Doktori (PhD) értekezés

Szügyiné Bartha Krisztina

Gödöllő

2022

MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

HAZAI TERMESZTÉSŰ DIÓFAJTÁK FAGYTŰRÉSE KLÍMAKAMRÁS ÉS BIOKÉMIAI VIZSGÁLATOK ALAPJÁN

SZÜGYINÉ BARTHA KRISZTINA

GÖDÖLLŐ

2022

A doktori iskola

megnevezése: Kertészettudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: Zámboriné Dr. Németh Éva
egyetemi tanár, tanszékvezető, az MTA doktora
MATE Kertészettudományi Intézet
Gyógy- és Aromanövények Tanszék

Témavezető(k): Stefanovitsné Dr. habil. Bányai Éva, DSc
professor emerita
MATE Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Élelmiszerkémia és Analitika Tanszék

Dr. habil. Bujdosó Géza
tudományos tanácsadó
MATE Gyümölcstermesztési Kutató Központ

....

Az iskolavezető jóváhagyása A témavezető(k) jóváhagyása

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS 5
2. CÉLKITŰZÉS 6
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS 8
3.1. A dió rendszertana 8
3.2. A dió származása és elterjedése 9
3.3. Morfológiai jellemzése, virágzásbiológiai sajátosságai, a termés beltartalmi értékei 10
3.3.1. Törzs és lombkorona 10
3.3.2. Rügyek és levél 11
3.3.3. Virágzás biológia 12
3.3.4. Dió termés jellemzése, táplálkozásban betöltött szerepe, felhasználhatósága 14
3.4. A diótermesztés helyzete, nemesítése 18
3.4.1. A világ diótermesztése 18
3.4.2. Hazai diótermesztés 24
3.4.3. Nemesítési célok 25
3.5. A dió termőhely igénye 31
3.6. A stressz növényekre gyakorolt hatása 33
3.6.1. A stressz fogalma, biotikus és abiotikus stresszтényezők 33
3.6.2. A stressz által kiváltott folyamatok, a stresszre adott válaszok 35
3.7. A fagytűrés fiziológiai és biokémiai háttere 37
3.8. Szabadgyökök 42
3.8.1. Az oxidációval szembeni védelem elemei, antioxidánsok 43
3.8.2. Polifenolok 44
4. ANYAG ÉS MÓDSZER 46
4.1. A vizsgálatok helyszíne 48
4.2. A vizsgált fajták 49
4.3. A vizsgálatok menete 53
4.3.1. A mesterséges fagyasztásos vizsgálat (A, B, C) 53
4.3.1.1. Mintavétel 53
4.3.2. A biokémiai vizsgálatok 54
4.3.2.1. Rügy minta előkészítése (D, G) 54
4.3.2.2. Háncs és levélminta előkészítése (E, F) 54
4.3.2.3. Levélminta előkészítése (H) 54
4.3.2.4. Vessző minta előkészítése (I) 55
4.4. Vizsgálati módszerek 55
4.4.1. Fagytűrés kiértékelése (A, B, C) 55
4.5. Analitikai vizsgálati módszerek 55

4.5.1. Peroxidáz enzim aktivitás mérése (D, E, F, G) 55
4.5.2. Az összes polifenoltartalom meghatározása (H, I) 56
4.5.3. Az antioxidáns kapacitás meghatározása (H, I) 56
4.5.4. Statisztikai kiértékelés 56
5. EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGBESZÉLÉSE 57
5.1. A fagytűrési vizsgálatok 57
5.1.1. 'A' vizsgálat, 2013. szeptember- 2014. március, mesterséges fagyasztási kísérlet, Lengyeltóti minta 57
5.1.2. 'B' vizsgálat, 2014. szeptember- 2015. március, mesterséges fagyasztási kísérlet, Lengyeltóti minta 60
5.1.3. 'C' vizsgálat, 2015. március- 2016. március, mesterséges fagyasztási kísérlet, Lengyeltóti minta 64
5.1.4. A mesterséges fagyasztási kísérletek három vizsgálati időpontjának összehasonlítása (A, B, C), valamint a fajták fagytűrésének értékelése 66
5.2. A biokémiai vizsgálatok eredményei 70
5.2.1. 'D' vizsgálat, 2015 február- március, Lengyeltóti rügyminták peroxidáz enzim aktivitása 72
5.2.2. 'E' vizsgálat, 2015. szeptember, Érd- Elvira majorból származó levélminták peroxidáz enzim aktivitása 74
5.2.3 'F'vizsgálat, 2015. szeptember- 2016. március, Érd- Elvira majorból származó háncsminták peroxidáz enzim aktivitása 74
5.2.4. 'G'vizsgálat, 2015. szeptember- 2016. március, Érd- Elvira majorból származó rügyminták peroxidáz enzim aktivitása 77
5.2.5. 'H' vizsgálat, 2016. május, Érd- Elvira majorból származó kihajtáskori levélminták peroxidáz enzim aktivitása 80
5.2.6. 'I' vizsgálat, 2016. november- 2017. január, Érd- Elvira majorból származó vessző minták polifenol tartalma 83
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK 91
6.1. A fagytűrési vizsgálatok 91
6.2. A biokémiai vizsgálatok 95
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK 100
8. ÖSSZEFOGLALÁS 101
MELLÉKLETEK 107
M.1. Irodalomjegyzék 107
M.2. Fagytűrési táblázatok 125

1. BEVEZETÉS

„Aki diófát ültet, bízik a jövőben”, mondták régen. Mindennapi táplálkozásunkban kiemelt helyet foglal el a dió, annak ellenére, hogy a többi gyümölcsfajhoz képest kevesebbet fogyasztunk belőle.

A dió-, a mai kor igényeinek megfelelően az egészséges életmódra törekvő fogyasztók hasznos táplálékkiegészítőjének számít. Érdemes napi szinten beiktatni a dióbél fogyasztását az étrendbe, mivel ezzel bizonyítottan számos krónikus megbetegedés kiküszöbölhető, megelőzhető. Tudni kell azonban, hogy csak mértékkel lehet fogyasztani, jelentős energia bevitel emelés nélkül csupán 4 db „féldióbél” ehető meg naponta.

A dióbél jelentős fehérje, omega-3 zsírsav tartalma mellett B1-, B2-, B6-, C-, és E-vitaminokban, valamint- ásványi elemekben igen gazdag. Ásványi elemei között a nagyobb mennyiségben előforduló magnézium, vas, réz, cink és mangán tartalma nagymértékben hozzájárul a szervezet életfolyamataihoz szükséges enzimek zavartalan működéséhez.

Mint jelentős rostforrásként is célszerű gondolni a dióra, így az egészséges emésztés érdekében is sokat tehetünk fogyasztásával. Rendszeres fogyasztásával a benne található értékes anyagainak köszönhetően csökkenthető a szívbetegségek kockázata, de a magas koleszterinszint is mérsékelhető segítségével. Kiváló hatással van az agyi erekre, fogyasztása segíti a memória működését, az Alzheimer-kór egyik természetes gyógyírjaként tartják számon.

A másodlagos anyagcseretermékei közül a polifenolos vegyületeinek, a vele összefüggésbe hozható nagy antioxidáns/redukáló tulajdonságának köszönhetően fogyasztásával hatékonyan hozzájárulhatunk a szervezet hosszú távú egészségmegőrzéséhez, az immunrendszer erősítéséhez.

A világot érintő klímaváltozás befolyásolja a termesztett növények termésmennyiségét és minőségét. Az utóbbi években a klimatikus szélsőségek előfordulásának gyakorisága növekszik. A Kárpát-medencében leggyakrabban fellépő és problémát jelentő időjárási szélsőségek az alacsony vagy magas hőmérséklet és a csapadék eloszlása. A biztonságos növénytermesztés egyik feltétele a növények abiotikus stressztűrése (Veisz, 2005).

2. CÉLKITŰZÉS

A dió (*Juglans regia* L.) gyenge ökológiai adaptációs képességgel rendelkezik. A termesztés szempontjából kulcsfontosságú a megfelelő terület kiválasztása, az optimális termésbiztonság elérése érdekében. A diófajták honosítása ezért sok esetben problémába ütközik, hiszen hiába a nagy terméshozam, ha a magyarországi klímához nem tud megfelelően alkalmazkodni a fajta. Hazánk időjárásának sarkaltos pontja a kora tavaszi fagyok gyakorisága. Elsődleges szempont tehát a diófajták esetében a kései fakadási idő. A MATE Gyümölcstermesztési Kutató Központban prof. Szentiványi Péter által nemesített és a termesztésbe bevezetett nagyarányban oldalrügyből is termő, újabb nemesítésű diófajták termesztésbe vonása nem volt zökkenőmentes. Egyes termelői vélemények szerint az amerikai nemesítésú 'Pedro', mint apai szülő nemesítésbe vonása jelentős termesztési kockázatot jelentett, melyek között a nemesített fajták télállóságát és fagytűrését is említették. Ezen problémák miatt célul tűztem ki, hogy Magyarországon elsőként megvizsgáljam a termesztett diófajták fagytűrését. Több csonthéjas faj esetében már évek óta végeznek hasonló jellegű vizsgálatokat, melyek eredményei alapján az újonnan telepítendő terület adottságait ismerve, olyan fajtákat lehet ajánlani, amelyek biztonsággal termeszthetők.

Ezen elképzeléseink kapcsán a fagytűréssel kapcsolatos ismereteket olyan biokémiai paraméterekben történő változásokon keresztül szerettük volna nyomon követni, amelyek valamilyen módon összefüggésbe hozhatók a dió fagytűrésével. Olyan módszerek kiválasztását céloztuk meg, amelyek könnyen, gyorsan, olcsón kivitelezhetők a legegyszerűbb felszereltséggel bíró, a termesztéshez kapcsolódó vizsgálatokat végző laboratóriumokban. Választásunk ezért esett a fagykár mértékét meghatározó mérések mellett a spektrofotometriás mérésekre, mint a biokémiai paraméterek jellemzésére így a peroxidáz enzim aktivitásmérésére, az összes polifenol tartalom és a redukáló kapacitás mérésére.

- Céljaink megvalósításhoz a következő feladatok elvégzését tűztük ki célul:
    - diófajták fagytűrési vizsgálatainak elvégzése klímakamrás kísérletben kialakuló rügyekben mérhető fagykár alapján, azok időjárási paraméterekkel történő kapcsolatba hozása;

- a kísérletbe vont fajták rügyeiben végbemenő peroxidáz enzim, aktivitásbeli változásainak vizsgálata, annak eldöntésére, hogy a módszer alkalmas lehet-e a további kísérletek elvégzésére;
- pozitív visszajelzés után öt fajta – kettő a termesztésben legnagyobb arányban használt fajta, egy érzékeny és egy fagytűrő hibrid, valamint egy külföldi fajta után a peroxidáz enzimaktivitás mérése a rügyekben, a háncsban, a levelekben, a vesszőben, különböző fenológiai fázisban;
- a másodlagos anyagcserefolyamatok révén, a növények saját védelmi rendszerében termelődő összes polifenolos komponens mennyiségének meghatározása a növény különböző részeiből, különböző módon (FRAP, TPC) történő kivonás eredményeként.

- A biokémiai eredmények alapján célul tűztük ki az összefüggések feltárását az egyes vizsgált paraméterek és a fagytűrési vizsgálatok eredményei , valamint az időjárási paraméterek között.
- Végezetül a kapott eredmények statisztikai kiértékelése után az eredményekre magyarázat keresése, következtetések levonása, javaslat tétel a felhasznált módszerek használhatóságára.

Méréseink hiánypótlóak, mivel a miénkhez hasonló vizsgálatokat dió esetében itthon még nem végeztek.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. A dió rendszertana

A diófajok rendszertanilag a zárvatermők törzsébe, a kétszikűek osztályába, a varázsdió alkatúak (*Hamammelididae*) alosztályba, a diófavirágúak (*Juglandanae*) felrendjébe, a diófélék (*Juglandales*) rendjének diófélék (*Juglandaceae*) növényrendszertani családjába tartoznak. A nemzetség 21 faja az Óvilágban Délkelet-Európától Japánig, az Újvilágban Délkelet-Kanadától nyugatra Kaliforniáig, délre Argentínáig előfordul. Ebbe a családba több, gazdaságilag értékes nemzetség tartozik, mint a közönséges dió, a hikori-, pekán-, és a szárnyasdiófélék (Szentiványi, 1976; Terpó, 1987).

