotípusok.
5. Megállapítottuk, hogy az alacsony hőmérséklet nem hat gátlóan az őszi fajták csírázókéességére.
6. A fagyhatáskori cukortartalom és a fagytolerancia között összefüggést állapítottunk meg.
7. Kimutattuk, hogy a prolin közrejátszhat a fagytoleranciában, de nem egyedüli tényezője a védelemnek.
8. Kidolgoztunk egy, a mákra adaptált *in vitro* tesztmodszert a mák genotípusok „őszi” és „tavaszi” jellegének megbízható és gyors elkülönítésére.
9. Megállapítottuk, hogy nincs egyértelmű korreláció a fagyűrés és a tok alkaloidtartalma között.
10. Bebizonyítottuk, hogy a fiatal levél és a tok alkaloidtartalma korrelál egymással, a levél hatóanyag-tartalma alapján a legtöbb esetben következtethetünk a tokban várható fő komponensre is.
11. Munkánk nyomán az étkezési és ipari felhasználásra alkalmas fajták spektruma értékes genotípusokkal bővült, melyek közül a tebainos fajtajelölt 'Hunor' néven fajtabejelentésre is került.

Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

Könyvfejezet:

JÁSZBERÉNYI Cs.; KUROLI G.; NÉMETH L.; REISINGER P.; CSATHÓ P.; ÁRENDÁS T.; NÉMETH T.; FODOR N. (2012): Mák. In: Radics László (szerk): Fenntartható szemléletű szántóföldi növénytermesztés 2. Agroinform Kiadó, Budapest p. 411–421.

IF-es folyóiratcikk:

JÁSZBERÉNYI Cs.; LUKÁCS L.; INOTAI K.; NÉMETH É. (2012): Soluble sugar content in poppy (*Papaver somniferum* L.) and its relationship to winter hardiness. Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen, 17(4): 169-174. **IF: 0,296**

JÁSZBERÉNYI Cs.; NÉMETH É. (2012): Connection of frost tolerance and alkaloid accumulation potential in poppy (*Papaver somniferum* L.). Journal of Applied Botany and Food Quality, 85(1): 116-119. **IF: 0,34**

NÉMETH-ZÁMBORI É.; JÁSZBERÉNYI Cs.; RAJHÁRT P.; BERNÁTH J. (2011): Evaluation of alkaloid profiles in hybrid generations of different poppy (*Papaver somniferum* L.) genotypes. Industrial Crops and Products, 33: 690-696. **IF: 2,469**

NEM IF-es folyóiratcikk:

JÁSZBERÉNYI Cs.; NÉMETH É. (2010): Megfigyelések a mák (*Papaver somniferum* L.) jellemző morfológiai bélyegeinek öröklődéséről. Kertgazdaság. 43(2): 53-62.

Nemzetközi konferencia kiadványok (angol nyelvű full paper):

JÁSZBERÉNYI Cs.; VARGA D.; NÉMETH É.; ERŐS-HONTI Zs. (2012): Histological differences between the leaves of spring and winter ecotypes of poppy (*Papaver somniferum*) varieties. 47th Croatian & 7th International Symposium on Agriculture. Opatija (2012.02.13-17.) Proceedings p. 359-362.

Nemzetközi konferencia kiadványok (angol nyelvű absztrakt):

JÁSZBERÉNYI Cs.; NÉMETH É. (2011): *In vitro* test method of frost tolerance of poppy (*Papaver somniferum* L.). 1. Transilvanian Horticulture and Landscape Studies Conference, 8-9. April 2011., Marosvásárhely, Book of Abstracts p. 38.

JÁSZBERÉNYI Cs.; NÉMETH É. (2011): Frost tolerance of spring and winter ecotypes of poppy (*Papaver somniferum* L.). International Symposium on Papaver, 7-11, February, Lucknow, India, Book of Abstracts p. 9.

NÉMETH É.; JÁSZBERÉNYI Cs.; VARGA D.; BERNÁTH J. (2012): Background and results of development of winter poppy (*Papaver somniferum* L.) varieties in Hungary. 5th International Symposium Breeding Research on Medicinal and Aromatic Plants, Vienna, Book of Abstracts, 22.

Konferencia kiadványok (magyar nyelvű absztrakt):

JÁSZBERÉNYI Cs.; VÉGVÁRI Gy.; NÉMETH É. (2009): Az oldható cukortartalom alakulása őszi és tavaszi mák (*Papaver somniferum* L.) ökotípusokban. Lippay-Ormos-Vas Tudományos Ülésszak. Budapest (2009. október 28-30.) Összefoglalók p. 108-109.

JÁSZBERÉNYI Cs.; CSONTOS L.; ÁRVAY K.; LUKÁCS N.; ZÁMBORINÉ N. É. (2010): Prolin felhalmozódása őszi és tavaszi ökotípusú mákban (*Papaver somniferum* L.). XVI. Növénynevelési Tudományos Napok. Budapest (2010.03.11.) Összefoglalók p. 81.

JÁSZBERÉNYI Cs.; ZÁMBORINÉ N. É. (2011): *In vitro* fagyteszt kidolgozása mák növényre (*Papaver somniferum* L.). XVII. Növénynevelési Tudományos Napok. Budapest (2011.04.27.) Összefoglalók p. 126.

VARGA D.; **JÁSZBERÉNYI Cs.**; NÉMETH É.; ERŐS-HONTI Zs. (2012): Tavaszi és őszi ökotípusú mákfajták (*Papaver somniferum* L.) leveleinek szövettani összehasonlítása. Kihívások és megoldások a XXI. század élelmiszertudományában. Záró konferencia 2012. január 18-19.