Juglans regia L.- *Közönséges dió.* A Kárpátoktól Törökországon, Irakon, Iránon keresztül egészen Indiáig őshonos. Az egymástól eltérő klímájú termőhelyeken végzett szelekció eredményeként több különböző fajtakör alakult ki, melyek elsősorban ökológiai igényeikben különböznek egymástól.

Kárpáti fajtakör: Jellemzőjük a nagy téli hidegtűrés, a korábbi fakadási idő és az apomixisre való hajlam, a legnagyobb hidegigénnyel rendelkeznek. A legjobban alkalmazkodó és változatosabb csoport. Ukrajna, Lengyelország, Csehország, Szlovákia, Németország, Magyarország, Románia, Bulgária, Moldovai Köztársaság, valamint a volt Jugoszlávia területén elterjedt.

Francia fajtakör: Dél-Franciaországban terjedt el. Mérsékelt fagytűrés, kései fakadás, apomitikus hajlam hiánya, jó áruérték jellemzi ezt a fajtakört.

Mandzsúriai fajtakör: Fajtái nagyon télállóak, ez nagyon korai fakadási idővel párosul, emiatt a késő tavaszi fagyokra érzékenyek. A termés nem túl tetszetős, gyenge ízű, azonban ebből a fajtakörből ered az oldalrügyekből való termésfejlesztés.

Perzsa fajtakör: Kiváló termésminőségű fajták, de télállóságuk nagyon gyenge.

Kaliforniai fajtakör: A perzsa, mandzsúriai és francia fajtakör fajtáinak meghonosítása után, azok természetes és mesterséges kereszteződéséből alakult ki. Nagy termőképesség, kiváló minőség és gyenge télállóság a fő jellemzőjük.

Juglans nigra L.- *Fekete dió*. Az Amerikai Egyesült Államokban főként alany, de a hidegebb területeken étkezési célra is termesztik. Termése gyengébb minőségű, mint a *Juglans regia* L termése. Hazánkban nem vált be alanyként sem, mert fajtáinkkal nem kompatibilis.

Juglans rupestris L.- Gyenge növekedésű, szárazságtűrő alany.

Juglans hindsii JEPS. – *Hindsii fekete dió*. A belőle származó Paradox hibriddel (*J. hindsii x J. regia*) együtt alanyként használatos az Amerikai Egyesült Államokban.

Carya ovata (MILL.) K. KOCH.- *Hikoridió*. A bükkfavirágúak rendjébe sorolt diófafélék családjának egyik nemzetsége.

Carya illinoinensis (WAGENH.) K. KOCH.- *Pekándió*. Mindkettőt az Amerikai Egyesült Államok délebbi területein termesztik kiváló minőségű termésükért.

Csak a *Juglans* nemzetséghez tartozó fajok találhatóak meg a gyümölcstermesztésben. A szárnyasdió (*Pterocarya fraxinifolia*) fajtáinak nincs jelentőségük gyümölcstermesztési szempontból (Tóth, 2004).

3.2. A dió származása és elterjedése

Perzsia tekinthető a dió elsődleges keletkezési központjának (primer géncentrum), ahol dió legelőször kialakulhatott, s a legnagyobb alakgazdagsága is ott figyelhető meg (Vavilov, 1928, 1951). Botanikai fogalmak szerint a dió őshonos területei: Kis-Ázsia, Afganisztánon át a Himalájáig, észak felé Turkesztánig terjedő terület, a Balkán és Magyarország (Nekrassowa, 1927; Puri et al., 1983; Hemery et al., 2005; Aradhya et al., 2010). Ezen területek tekinthetők a szekunder géncentrumnak.

Az ókori Rómában Jupiter magjának nevezték a diót, innen ered a *Juglans* nemzetség név. Feltételezések szerint a dió a Nyugat-Római Császárság területére az ókori Görögországból időszámításunk előtt a 750-500-as években kerülhetett be. A régi „perzsa dió” megnevezésből - melyet a görögök használtak - következtethetünk arra, hogy a dió nagyobb mennyiségben Perzsiából került a piacra. Ezen elnevezés mellett használatos volt még a „szinópi dió”, mivel Szinope volt a diókereskedelem központja. Az ókori rómaiak által Európában, Olaszországban, utána Franciaországban, Spanyolországban, Portugáliában és Németország déli részén is ismerté vált ez a gyümölcsfaj (McGranahan et al., 1997). Az angol telepesek a mai

Amerikai Egyesült Államok területére az első diófákat 1562-ben vitték, innen származik az „English walnut”, azaz angol dió elnevezés, mivel Észak-Amerikában a *Juglans nigra* L. őshonos (McGranahan és Leslie, 2009).

Az egyik elmélet szerint a dió Európában a XVI. században Angliában kezdett megjelenni és ismerté válni. Lehetséges, hogy a dió a történelem előtti időkben egész Dél- Európában jelen volt, majd különböző okok miatt eltűnt és később keletről újra behozták. Egy másik elmélet szerint az ókori görög kereskedők és telepesek révén került Kelet-Európába és a Balkán-félsziget országaiba e gyümölcsfaj, ahol már az ősidők óta volt néhány iráni, illetve kelet-török eredetű dió maradványpopuláció (Terpó, 1976; Zohary és Hopf, 1993).

Szilády (1934) bebizonyította, hogy a dió Magyarország területén már a harmadkorban is honos volt, s megtalálta az 1950-es években még meglevő ősdiósnak vehető ligeteket. Dornyay (1937) helynevekből, dűlő- és községnevekből (diós, diás stb.) következtetett a dió őshonosságára a Balaton és Salgótarján vidékén. Az őshonosságot azonban mégsem bizonyítja kétségtelenül a helynévkutatás és az eddig felkutatott néhány természetesnek látszó lelőhely sem, ezért is jutott Terpó (1987) arra a megállapításra, hogy a dió magyarországi őshonossága vitatható.

3.3. Morfológiai jellemzése, virágzásbiológiai sajátosságai, a termés beltartalmi értékei

3.3.1. Törzs és lombkorona

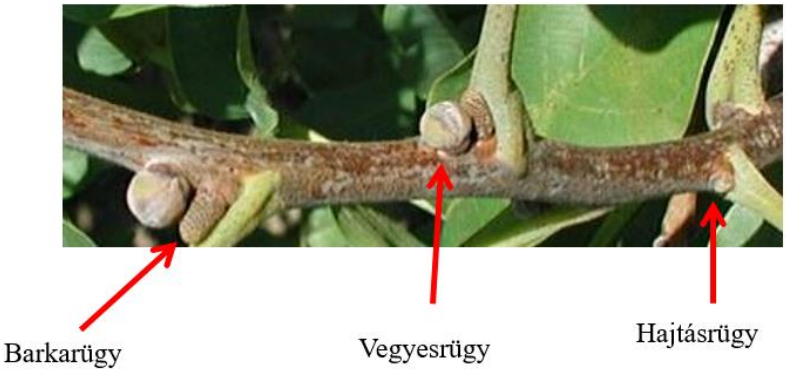
A dió koronája fiatal korban aránytalanul növekszik, később arányos, szabályos formájúvá válik. A koronaformák közül hazánkban a gömb a legelterjedtebb (33 %), ezt követi a sátorozó (27,6 %) és a kúpos (25,5 %) koronaalak majd a jóval kisebb gyakoriságú hengeres (9,6 %) és szétterülő (4,3 %) forma. A dió hajtásai teljesen kopaszok, zöldes olajbarnák, hengeresek. Éves vesszői fényesek, zöldes-olajosbarnák vagy sötét kávébarnák (Szentiványi és Kállayné, 2006).

Fája idősebb korban, nem felfelé nő, hanem terebélyesedik, kedvező életfeltételek mellett akár 20-25 méter magasra is nőhet. Törzsmagasság attól függően változhat, hogy terméséért vagy faanyagáért termesztjük, valamint kézi vagy gépi termés betakarítást tervezünk. Figyelembe kell venni, ha túl magas a törzs a korona fejlődése nem lesz kielégítő és a termőképessége is csökkeni fog (Szentiványi, 1976). Kérge fiatal korban világosszürke, sima, idősebb korban szürkésfekete lesz. Faipari

értéke is jelentős, mivel az évgyűrűk felismerhetően, szabályosan különülnek el (Szentiványi és Kállayné, 2006).

3.3.2. Rügyek és levél

Háromféle rügyet különbözetünk meg a diónál, *hajtásrügyeket, vegyes rügyeket* (nővirágrügy) és *barkarügyeket* (hímvirágrügy) (1. ábra). A *hajtásrügyek* szórt állásban a vesszők oldalsó részén helyezkednek el. Vegyes rügyeket találhatunk a vessző csúcsi vagy oldalsó részén is. Ezekből a rügyekből törnek elő fakadáskor a 4-6 leveles hajtások, melyeknek csúcsi részén jelennek meg a nővirágok. A *barkarügyek* szórt állásban a vesszők oldalsó részén helyezkednek el. Jellemző a dióra az egymás alatt elhelyezkedő kettes, esetenként hármas rügycsoport, melynek a koronanevelésnél van jelentősége (Szenitányi és Kállayné, 2006).



1. ábra A dió rügyei (fotó: Tóth M.)

Levele 5-7, ritkán 9 levélkéből álló összetett, páratlanul szárnyalt levél (2. ábra). Levélkéi fajtától függően tojásdad, megnyúlt, kis mértékben előfordul a szálas lándzsa alakú levél is. A levélszél döntő többségben ép vagy nagyon gyéren fogazott, a fonáki oldalon az érzugokban szőrcsomókat lehet felfedezni (Szentiványi és Kállayné, 2006).

2. ábra A dió levelei kihajtáskor (fotó: Bujdosó G.)

Népi hagyományok szerint a közönséges dió leveleinek illóolaja moly- és bolhariasztóként használható (Mohácsy-Magyar, 1936; Mohácsy-Porpáczy, 1951).

3.3.3. Virágzás biológia

A dió egylaki növény, virágai egyivarúak. A *nővirágok* a végálló vagy az oldalsó vegyes rügyekből kihajtó rövid hajtások végén helyezkednek el, 2-4-ig terjedő csokrokban vagy ritkább esetben 5-15 virágból álló, laza fürtben (3. ábra).

3. ábra A dió nővirágai

(Fotó: Orosz P.)

4. ábra A dió hímvirágai

(Fotó: Orosz P.)

Az egyes évjáratokban a fák eltérő mennyiségű nővirágot hoznak. A *hím virágok* füzérvirágzatot alkotnak, amit a gyakorlatban barkának nevezünk. Egy-egy hím virágban, a porzó szálakon 8-30 portok, azokban pedig 900-1800 pollenszem található (4. ábra).

Ez a hatalmas pollenmennyiség a szélmegporzáshoz való alkalmazkodás eredménye (Szentiványi, 1976). Vegyes rügyek differenciálódásának ideje május-június. Ebben az időben meghatározó a csapadék mennyisége, ami nagymértékben befolyásolja a nővirágok képződését.

A dió virágzására jellemző a *dichogámia*. Ezen belül is megkülönbözetünk *hímet előző* virágzást (protogynia), amikor a nővirágok hamarabb nyílnak ki, előbb érnek, mint a hímvirágok (Szentiványi, 1980), valamint *nőt előző* virágzásról (proterandria) akkor beszélünk, amikor a hímvirágok előbb érnek és hamarabb nyílnak, mint a nővirágok. A hazai nemesítésű fajták virágzását az 1. táblázat foglalja össze.

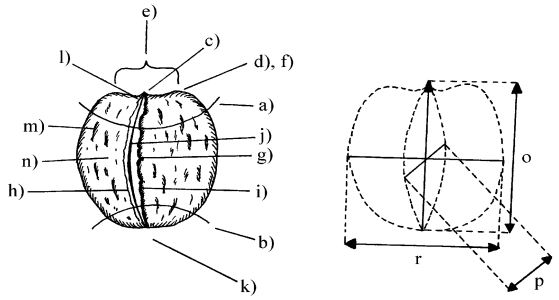
1. táblázat: Magyarországi diófajták virágzási ideje (Szentiványi, 1980)

Virágzási időcsoportok/ hímvirágzat virágzási ideje	**Fajták**	**Virágzási időcsoportok/ hímvirágzat virágzási ideje**	**Fajták**
Korai	nincs ilyen magyar fajta	Korai	nincs ilyen magyar fajta
Középkorai	Milotai 10	Középkorai	Milotai 10 Milotai intenzív
Középkései	Alsószentiváni117, Tiszacsécsei 83, Pedro, Milotai bőtermő Milotai intenzív	Középkései	Milotai kései Alsószentiváni kései Bonifác
Kései	Milotai kései Alsószentiváni kései Bonifác	Kései	Alsószentiváni 117 Tiszacsécsei 83 Milotai bőtermő

A nővirág a bibére jutó túlzott pollenmennyiség hatására abortál, s a terméskezdemény lehull (Szentiványi, 1989). Emiatt és a dichogámia előnytelen hatásainak kiküszöbölése miatt, az ültetvényekben indokolt, hogy a pollenadó fajták aránya ne haladja meg az 5 %-ot (Bujdosó, 2002).

3.3.4. Dió termés jellemzése, táplálkozásban betöltött szerepe, felhasználhatósága

A dió 5-19 gramm tömegű, felnyíló csonthéjas termését húsos termésburok (exocarpium) veszi körül. A dióbél a dió tömegének 38-50 %-át adja. A termésméretet a termés átmérőjével, illetve a térfogatával jellemezhetjük. A piacon a legkelendőbbek a 32 mm vagy az a feletti termésátmérőjű fajták, melyek térfogata 22-26 cm^3. A 26 cm^3-nél nagyobb térfogatú diók esetében a béltartalom kisebb lesz és minőségük is romlik. A hazai nemesítésű fajták közül minden fajta megfelel az I. osztályú méret (32 mm termésátmérő) követelményeinek. A dió termésének morfológiai leírását Szentiványi (1958) alapján ismertetem (5. ábra).



5. ábra A dió termésének részei (Brózik S. nyomán Borbély E.) (Szentiványi és Kállayné, 2006)

a) csúcsi rész, b) alapi rész, c) csúcs, d) váll, e) vállszélesség, f) vállmagasság, g) karimavastagság, h) karimamagasság, i) karima menti gödrök, j) varrat, k) alapi nyílás, l) nyereghajlat, m) erezet, n) héjfelület, o) hosszúság, p) szélesség, r) vastagság.

Piacosság szempontjából a legértékesebb tulajdonságok a szalma sárga, finoman erezett terméshéj, a kevésbé kidomborodó varrat. Fontos a nagyobb terméstömeg és ezzel párhuzamban arányos héj/bélarány, valamint a kevés, papírszerű bélrekeszek, melyek nem akadályozzák a tisztitást. Előnyös a világos, zsenge, telt bél a jó íz.

A héjas gyümölcsfajok (dió, mogyoró, mandula, gesztenye) zárt, kemény burkában található magbelet fogyasztjuk. A héjas gyümölcsök a dió, a mogyoró, a mandula és a gesztenye. Általában szárított formában fogyasztjuk, pedig frissen is érdemes fogyasztani sok előnyös tulajdonságuk miatt. Friss fogyasztásnak tekintjük a mogyoró és mandula esetében, ha teljes érés előtt szüretelik. Diónál, pedig ha az érés után közvetlenül, rövid időn belül elfogyasztjuk (Szenitányi és Kállayné, 2006).

Epidemiológiai vizsgálatok összefüggést találtak a diófogyasztás és a szív- és keringési betegségek okozta halálozás csökkenése között (Feldman, 2002). Rendszeres, ám mértékletes fogyasztása csökkenti a szívinfarktus kockázatát. Az emberi szervezet nem képes előállítani ezt az esszenciális zsírsavat, így azt külső forrásokból kell a szervezetbe juttatni. Ennek egyik legegyszerűbb módja a dióbél fogyasztása (Szentiványi és Kállayné, 2006). Az élelmiszeripar számára felhasznált növényeknél fontos szempont táplálkozási értékük és minőségük, minőségmegőrzésük céljából antioxidáns kapacitásuk (Chu et al., 2002). A vizsgálatok alátámasztják, hogy napi kb. 40 gramm dió fogyasztása a kevés telített zsírt és alacsony koleszterint tartalmazó diéta részeként hasznosítható.

A fitokémiai anyagokat, például polifenolos vegyületeket is tartalmaz, mely polifenolos vegyületeket a növények másodlagos anyagcserefolyamataik révén termelnek, a saját védelmi rendszerük fenntartásának érdekében. Ezeket a vegyületeket az emberi egészség szempontjából is előnyösnek tartják, csökkentve ezzel a degeneratív betegségek kialakulásának veszélyét, amely összefüggésbe hozható az oxidatív stressz csökkentésével és a makromolekuláris oxidáció gátlásával (Silva et al., 2004; Pulido et al., 2000; Tseng et al., 1997) a szabadgyök befogó-képességükkel, fémekkel történő kelátképzésükkel (Middleton, 1998).

Fukuda és munkatársai (2003) tanninokat és 14 polifenolt izolált dióból, és mérte a szabadgyök-fogó aktivitást. Napjainkban számos betegség etiológiájában és/vagy patofiziológiájában igazolták a szabadgyökök okozta károsodás szerepét (Hegedűs és Stefanovitsné-Bányai, 2012). Ezek a vegyületek a növényekből készült kivonatokban is megtartják antioxidáns képességüket, ezáltal hozzájárulva a gyógyszerészeti és élelmiszeripari termékek jótékony hatásaihoz (Havsteen, 2002).

A dió értékes beltartalmi értékeit érdemes összehasonlítani a mogyoróval, gesztenyével és a mandulával (5. táblázat). Az összehasonlítás kiterjed a fő biomolekuláknak a termésekben való előfordulására, a vitamintartalmukra és nem utolsó sorban az ásványi elemek összetételére. Ezt a három fő csoportot különböző színű háttérrel jellemeztem. A vitaminok közül, amelyeket nem lehet kimutatni, - ugyanis mennyiségük a kimutatási határ alatt szerepelt - a termésekben nem tüntettem fel. Ez az összehasonlítás lehetőséget ad arra is, hogy a dió értékes beltartalmi, endogén komponensei miatt táplálkozásunkban a megfelelő helyre kerülhessen, és

mind jobban beillesszük a napi, heti gyümölcsfogyasztásunkba. Az 2. táblázatban vastagon szedett számokkal jeleztem a legfontosabb beltartalmi paramétereket (Bíró és Lindner, 1999).

2. táblázat A héjas gyümölcsök beltartalmi értékeinek összehasonlítása (forrás: Bíró és Lindner, 1999)

	Dió	**Mogyoró**	**Gesztenye**	**Mandula**
Energia kJ (kcal)	2747 (654)	2558 (609)	700 (167)	2629 (626)
Fehérje g	18,6	26,7	4,8	27,6
Zsír g	**57,0**	47,2	1,5	52,2
Szénhidrát g	11,7	14,7	32,6	6,8
Víz g	8,2	7,0	57,9	6,5
Hamu g	1,7	2,4	0,4	3,2
Nyersrost g	2,8	2,0	2,8	3,7
Karotin mg	***0,05***	0,01	0,03	0,10
Tokoferol E mg	***24,7***	20,2	7,5	26,1
Tiamin B_1 µg	**400**	300	200	100
Riboflavin B_2 µg	100	130	250	200
Niacinpp faktor mg	0,1	1,5	1,2	1,8
Pantoténsav mg	0,35	0,60	0,40	0,30
Piridoxin B_6 mg	***0,34***	0,42	0,32	0,14
Biotin µg	6,3	77,0	2,0	4,8
Folsav µg	**33,0**	-	-	23,0
Aszkorbinsav C mg	***25***	-	30	1
Nátrium mg/100g	***10,5***	9,5	20,0	8,0
Kálium mg/100g	**1710**	920	553	890
Kalcium mg/100g	***202,0***	88,5	94,6	238,0
Magnézium mg/100g	256	290	48	368
Vas mg/100g	***3,80***	2,80	1,20	4,10
Foszfor mg/100g	***400***	144	90	450
Réz mg/100g	**0,86**	0,60	-	0,81
Cink mg/100g	**4,20**	3,50	-	3,52
Mangán mg/100g	**1,89**	1,79	-	1,24
Kobalt mg/100g	**0,026**	0,025	-	0,020
Króm mg/100g	**0,008**	0,006	-	0,0008

A dió kiváló vitaminforrásnak is tekinthető, mivel 25 gramm dió tartalmazza a napi E-vitamin szükségletünk 40 %-át,. B- vitaminokból főként a B_1, B_6 és,- B_9 vitaminokat tartalmazzák.

A dió fogyasztás elsősorban a karácsonyi ünnepkörhöz kötődik, számos karácsonyi édesség fontos alkotórésze. Jelentős minőségű diót használ a cukrászipar, az édesipar és- szeszipar. Pörkölve is kimondottan ízletes a dió, sőt alkalmas dióolaj előállítására is. A zöld dióból likőrt és befőttet is készítenek.

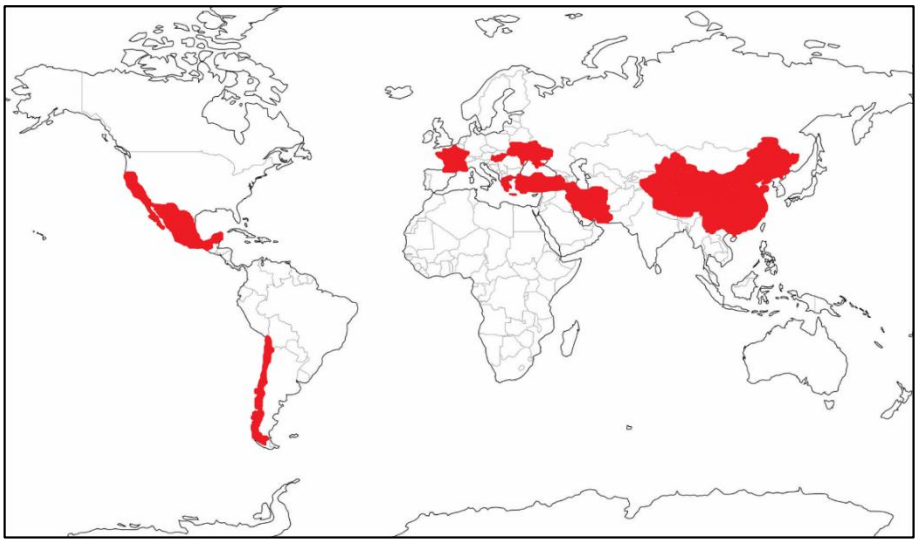
A szárított diólevélből tea főzhető, valamint használhatjuk lemosásra, borogatás és ülőfürdő készítésére is, és hatékonyan kezelhetünk vele bőrbetegségeket. A szárított diókopácsból főzetet készíthetünk. A dióbél, mint láttuk gazdag E-, és B-vitaminban, telítetlen zsírsavakban és fehérjékben, továbbá jelentős magnézium, kalcium, és kálium forrás is. A diófalevél juglont, cserzőanyagokat, flavonoidokat, valamin illóolajat, a diókopács juglont és hidrojuglon glikozidokat tartalmaz. A diólevelet belsőleg főként a népgyógyászat alkalmazza vértisztító hatása miatt, valamint bél-, és gyomorhurut kezelésére is. A diókopács főzetét az előbbiekben felsorolt betegségek kezelésére, valamint izzadás mérsékelésére használják. A termés zöld héjából cserző-, festő-, és pácoló anyagokat állítanak elő (Szentiványi és Kállayné, 2006).

Fája értékes bútoripari nyersanyag. A nagy diótermesztő országokban (Kína, Franciaország, USA) és a nagyobb importáló országokban (Németország, Japán, Korea, Spanyolország) jelentős diófogyasztást figyelhetünk meg. A diófogyasztás lassan emelkedik az utóbbi években és a kutatók, kereskedők a diófogyasztás további lassú emelkedését prognosztizálják a jövőben (Bujdosó, 2009). Hazánkban viszont az egy főre eső diófogyasztás rendkívül alacsony (0,6 kg/fő/év) és nem várható ennek jelentős emelkedése a közeljövőben (Bujdosó, 2009).

3.4. A diótermesztés helyzete, nemesítése

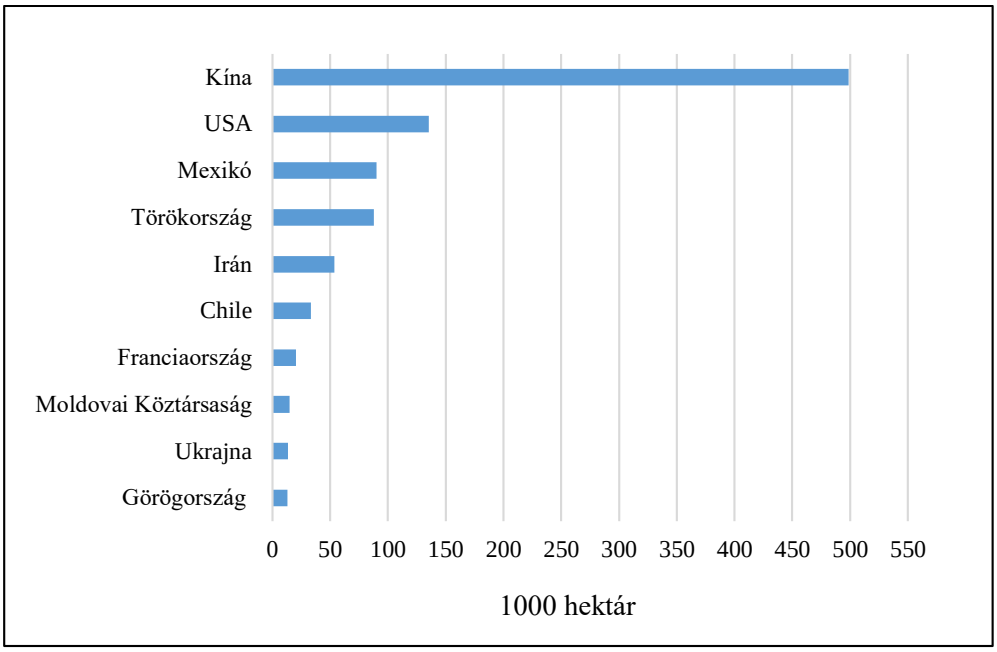
3.4.1. A világ diótermesztése

A világ dió ültetvényeinek területe az elmúlt öt évben növekvő tendenciát mutat, közelíti az 1,1 millió hektárt. A legfőbb diótermesztő országok az 6. ábrán láthatóak.



6. ábra A legnagyobb diótermő felülettel rendelkező országok elhelyezkedése (Kína, Amerikai Egyesült Államok [Kalifornia], Mexikó, Törökország, Irán, Chile, Franciaország, Moldovai Köztársaság, Ukrajna, Görögország és Magyarország) (FAOSTAT, 2019)

A legnagyobb ültetvényfelülettel Kína rendelkezik (489 866 hektár), mely 2000 óta háromszoros növekedést mutat. Kína diótermő ültetvényeinek területe majdnem a felét teszi ki a Világ dió ültetvényfelületének. Kína után az Amerikai Egyesült Államok (Kalifornia) következik (135 570 hektár), majd Mexikó (90 228 hektár, Törökország (87 670 hektár), Irán (53 952 hektár) szerepel az első öt legnagyobb diótermesztő ország között (FAOSTAT, 2019) (7. ábra).

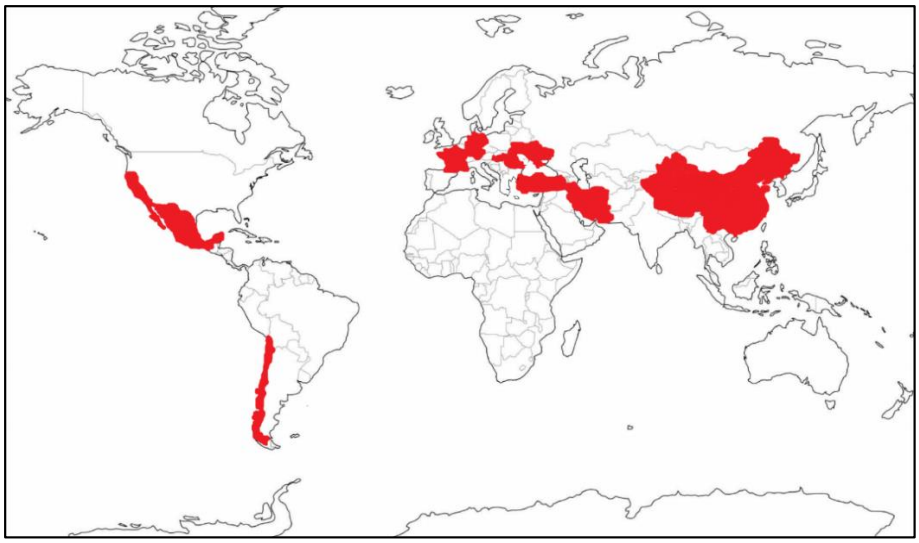


7. ábra A világ diótermő felülete 2017-ben (1000 hektár) (FAOSTAT, 2019)

Európán belül a legnagyobb árugyümölcs ültetvény felülettel Franciaország rendelkezik (20 499 hektár), melyet a Moldovai Köztársaság (14 717 hektár), Ukrajna (13 500 hektár), Görögország (13 200 hektár) követ (FAOSTAT, 2019). Franciaország termelése egyenletes, területeinek intenzitása folyton növekszik. Az újonnan csatlakozott EU országok közül a román diótermesztés a legjelentősebb, mely Franciaország termésmennyiségével vetekszik, bár Románia árugyümölcs ültetvényfelülete (1 600 hektár) Franciaország területének tizedét se éri el. Ezt az ellentmondást magyarázza, hogy a román össz diótermés döntő többségét még ma is a gyűjtött dió teszi ki. A Föld déli féltekén nagymértékű telepítések folynak napjainkban. Legjelentősebb Chile fejlődése, mely az elmúlt évtizedben megduplázta termőfelületeit (33 000 hektár) (3. táblázat).

3. táblázat Világ diótermő felületének alakulása 2013-2017 között (1000 hektár) (FAOSTAT, 2019)

Év / Országok	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2013-as adatokhoz viszonyított termőfelületváltozás (%) ↑növekedés ↓csökkenés**
Világ	983,1	1066,6	1015,1	1086,4	1097,6	12↑
Kína	415,7	445,7	461,3	475,9	489,8	18↑
USA	113,3	117,3	121,4	127,5	135,5	19↑
Mexikó	72,5	75,3	79	83,5	90,2	24↑
Törökország	63,9	69,4	71,8	86,8	87,7	37↑
Irán	109,7	141	48,9	71,8	53,9	51↓
Chile	18,9	24,4	27,9	30,9	33,4	77↑
Franciaország	19,3	19,7	20,9	20,3	20,5	6↑
Moldovai Köztársaság	6	14,3	15	15,7	14,7	145↑
Ukrajna	14,1	13,2	13,5	13,2	13,5	6↓
Görögország	9,2	8,5	8,9	12	13,3	45↑
Magyarország	4,3	4,3	4,5	4,8	4,8	12↑



8. ábra A legjelentősebb diótermesztő országok elhelyezkedése, termésmennyiség alapján. (Kína, Amerikai Egyesült Államok [Kalifornia], Törökország, Irán, Mexikó, Ukrajna, Chile, Franciaország, Románia, Németország, Magyarország) (FAOSTAT, 2019)

A világ diótermesztése a 2000-es évek elejétől 2017-ig megháromszorozódott, közelíti a 4 millió tonnát. A legfőbb termesztő országok (8. ábra) sorában Kína az első, évi 1,9 millió tonna dió termésével. Kínát az Amerikai Egyesült Államok követi, évi 570 ezer tonna diótermés sel, az ország vezető diótermesztő állama Kalifornia (4. táblázat). A Kalifornia államban megtermelt dión kívül emelkedik az árugyümölcs ültetvények felülete a keleti partvidék néhány államában (New Jersey, New York) is, de termésmennyiségük még eltörpül a kaliforniai dió mellett. A megtermelt kaliforniai dió 40%-át exportálják és ezen belül is a dióbél értékesítés növekszik a héjas dió exportjával szemben. A dióbél több mint 50%-át az Amerikai Egyesült Államokon belüli fogyasztásra csomagolják.

4. táblázat A világ diótermésmennyisége 2017-ben (1000 tonna) (FAOSTAT, 2019)

Ország	**Termésmennyiség**	**Ország**	**Termésmennyiség**
Kína	1925,4	USA	571,5
Irán	349,1	Törökország	210
Mexikó	147,2	Ukrajna	108,7
Chile	81,2	Románia	43,7
Franciaország	40,7	Németország	18,4
Olaszország	12,3	Magyarország	7
Szlovénia	6,8	Bulgária	3,5
Szlovákia	0,73	Csehország	0,071

Európa diótermesztésében Franciaországnak vezető szerepe van, évi 40 ezer tonnával. Az Amerikai Egyesült Államokéhoz hasonlóan termesztéstechnológiája és árufeldolgozása jól gépesített. A két legfontosabb eredetvédett márkájuk a termőhelyeikről kapták nevüket. Dél-keleti termőhely: 'Noix de Grenoble' (6 251 hektár), dél-nyugati termőhely: 'Noix de Perigord' (6 236 hektár). Olaszország jelentős diótermelőnek számított egészen a nyolcvanas évekig (42 800 tonna), jelenleg évi 12 ezer tonna diót termesztenek. Az újonnan csatlakozott EU országok közül Románia diótermése a legjelentősebb évi 43 700 tonnával, mely Franciaország termésmennyiségével vetekszik (FAOSTAT, 2019). Ennek ellenére a külkereskedelemben kevésbé tölt be jelentős szerepet, a belső fogyasztása miatt.

Európa vezető diótermesztő országaihoz képest Magyarország (6-7 ezer tonna), Szlovénia (7 ezer tonna), Bulgária (3-5 ezer tonna) termesztése kevésbé jelentős. Csehország (71 tonna) és Szlovákia (731 tonna) termésmennyisége drasztikus csökkentést mutat az utóbbi 20 évben (5. táblázat). Ukrajnában a megtermelt dió mennyisége átlag évi 108 ezer tonna (FAOSTAT, 2019). Tény, hogy jelenleg az ukrán gyümölcsexport közel 90 %-át a dióbél teszi ki, melyet igen versenyképes áron és jó minőségben értékesítenek az Európai Unió területén (Zatokovy, 2009).

A következő 10-15 évben Európában várhatólag szinten marad, vagy lassú mértékben csökkeni fog a dióültetvény-felület (Kállayné, 2004). Ezzel szemben a Föld déli féltekén nagymértékű telepítések folynak napjainkban. Jelentős Ausztrália, Új-Zéland és Chile szerepe. Ausztráliában igen kedvezőek az ökológiai adottságok a diótermesztéshez, az ültetvények termőre fordulásához csupán négy vegetációs időszak szükséges, valamint a diót károsító fontosabb kórokozók és kártevők még nem találhatók meg az országban. Évente 22-25 ezer tonna szárított héjas diót állítanak elő, az éves termésmennyiség növekvő tendenciát mutat. Új-Zélandon a párás klíma miatt a diótermesztést a legnagyobb mértékben a dió xanthomonászos elhalása (*Xanthomonas arboricola pv. juglandis*.) veszélyezteti. Egyik fent említett országban sincs fajtanemesítés, a Kaliforniai Egyetemen Davisben előállított fajtákat használják. Jelenleg Chilében 16 ezer tonna diót termesztenek 14 200 hektáron, mely az elkövetkező évtizedben duplájára is növekedhet. A Föld déli félteke másik nagy terméstermesztő országában, Ausztráliában is élénk érdeklődés figyelhető meg a diótermesztés iránt. Az országban található 4 ezer hektáros termőterület a jövőben, lassú mértékben növekedni fog (Bujdosó 2004).

5. táblázat: Világ diótermesztésének alakulása 1980-as évektől napjainkig (1000 tonna) (FAOSTAT, 2019)

	1980	**1990**	**2000**	**2010**	**2017**	**A változás aránya 1980-2017 között ↑növekedés,↓csökkenés**
Világ	795,4	890,5	1271,8	2767,4	3829,6	5↑
Kína	119	149,8	309,8	1284,4	1925,4	16↑
USA	178,7	205,9	216,8	457,2	571,5	3↑
Törökország	122	115	116	178,1	210	1,7↑
Irán	6	44,5	129,3	268,1	349,1	58↑
Szovjetunió	48,8	95	Ukrajna:50	87	108,7	2,2↑
Mexikó	3,1	1	60	76,6	147,2	47↑
Franciaország	31	24,5	26,4	31,6	40,7	1,3↑
Románia	34,3	26	31,5	34,4	43,7	1,2↑
Chile	5,2	8,3	11,3	32,2	81,2	16↑
Németország	14,3	12,2	18,2	16,9	18,4	1,3↑
Olaszország	42,8	15,2	16	14	12,3	3↓
Csehszlovákia	14,8	10,8	Csehország: 6,5	0,069	0,071	208↓
Jugoszlávia	25	30	Szlovénia: 2,9	2,9	6,8	3,5↓
Csehszlovákia	14,8	10,8	Szlovákia: 23,8	3	0,73	20↓
Bulgária	18,4	25,4	6	1,2	3,5	5↓
Magyarország	14,8	8,4	7,8	5,6	7	2↓

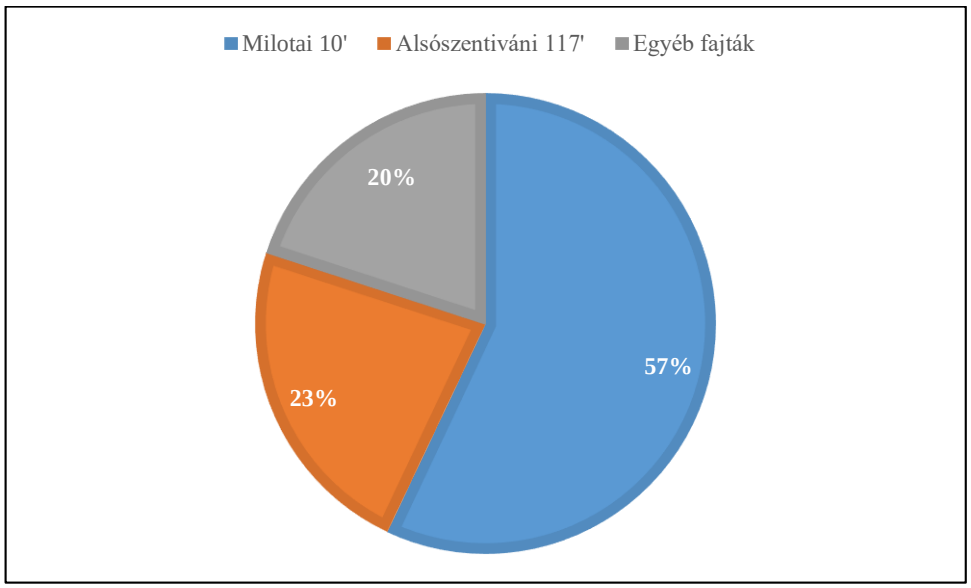
3.4.2. Hazai diótermesztés

A tudatos fajtahasználat az 1910-es években kezdődött. A Magyar Mezőgazdasági Minisztérium diómagot vásárolt Franciaországból, majd magoncokat hozott létre belőlük, hogy az ország egész területén gyümölcsösökbe és sorfaként ültessék utak mellé. A második világháború után, az ötvenes években a helyi gyümölcsfák nyilvántartási bizottsága kijelentette, hogy a Franciaországból származó magoncok, nem tudtak megfelelően alkalmazkodni a magyarországi éghajlati viszonyokhoz, ugyanis a termés mennyisége és minősége elmaradt a franciaországi termesztésben lévő fák termés mennyisége és minősége mögött (Szentiványi, 1998). A honosítás kudarca után megkezdték a tájszelekciós munkát.

A dió nemesítése Magyarországon 1950-ben kezdődött a Kertészeti Kutatóintézetben dr. Szentiványi Péter vezetésével. A tájszelekciós munka eredményeképpen három államilag elismert fajta jött létre az ’Alsószentiváni 117’, ’Milotai 10’ és a ’Tiszacsécsi 83’. A tájszelekció mellett, az 1970-es évektől kezdve a keresztezéses nemesítési munka is kezdetét vette az amerikai nemesítésű ’Pedro’ apai szülőként való bevonásával. A nemesítő munka során különösen nagy hangsúlyt fektetettek a kései fakadási időre, az oldalrügyből történő terméshozásra illetve a jó termésminőségre (min. 32 mm-es termésátmérő, világos színű és sima felületű terméshéj, világos magbél, 40%-os magbél arány, jó íz). A nemesítés ezen szakaszában állította elő a ’Milotai bőtermő’, ’Milotai kései’ Ⓟ , ’Milotai intenzív’, ’Bonifác’ Ⓟ és az ’Alsószentiváni kései’ Ⓟ államilag minősített fajtákat. A 2000-es évektől a nemesítési munka egyik fő célkitűzése a dió xantomonászos betegségével (*Xanthomonas arboricolae pv. juglandis*) szembeni elleni rezisztenciára irányult (Végh et al. 2015, 2016). Ezen időszakban a ’BD6’ fajtajelöltet szelektálták ki a meglévő populációból (Bujdosó et al., 2020).

Hazánkban az elmúlt években élénk érdeklődés figyelhető meg a dió (*Juglans regia* L.) termesztése iránt, ezt mutatja, hogy az ország teljes árutermelő dióültetvény felülete mára majdnem háromszorosára nőtt a 2001-es állapothoz képest (2001-ben 3200 hektár, míg 2018-ban 9000 hektár ültetvényfelületet regisztráltak). Ezzel, az utóbbi két-három évtizedben végbement nagymértékű ültetvényfelület növekedéssel a dió a harmadik legfontosabb gyümölcsfajjá lépett elő a Magyarországon termesztett gyümölcsfajok sorában. A nagymértékű ültetvény-felület növekedéssel párhuzamosan a termésmennyiség is növekszik. A hazai ültetvények 2001-ben 4 800 tonna szárított

héjas dió után 2018-ben már 7 000 tonna szárított héjas mennyiséget produkáltak. Magyarországon a termesztők főként a magyar fajtákat termesztik, de az oldalrügyön termő külföldi nemesítésű fajták haza kipróbálásával és termesztésbe vonásával is találkozhatunk. A termesztést a 'Milotai 10' és az 'Alsószentiváni 117'-es fajták uralják 57%, illetve 23%-os termesztési részaránnyal (KSH 2018) (9. ábra).



9. ábra Hazai ültetvények fajtahasználata (KSH, 2018)

3.4.3. Nemesítési célok

Jelenleg kevés diófajta mondható világfajtának, melyeket a világ több diótermelő országa is termesztene. A dió ugyanis rosszul alkalmazkodik a nemesítési helyétől eltérő ökológiai körülményekhez. A nemesítési helyétől eltérő ökológiai körülményekre rossz termésminőséggel (kisebb termésméret, dudoros héjfelület, sötét héj és bélszín, rossz íz) reagálhat. A honosítás kevésbé terjedt el a fentiekben leírtak miatt, ezért van nagy jelentősége a különböző országokban folyó nemesítő munkának. Ukrajna, Románia, Magyarország, Szlovénia, Amerikai Egyesült Államok (Kalifornia Állama), Kína, Olaszország, Németország, Franciaország, Moldovai Köztársaság saját nemesítési programmal rendelkezik,- és a termesztésben ennek köszönhetően leginkább saját nemesítésű fajtákat használnak. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Gyümölcstermesztési Kutató Központ jogelődjei számos külföldi nemesítésű diófajta vizsgálatát végezték el hazai adaptációs kísérletekben. A csehszlovák 'Bolygó-sorozat' fajtái ('Mars', 'Jupiter', 'Venus' 'Saturn'), bár ígéretesnek tűntek a számunkra (Hričovsky, 2000), hazai körülmények között rosszul reagáltak a

xanthomonasz kórokozóra, mivel a csehországitól eltérő rassz található meg hazánkban. Sikeres honosítás kísérleteknek számít, hogy Ausztráliában a kaliforniai nemesítésű diófajtákat (’Chandler’, ’Howard’, ’Serr’, ’Sunland’) használják. A dél-kelet ausztráliai és a kaliforniai ökológiai körülmények nagyon hasonlóak egymáshoz, mely a sikeres honosítás alapját jelenti. Szlovéniában a hasonló ökológiai körülményeknek köszönhetően a francia nemesítésű ’Franquette’ fajta terjedt el. Németországban a magyarországihoz hasonló ökológiai körülmények között (Baden-Würtemberg Szövetségi Tartomány) sikeresen vezették be a magyar nemesítésű fajtákat a termesztésbe (’Milotai 10’, ’Alsószentiváni 117’, ’Milotai intenzív’, ’Bonifác’, ’Alsószentiváni kései’, ’Eszterházi II’) (Szentiványi és Kállayné, 2006; Bujdosó, 2009; Stirm, 2006).

Egyes genotípusokat a Davis Egyetemen géntranszfer nevű biotechnológiai módszerrel hoztak létre, de termesztésüket még nem engedélyezték. Elképzelésük szerint ezzel a módszerrel csökkenthető a mag allergéntartalma valamint javítható a télállóság és a hideg- és melegtűrő képesség (Gauthier és Jacobs 2011, Vahdati et al., 2002). A tannin, a telítetlen zsírsavak és a flavonoidok bioszintézisét kódoló gének feltérképezése még folyamatban van (McGranahan és Leslie, 2009). Ezenkívül a Bacilus thuringiesnsis-t rovarkártevőkkel (Leslie et al., 2001) és Agrobacterium diófajokkal (Escobar et al., 2002) szembeni rezisztencia elérésére használják.

Korábban minden diótermelő országban a nemesítés legfontosabb céljai a késői fakadás és az oldalrügyekből való termőképesség volt. E kettőhöz ma egy harmadik cél is társult: a korai érési idő. Annak ellenére, hogy az északi féltekén a dió fő értékesítési időszaka karácsony előtt van, a nagyobb diótermelő országokban (USA, Franciaország, Románia) a héjas dió és bél dió tekintetében a korábbi piacra lépést tartják fontosnak a közelmúltban. Természetesen elengedhetetlen a jó gyümölcsminőség. Az 1. osztály alsó határa jelenleg 32 mm átmérőjű. Kerek vagy gömbölyű dióforma is szükséges. A hosszúkás alakú genotípusok kevésbé előnyösek, mivel átmérőjük nem éri el a 32 mm-t. Fontos, hogy a maghéj sima és világos színű legyen, a magbél pedig világos színű vagy enyhén sötétbarna csíkos legyen. Ezen túlmenően az ideális diófajta fő jellemzője a 40%-os magbél arány, könnyen repeszthető és tisztítható, jó ízű, egyéb ízek és utóízek nélkül, valamint a megfelelően zárt varrat. Mivel a déli féltekén is egyre nagyobb mennyiségben termesztenek diót, és onnan március-áprilisban érkezik a betakarítás Európába, egyre fontosabb, hogy a

magbél minél tovább megőrizze világos színét. A rendszeres és magas terméshozam, a jó szaporítóképesség és a közepes növekedési erély is elengedhetetlen (Bujdosó, 2013).

A Davis Egyetem a világ legnagyobb keresztezési programjában 2009-ben az alábbiak szerint határozták meg az ideális diófajta kritériumait (McGranahan és Leslie, 2009):

- a késői fakadás a kora tavaszi fagyok elkerülése miatt;
- magas fokú dichogámia, az együtt virágzás elkerülése miatt, mely a termések abortálást okozza;
- korai termőre fordulás;
- középerős növekedési erély;
- nagyarányú oldalrügyön termő képesség;
- magas terméshozam 500 kg/ szárított héjas dió hektáronként, minimum 32 mm-es termés átmérő;
- a betakarítási időszak október eleji legyen;
- sima, tetszetős héjfelszín, hogy héjas formában is értékesíthető legyen;
- világos, szalmasárga bélszín;
- könnyű törhetőség;
- magas magbél arány;
- nagyfokú betegség ellenállóság főként a *Xanthomonas arboricola pv. juglandis*, *Gnomonia leptostyla* és *Pseudomonas syringae pv. syringae* kórokozókkal, valamint a többi diót fertőző kórokozóval szemben

A diótermesztésben jelenleg óriási növényvédelmi problémák vannak, amelyek leginkább a *Xanthomonas arboricola pv. juglandis*, valamint a BAN-ra (Brown Apical Necrosis). A világ számos nemesítő csoportja foglalkozik ezekkel a problémákkal, de sajnos még nincs olyan fajta, amely toleráns vagy rezisztens lenne a Xanthomonas okozta dióvész ellen. A kutatók szerint akkor lehet toleráns fajtákat létrehozni, ha a helyi populációkból a kórokozóval szemben toleranciát/reisztenciát mutató genotípusokat választanak ki (Rovira et al., 2007; Özaktan et al., 2007; Lovera et al., 2008; Solar et al., 2008; Tsiantos et al., 2008; Ruiz-Garciá et al., 2009; Solar et al., 2009; Frutos és Lopez, 2012).

A *Juglans regia* L. mellett a *Juglans nigra* L. és a *Juglans hindsii* Rehd. gyakran használják tenyésztési programokban az Egyesült Államokban (McKenna és Epstein, 2003). Kínában a *Juglans regia* L. mellett a fő génforrások a *Juglans mandshurica* Maxim., a *Juglans cathayensis* Dode., mely kiemelkedő szárazságtűrő, hidegtűrő és télálló, valmaint *Juglans sigillata* Dode., amely jól tűri a meleg és párás klímát, de gyenge a télállósága (Tian et al., 2009). Az interspecifikus hibridek megjelenése és termesztése leginkább Kalifornia állam jellemzője, ahol a 'Paradox' alany a *Juglans regia* L. *x Juglans hindsii* Rehd. hibrideként jött létre (McGranahan és Leslie, 2009). A piacon kapható 'Paradox' alany a *Juglans hindsii* Rehd. és a *Juglans major* vagy a *Juglans hindii* Rehd. és a *Juglans nigra* L. interspecifikus hibridje lehet (McKenna és Epstein, 2003). Az interspecifikus hibridek jelentősége a dió gyűrűsfoltosság (Cherry Leaf roll potyvirus, CLRV) elleni védekezében van, mivel csak a *Juglans hindsii* Rehd. tartalmaz domináns gént amely a vírusfertőzések után a dióban túlérzékenységi reakciót vált ki. A *Juglans hindsii* Rehd. x *Juglans regia* L. hibridek *Juglans regia* L.-val való visszakeresztezése során amerikai kutatók túlérzékeny és toleráns genotípusokat találtak 1:1 arányba az utódpopulációkban. Ezen interspecifikus hibridek kapcsán meg kell jegyeznünk, hogy a hím virágok sterilek, ezért jelenleg nyitott kérdés, hogy ezek a CLRV ellenzi túlérzékenységet mutató genotípusok hogyan fognak teremni, illetbe hogy a túlérzékenységi reakció működik-e szabadföldön vagy sem (McGranahan et al., 1997).

Kínában a legnépszerűbb interspecifikus hibrid a *Juglans hopeiensis* Hu., a *Juglans regia* L. és a *Juglans mandshurica* Maxim. természetes hibridje, amely a Hebei tartományban található Taihang- hegységben található. Ez a faj nem csak gyümölcsként jelentős (nagy termésű, tetszetős megjelenítésű), hanem dísznövényként is használják (Wu et al., 2009). A kínai nemesítők saját szortimentet hoztak létre. A fő nemesítési cél az íz javítása, a nagy terméshozam, a fagyállóság volt. Ezen kritériumok alapján szelektálták a 'Xifu 1' és 'Xifu 2' fajtákat (Wu et al., 2010).

A termesztők számára az egyik legfontosabb jellemző az oldarügyeken mutatkozó termőképesség, ami növelheti a termést a csak csúcsrügyből termő fajtákhoz képest. Egyes újfajta nemesítésű fajtáknál megjelent a fürtben termő termés, ami azt jelenti, hogy a csúcsrügyek nemcsak a termést, hanem egy 5-12 termésből áll, szőlőfürtre emlékeztető termést fejlesztenek. A fürtben lévő termések általában kicsik, így a diótermelő országok fajtaválasztékábancsak néhány államilag engedélyezett

fürttermő fajta található. Ilyen példa erre a Szerbiában nemesített ’Tica’ fajta (ejtsd: Tisza), melynek fürtjei 7-9 darab, egyenként 30-33 mm átmérőjű termést tartalmaznak. A fürttermő diófajták másik hátránya az alacsony fánkénti terméshozam. A ’Tica’ ebből a szempontból is kivétel magas termőképességével (Bujdosó, 2013)

A kaliforniai diónemesítési programban a ’Payne’ fajtát használták szülőpárként a termőképesség javítására, mely programból a ’Vina’, ’Serr’, ’Howard’ és ’Chandler’ fajtákat emelték ki (Ramos, 1998). Napjainkban a nemesítés eredményeként további három új fajtát választottak ki, a ’Sextont’, ’Gillet’ és ’Forde’, melyek elterjedése néhány éve indult meg. Valamennyi újonnan nemesített fajta kevésbé fogékony a dió Xanthomonasos betegségére, oldalrügyön terem, magas hozamú, korai érésű és jó minőségű.

Az utóbbi időben egyre nagyobb igény mutatkozik a „vörösdió”-t termő fajtákra. Egyelőre csak néhány vörösszemű diófajta található a szortimentben. Európában ilyen fajták nincsenek a termesztésben, a nemesítők génbanki gyűjteményekben tartják ezeket a genotípusokat. Kaliforniában a ’Robert Livermore’ az egyetlen vörösszemű fajta, amelyet csak kis feületen termesztenek (McGranahan és Leslie, 2004).

A török dió termesztése az ország genotípusainak kiválasztásán alapul. Legjelentősebb fajtája a szeptember végén érő ’Kaplan 86’, melynek termése 24-25 mm, a termés súlya 10 g körüli, termése jó minőségű. Az ’Altnova’, ’Yalova 1’ és a ’Yalova 4’ sötét maggal rendelkezik, így kevésbé vonzóak. A legfőbb nemesítési cél Törökországban a termés minőség javítása (Bujdosó, 2013).

A világ negyedik legnagyobb diótermelő országa Irán, ahol modern, öntözött ültetvényeken termesztenek amerikai (’Serr’, ’Chandler’) és francia (’Lara’) fajtákat. Tájszelekciós nemesítéssel több mint 41000 hektrányi dióültetvényből 39 genotípust választottak ki a 2000-es évek elején. Ezeket a genotípusokat alanyra oltva 7 x 7 méteres sor és tőtváolságra ültették ki. Ezek közül négy fajtát választottak ki mely forgalomba került 2019-ben, ’Persia’, ’Caspian’, ’Chaldoran’ és az ’Avland’ (Hassani et al., 2020).

Ukrajna előkelő helyet foglal el a világ diótermesztésében. A fő nemesítési célok a késői fakadás, a korai érés és a kiváló termésminőség. A legfontosabb ukrán fajták ezeket a szempontokat maradéktalanul teljesítik. Románia is jelentős

diótermesztő ország, ahol a Craiova Egyetem saját diónemesítési programot folytat. Elsődleges nemesítési cél az országban a korai érés, a kései fakadás és a kiemelkedő termésminőség. Olténiában a következő fajták bizonyultak a legjobbaknak: ’Valcor’, ’Jupanesti’, ’Valrex’ és ’Valmit’. Hátrányuk, hogy héjuk vékonyabb, gondosabb gépi betakarítést és kezelést igényel. A Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetemen a 2000-es évek elején indult diónemesítési munka, melynek célja a hagyományos diótermesztő vidék, Háromszék diótermesztési értékeinek és értékes genotípusainak feltárása. A romániai diófajták a faiskolai kereslet és kínálat összehangolatlansága miatt alig terjednek. Ez az oka annak, hogy elsősorban Erdélyben a magyar fajtákra irányul a figyelem, de a hibrid diófajtáknál komoly téli fagykárok tapasztalhatók. Jelentős a francia diótermesztés és kutatás is világszerte. A kutatás jelenleg az újonnan nemesített diófajták termesztéstechnológiájának fejlesztésére irányul. Szlovéniában jelentős diókutatás folyik a Ljubljanai Egyetemen, Bulgáriában pedig a plovdivi Gyümölcstermesztési Kutatóintézetben végzik a diónemesítést. A francia diófajták magas oldalrügyön termőképességüek és kiemelkedő termésminőségűek. Nagy az érdeklődés a ’Fernor’ és a ’Lara’ fajták iránt (Verhaeghe, 2011). India néhány éve csatlakozott a világ 10 legfontosabb diótermelő országához, mivel Kasmír tartományban jelentős diótermesztés folyik. Az indiai diótermesztés a helyi fajtákra épül, amelyek gyenge termésminőséggel rendelkeznek, így a világpiacon kevésbé versenyképesek (Bujdosó, 2013)

Az ausztrál gazdálkodók a friss fogyasztásra alkalmas fajták részesítik előnyben. A kaliforniai diófajták (’Serr’, ’Chandler’) termesztési aránya Új-ZÉlandon, Dél- Afrikában, Chilében és Argentínában magas. Egyre nagyobb érdeklődés figyelhető meg a diótermesztés iránt Közép- Ázsia országaiban: Azerbajdzsánban, Üzbegisztánban, Tádzsikisztánban, Kirgizisztánban és Kazahsztánban. Szinte minden közép-ázsiai ország rendelkezik saját fajtaválasztékkal. A nemesítés elsődleges célja a termés minőségének javítása és a dió főbb betegségeivel szembeni tolerancia/rezisztencia elérése. Azerbajdzsánban a diónemesítést az Azerbajdzsani Állami Mezőgazdasági Egyetemen végzik. Tádzsikisztánban több mint 20 fajtát nemesítettek (Bujdosó, 2013).

3.5. A dió termőhely igénye

A dió magassági elterjedésének határa területenként és klímánként eltérő, így míg a Közép-Alpokban 1100 méterig, addig a Himalája vidéken 2700 méter magasságig találja meg ökológiai igényeit. Európában legészakibb előfordulása a 63° 35' szélességi övre esik (Norvégia), ahol még termést érlel (Zahov, 1943). Fája Svédországban is megél, azonban Malmö környékén, kis felületen ültetett diósok termést már nem érlelnek, így kiszorult a termesztésből.

Hazánk egész területén megtalálható a dió, tájgyümölcsösöket és egyedi fákat bárhová ültethetünk. A gazdaságos termesztés szempontjából azonban maximálisan ki kell elégíteni a termőhelyi igényeit. Mivel hazánk a dió termesztés északi határán helyezkedik el, ezért a hűvösebb országrészek alkalmatlanok az üzemi termesztésre.

A dió fény-, és vízigényes növény. Fényhiány hatására jellemző a termő zóna koronapalástra húzódása, valamint a belső részek felkopaszodása. A termőhely megválasztásánál figyelembe kell venni a napsütéses órák számát, a kora tavaszi fagyok gyakoriságát. Romániai (Sibisel- Sebeshely) megfigyelések alapján (Palocsay, 1957), az éves átlaghőmérséklet 8-10 °C között az ideális a dió számára. Fontos az aktív hőösszeg, ami a vegetációs időszakban 2000 °C kell legyen a megfelelő fejlődéshez. A dió a júniusi-júliusi hűvös időjárásra rendellenesen vékony és hiányos dióhéj (cinegés vagy papírhéjú dió) fejlesztésével reagál, ami a termés csökkenéshez vezethet. A 35 °C-t meghaladó hőmérséklet hosszabb légköri szárazsággal párosulva termésen, ágakon okozhat károsodást. 38 °C fölötti hőmérséklet hatására sötétülhet a fejlődő magbél, vagy akár össze is száradhat. A hazai termesztés szempontjából nagy jelentősége van a téli hidegnek és a késő tavaszi fagyoknak. A fagyok elviseléséhez fontos, hogy a fák megfelelően tápláltak és a vesszők jól beérettek legyenek, ami a nyári lombvédelemmel lehet elérni. Magyarország legjobban termő üzemi diósai a Balatonhoz közel, Balatonboglár-Lengyeltóti térségében vannak. A terület évi középhőmérséklete 10-11 °C, a fagymentes időszak hossza 205 nap körüli. Egyedül a víz hiányzik ezen a termőterületen (Marosi–Somogyi, 1990). Kalifoniai megfigyelések alapján a diófák károsodhatnak, ha a betakarítás után még a mélynyugalmi időszak alatt a hőmérséklet - 2 és - 6 °C fok közé esik (Sibbet et al., 1998). Emilia Romanaban (Észak-Olaszország) a diófajták fagytűrését -20 °C alatt vizsgálták (Ughini és Roversi, 1990).

A diót „folyókísérő” növénynek is tekintik, természetese előfordulása főként ártéri területeken jellemző. Évi vízszükséglete 800-1000 mm. Hazai körülmények között érdemes öntözni az ültetvényeket, mivel a csapadék éves eloszlása nem egyenletes, így akár július közepe előtt beállhat a fák teljesítményét és termésminőségét rontó vízhiány. Francia kutatások szerint a dióültetvény tenyészidőszak alatti vízigénye a talajban júniustól a szüretig összesen 450-500 mm (4500-5000 m³/ha) felvehető víz (Germain et al., 1999). A dió legalább 150-160 cm termőréteg vastagságú vályog- és homokos vályogtalajokon fejlődik kielégítően. Friedrich (1956) és Mohácsy (Mohácsy–Porpáczy, 1951) a diótermesztés lehetőségét a jó szőlőterületekhez köti. Folyó és patak mentén is ültethető a dió, de csak akkor, ha a talajvíz állandó mozgásban van, mivel a pangó vízre érzékeny.

A termésbiztonság egyik legmeghatározóbb tényezője a késő tavaszi fagyok gyakorisága. Hosszabb időszak alatt a fagykár a fák hasznos életkorát is csökkentheti. A környezetükhöz viszonyítottan magasabb fekvésű termőhelyek a fák számára biztonságosabbak lehetnek, mivel védelmet nyújtanak az alacsony téli és tavaszi hőmérséklettől. Azonban kivételt képeznek azok a fennsíkok, ahol a kitettség következtében a szállított fagy gyakorisága nagyobb (Botu et al., 2001; Turcanu, 2004). A késő tavaszi fagyokra a korán fakadó fajták fokozottan érzékenyek (akár -1 °C-on is lefagyhatnak a megpattant rügyek), viszont a nyugalmi időszak során, (a rügyek edződése következtében) akár a mínusz 25 és mínusz 28 °C-ot is jelentősebb károsodás nélkül elviselik (Szentiványi, 1978). Bizonyos fajták esetében ez a hőmérséklet akár a mínusz 30 °C-ot is elérheti, mégsem okoz nagyfokú rügy- illetve vesszőfagykárt. A június hónap hűvös időjárása problémákat okozhat terméskép̋ződésben, ezen belül a csonthéj kialakulásában, mivel a termés „cinegesedik”, azaz rendellenesen vékony és/vagy hiányos (lyukacsos) terméshéj alakul ki.

3.6. A stressz növényekre gyakorolt hatása

3.6.1. A stressz fogalma, biotikus és abiotikus stressztényezők

Selye (1936) szerint a stressz a szervezet túlterhelt, túlerőltetett állapota, a test aspecifikus reakciója mindenfajta igénybevétellel szemben. Növényekre vonatkozóan a következőképpen adta meg először a stressz meghatározását: A stressz egy olyan terheléses állapot, amelyben a növénnyel szembeni fokozott igénybevétel a funkciók kezdeti destabilizációját követően egy normalizálódáson át az ellenállóság fokozódásához vezet, majd a tűréshatár túllépésekor tartós károsodást vagy akár pusztulást is okoz. Ma a növényi stresszt úgy definiáljuk, hogy a stressz az a fiziológiai állapot, amelyben a növények növekedése, fejlődése és szaporodása a környezeti terhelés miatt a genomban meghatározott lehetőségek alatt marad (Osmond et al., 1987). A meghatározás két elemét kell hangsúlyoznunk. Az egyik az, hogy a stressz az egy élettani állapot, amelybe a növény a stresszor (stressztényezőket) hatására kerül. A másik pedig az, hogy a funkciók a genomban meghatározott értékek alatt maradnak. A növényekre ható stresszorokat többféleképpen csoportosíthatjuk. Az egyik szokásos felosztás szerint beszélünk természetes tényezőkről, valamint antropogén faktorokról.

Természetesnek tekintjük a természeti környezet spontán, de hirtelen vagy szélsőséges megváltozásait: a nagy fényintenzitást, a hőhatást, az alacsony hőmérsékletet, a hirtelen fagyot, a szárazságot, az ásványi tápanyag hiányt, a nagy sókoncentrációt, stb.. Míg antropogén stresszorokként tartjuk számon a herbicideket, a légszennyező anyagokat (kén- és nitrogénoxidok, ózon stb), a savas esőt, a talajsavanyodást, a toxikus nehézfémek feldúsulását a környezetben, a fokozott UV-sugárzást, stb.. Másik szempont szerint beszélünk abiotikus (abiogén) és biotikus (biogén) stressztényezőkről. Ez utóbbiak közé tartoznak a növény parazitái: vírusok, baktériumok, gombák, de ide soroljuk a rovarok, csigák, stb. rágása által okozott sebzéseket is. Az abiotikus tényezők közül a mezőgazdasági termesztésben a legnagyobb problémát a szárazság, a magas sókoncentráció és a hőmérsékleti ingadozások jelentik, melyekhez a növények fennmaradásuk érdekében sokféle módon alkalmazkodnak. A különböző stresszfaktorok – gyakran jelentős gazdasági kárt, terméskiesést okozó – károsító hatásának leküzdését nehezíti, hogy egyszerre többféle stresszhatással is számolni kell, valamint az egyes stresszorok fellépése térben

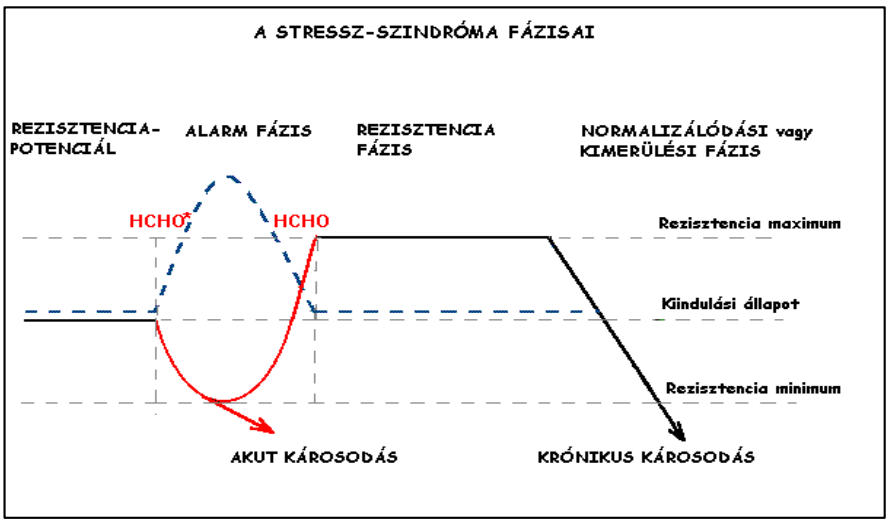
és időben, továbbá intenzitásban változhat a vegetációs perióduson belül. (Cramer et al., 2011; Fraire- Velázquez és Balderas- Hernández, 2013). A növény képes koordinált rendszerben egy vagy több védekező mechanizmust kialakítani, a növényt támadó vírus, baktérium vagy gomba érzékelésén és azonosításán túl, melyek segítségével megpróbálja megakadályozni a kórokozó bejutását, szaporodását, valamint annak elpusztítására törekszik (Klement, 1963). A növényi immunrendszer képes megkülönböztetni saját és nem saját anyagokat (vírus, baktérium, gomba), illetve sejteket és a felismerés után beindítani a védekezési rendszert. Azokban az esetekben, amikor ez a felismerés késlekedik vagy elmarad, a betegség súlyos formái jelentkeznek. Kétféle védekezési rendszer különíthető el a növények esetében:

- általános (eredendő), nem specifikus rezisztencia;
- kórokozóra fajlagos, specifikus (hiperszenzitív) rezisztencia.

Az előbbi lehet tünetmentes, az utóbbi sejt-, illetve néhány sejtre kiterjedő nekrózissal jár (Klement, 2004). A stressztényezők a növények fiziológiás állapotát befolyásolják, hatásukra megváltozhat a növekedés, a virágzás ideje és intenzitása, csökken a növényi sejtfunkciók aktivitása és a klorofill mennyisége, stb. Tudományos kutatások igazolják, hogy a különböző stressztényezők eltérő változásokat idéznek elő a növények endogén vegyületeiben, például az oldható fehérjék és szénhidrátok mennyiségileg és egyes aminosavak, szénhidrátok minőségileg is módosulnak. Pius és munkatársai (1998) vizsgálataiból kiderül, hogy stressz hatására megnövekszik a növényekben a szabadgyökök termelődése, s az így bekövetkező oxidatív veszély is szoros kapcsolatban áll a növényeket érő abiotikus, illetve biotikus stresszekkel kiváltott változásokkal. A növények ökológiai „niche”-ükön belül optimális fiziológiai állapotúak a stresszhatást megelőzően. Ebből az optimális állapotból lendítik ki a stressztényezők és stressz szindrómára kényszerítik a növényeket (Lichtenthaler, 1996)

3.6.2. A stressz által kiváltott folyamatok, a stresszre adott válaszok

A különböző eredetű stresszhatások által kiváltott folyamatot a stressz-szindróma (10. ábra) foglalja össze (Selye, 1964; Tyihák és mtsai., 1989).



10. ábra A stressz-szindróma fázisai Selye (1964) és Tyihák és mtsai. (1989) alapján Sárdi (1994, 2006)

Az *első fázis* a vészreakció, ami a stresszor hatására bekövetkező terhelés fokozódásakor a normális működéstől való eltérésben nyilvánul meg, következménye a vitalitás csökkenése. Az anyagcsere lebontó jellegű folyamatai dominálnak a felépítő, szintetizáló jellegűek felett. Mindez az ellenállás minimumának elérése, majd túllépése esetén akut károsodáshoz vezet. Ha a növény rezisztencia-potenciálja lehetővé teszi, akkor a helyreálláson, edződésen keresztül bekövetkezik a második fázis.

A *második fázis* az ellenállás stádiuma, amelyben védekező és alkalmazkodási folyamatok eredményeként a növény ismét normális életműködést mutat, funkcionális aktivitása a korábbi standard értéknél magasabb is lehet. Ilyenkor a növény edzettebbé válik, ellenálló képessége fokozódik (hardening). A *harmadik szakasz* a kimerülés, ami az alkalmazkodó képességet meghaladó idejű és intenzitású igénybevétel esetén következik be, és fokozatos leromláson át krónikus károsodáshoz, majd a pusztuláshoz vezet (Sárdi 1994). Ha a stresszor hatása, – akár a kimerülési fázisban is – megszűnik, a növény képes regenerálódni, melynek eredményeként az adott funkció egy új standard szintre áll be.

Akklimatizációnak nevezzük az egyed életében érvényesülő alkalmazkodást, a túlélést biztosító stresszválaszt, míg az adaptációnak a hosszú távon, vagyis több generáció során kialakuló, tartós ellenálló képességet. Az akklimatizáció egy fenotípusos válasz, melynek mértékét a növényegyed fenotípusos plaszticitása határozza meg. Mivel a növények helyhez kötöttek, valamint egy generáció viszonylag hosszú, a növényeknél a fenotípusos plaszticitás szerepe lényegesen nagyobb, mint az állatvilágban.

A fenotípusos plaszticitásnak két típusa van. A széles fenotípusos plaszticitással rendelkező növény az egyed életén belül az adott környezeti tényező értékéhez akklimatizáció révén képes alkalmazkodni, mert fenotípusos plaszticitása által biztosított strukturális és funkcionális képességei ezt lehetővé teszik. A szűk fenotípusos plaszticítású növényegyedek azonban csak kis mértékben képesek az akklimatizációra, az ilyen egyedek a környezeti tényezők nagymértékű változása esetén elpusztulnak. Adott populációban a szokásos gyakorisággal bekövetkező mutációk közt azonban lehetnek olyanok, melyek a megváltozott külső körülményeket elviselő egyedeket eredményeznek. Ilyen módon ezek, a stresszor hatását túlélni képes növények kerülnek előnybe a szűk fenotípusos plaszticítású egyedekkel szemben. A megváltozott külső környezeti tényező szelekciós nyomást fejt ki az adott növénypopulációra, ami a megváltozott genetikai állományú (mutált) egyedeket juttatja növekedési, fejlődési, szaporodási előnyhöz. Ennek a generációkon át érvényesülő szelekciós nyomásnak a hatására bekövetkező genetikai változáson alapuló adaptációnak a révén tud alkalmazkodni a növénypopuláció a környezeti tényezőknek a fiziológiai tűréshatárt meghaladó mértékű változásához. Az adaptáció eredménye az adott környezeti tényezővel szembeni tartós rezisztencia (Szigeti, 2007).

Általában több stressztényező egyszerre éri a növényeket ritka, hogy csak egyetlen stresszor hat a növényre. Ez az együttes hatás lehet szinergista, amikor a stresszorok okozta károsodás nagyobb, mint egyenként kifejtett hatásuk összege. A fotoszintézisnek a nagy fényintenzitással szembeni érzékenysége alacsony hőmérsékleten lényegesen nagyobb. Ennek az az oka, hogy a hideg lassítja a fotoszintézis biokémiai folyamatait és nagy fényintenzitáson ez a fotoszisztémákon gerjesztési energiafelesleget eredményez, azért is számos alternatív energiadisszipációs folyamat (Mehler peroxidáz reakció, fotorespiráció) is gátlódik alacsony hőmérsékleten. A stresszorok hatása lehet antagonista is. A hideg hatására

ozmotikusan aktív, krioprotektáns anyagok koncentrációja megemelkedik a citoplazmában. Ez a folyamat hasonló a szárazságstressz hatására meginduló reakcióhoz. Ennek következtében a hidegtűrés szárazságtűréssel is párosul (Szigeti, 2007).

3.7. A fagytűrés fiziológiai és biokémiai háttere

A szakirodalmak a dió stressztűrésének fiziológiáját négy funkció szerint osztották csoportba: (1) szénhidrát anyagcsere és fotoszintézis, (2) tápanyag szabályozás, (3) hőmérséklethez való akklimatizáció, (4) vízháztartás. A stressztűrés hőmérséklethez köthető része a fagytűrés (Szigeti, 2007). A dióra negatív hatással lehet az éghajlatváltozás. A dió szárazság és fagytűrését hátrányosan befolyásolhatják az extrém klimatikus tényezők és az emelkedő hőmérséklet.

Összehasonlítva az 1984-1990 közti időszakot a 2000-2006 közötti januártól áprilisig terjedő időszakkal, 0,9 °C-os melegedés figyelhető meg, ami 3-7 nappal korábbi rügyfakadást eredményezett. A fagytűrés nem statikus jelenség, hanem folyamatosan változik. A fagyállóságot a napfényes órák száma és a hőmérséklet csökkenése váltja ki a növekedési szezon végén (Weiser, 1970; Aronsson, 1975). Ősszel a csökkenő hőmérséklet és a növekvő fagyállóság dinamikáját figyelhetjük meg (Greer et al., 2000; Luoranen et al., 2004). Csúcspontját a téli időszakban éri el és tavasszal ismét a minimumra csökken. Az alacsony hőmérséklet a növény szaporodásának és elterjedésének egyik legmeghatározóbb környezeti korlátozó tényezője (Kerr et al., 1997; Bravo et al., 2001). Míg az extracelluláris fagyasztást általában a fagyálló növények jól tolerálják, a kritikus tényező az intracelluláris fagyasztás megelőzésének képessége, amely természetes körülmények között letális (Levitt, 1980). A fagytűrő növények túlélik az extracelluláris fagyást. Az alacsony hőmérsékletnek kitett növények megfázhatnak (nulla fok feletti hőmérsékleten) vagy megfagyhatnak (nulla fok alatti hőmérsékleten).

A fajok és a fajták fagytűrése között különbség van, mivel a fagytűrés alakulását genetikailag öröklött tulajdonságok határozzák meg. Az alacsony téli hőmérséklet túléléséhez a mérsékelt övezet fás szárú növényeinek fagytűrési mechanizmust kell kialakítani. A növények kétféleképpen tudnak védekezni a fagy ellen, elkerüléssel vagy toleranciával (Charrier et al., 2011). Elkerüléskor azzal tudnak védekezni, hogy szinkronba hozzák saját éves fejlődési ciklusukat a kritikus

környezeti periódusokkal párhuzamosan (Parmesan és Yohe, 2003; Menzel et al., 2006). A rügyek miután megkapták a fejlődéshez szükséges téli hidegigényüket, a mélynyugalmi időszak után tavaszig kényszernyugalomban vannak. A rügydifferenciálódás a megfelelő mennyiségű hidegóra szám nélkül nem menne végbe. Az öröklött ellenállóság részben alaktani és mechanikai jellegű, illetve az élettani folyamatok önszabályozásán alapul. A fák is képesek kiigazítani fagyasztási toleranciájukat azáltal, hogy növelik az extracelluláris fagyasztási képességüket és csökkentik az intracelluláris fagyasztás esélyét a fagyok alkalmazkodási folyamatán keresztül. Mindkét fagyállósági folyamat (elkerülés és tolerancia) környezeti szempontból vezérelt (a napsütéses órák száma és a hőmérséklet alapján), de genotípusos hatás is érvényesül. Szeptember és január között az akklimatizáció dinamikáját elsősorban a környezeti tényezők mozgatták, míg januártól a rügyfakadáson keresztül szignifikáns genotípushatást azonosítottak mind a fagytűrési, mind az elkerülési folyamatokban (Charrier et al., 2011). A veleszületett ellenállóságot, olykor a növények túlérzékenysége jelenti. Látszólagos rezisztenciával rokon tulajdonság a tolerancia (tűrőképesség), amelynek az a lényege, hogy a károsodást szenvedett növény erős fejlődési és regenerációs képessége folytán mintegy kiheveri a károsodást (Pepó, 2011). A gyümölcskultúrák fagyási problémájának elkerülése érdekében kulcsfontosságú tényező a rügyek biokémiai változásainak megismerése a nyugalmi időszak során.

A különböző szövettájak fagytűrési képessége változó a növényen belül. A dió (*Juglans regia* L.) az egyik legfontosabb héjas terméső a világon széleskörű elterjedésével és változatosságával. A fagykár az egyik tényező, amely a legtöbb veszteséget tudja okozni a diótermesztésben (Xin és Browse, 2000; Sanghera et al., 2011).

A dió nagy fagytűrési képessége ellenére a kora tavaszi fagyok sérüléseket okozhatnak a fiatal részeken (Hemery et al., 2010; Poirier et al., 2010). Fady és munkatársainak (2003) vizsgálata alapán a kora tavaszi fagyok az apikális rügyek elfagyását, súlyosabb esetben a fiatal hajtásvégek elfagyását is eredményezhetik. Crepinsek és munkatársainak (2009) vizsgálatai megállapították, hogy hatással van a növekvő téli és tavaszi levegő hőmérséklet a rügypattanás időpontjára. Számos tanulmány készült klímaváltozás témakörében, úgymint a csökkenő termesztés Franciaországban (Améglio et al. 2004), a héjas terméséűek túlélése a csökkenő téli

hideghatás ellenére az Amerikai Egyesült Államok nyugati részein (Baldocchi és Wong 2008; Luedeling et al., 2009a) vagy a sokasodó tavaszi fagyok ellenére Délnyugat-Ázsia területein (Luedeling et al., 2009b). Szoros összefüggéseket lehet felfedezni a fagytűrés és a származás között (Guárdia et al., 2013).

A fagykár elkerülése érdekében a fajtákat olyan éghajlati körülmények közé érdemes telepíteni, ahol a rügyek és a vesszők érzékeny szakaszában a fagyhatás valószínűsége nagyon alacsony; vagyis amikor szinkronizmus van az éves ciklus és a kritikus éghajlati időszakok között. Egyrészt megfigyelték, hogy a télen elért maximális fagytűrés nem függ a környezeti feltételektől (Aitken et al., 1996; Morin et al., 2007). Másrészt a fagytűrés vagy az edzés sebessége szorosan kapcsolódik a hőmérsékleti változásokhoz ezekben az időszakokban (Pogosyan és Sakai, 1969; Charrier et al., 2011). A törzs és az ágak között a fiatal fákban megfigyelt fagytűrési értékek hasonlóak voltak kísérleti körülményeinkben. Az egyéves ágban különbségeket figyeltünk meg a szövetek között az akklimatizáció után. Így a kéreg és a kambium, amelyek a növekedési időszak során viszonylag érzékenyek, télen több xylem parenchymmát képesek megkeményíteni. A diófák (*Juglans regia* L.) ugyanolyan termikus körülmények között (beleértve az állandó enyhe hőmérsékletet is) eltérő szintű fagyállóságot mutathatnak (Charrier et al., 2013). A levél nélküli időszakot gyakran inaktívnak tekintik, bár a fáknak aktívan modulálniuk kell anyagcseréjüket a hideg akklimatizációs folyamatok révén, hogy megbirkózzanak a téli fagyhatásokkal (Charrier et al., 2018). A fagykár mértéke eltérő a különböző növényi szervek között (Mahmodzahed és Imani, 2011), a virágok a legérzékenyebb részek (Charrier et al., 2013). Bebizonyosodott, hogy a rügyek jobban ellenállnak az egyre csökkenő hőmérsékletnek a mélynyugalmi időszak során (Asworth és Wisniewski, 1991). A nyugalmi állapot olyan esemény, mely során az élettani tényezők gátolják a növekedést (Lang et al., 1987).

A nyugalmi időszak során a növényekben speciális mechanizmusok történnek, mint az anyagcsere és növekedésszabályozás változásai (szénhidrátok, fehérjék, lipidek, szöveti víz, antioxidáns enzimek, szerves savak, aminosavak, nukleinsavak. Ezen változások hatására kezdődik és fejeződik be a nyugalmi időszak (Westwood, 1993; Sung et al., 2003). Farokhzad és munkatársai (2018) néhány stresszenzim aktivitás változását vizsgálták a rügyekben, és megállapították, hogy a későn virágzó

genotípusokban nagyobb volt a kataláz és guaiacol perodixáz enzimaktivitása, valamint nézték az összpolifenol tartalmat, amelynél szintén kisebb értékeket mértek.

A fák egyidejűleg szintetizálják az oldódó vegyületeket a növekedési időszak során felhalmozódott tartalékokból (Sakai és Yoshida, 1968). Ezek a vegyületek több téren is védő szerepet játszanak: ozmózis (csökkenti a citoszol fagypontját), krio-védelem (a makromolekulák szolvatációs rétegének stabilizálása) a növekvő viszkozitás. Minden faj génkészlete számos variációt mutat, amelyek lehetővé teszik a túlélést a környezet bizonyos mértékű változásával szemben (Sakai és Larcher, 1987).

A fajta, a talaj és az éghajlati viszonyok is befolyásolják a dió táplálkozási összetételét és az abból eredő biológiai aktivitását (Figueroa et al., 2017). Tanulmányok kimutatták, hogy a dióban több polifenolos komponens is megtalálható (Christopoulos és Tsantili, 2012). Legtöbbjük hozzájárul a dió antioxidáns kapacitásához (Fukuda et al., 2004). Lotfi és munkatársai (2010) egyéves diólevél- és gyökér mintájában figyelték meg a peroxidáz izoenzimek (POX, POD, APX) aktivitásának emelkedését szárazság okozta stressz hatására. Az irodalomban a fák fagytűrési vizsgálata gyakran egyetlen szervre korlátozódik (rügyek, levelek, vesszők). A fagytűrést a szervek, szövetek fiziológiai és biokémiai változások függvényében kell/lehet jellemezni (Charrier et al., 2013).

Az egyes növényi részek fagytűrő képességének pontos megállapításához laboratóriumi módszerek szükségesek. A mesterséges fagyasztás után vizsgálva a szöveteket megállapítható, hogy az adott hőmérséklet milyen mértékben károsítja azokat. Ez alapján számítható ki az LT_{50}, vagyis a fagytűrési középérték. (Szalay, 2003). A fagytűrést több különböző időpontban kell vizsgálni a nyugalmi időszak alatt, hogy megfelelő képet kapjunk egy fajta fagytűréséről. A fagytűrés élettanilag és genetikailag rendkívül összetett jelenség, amely több egymástól független folyamat eredőjeként alakul ki. A télállóság vizsgálatához klímakamra használata javasolt. Mivel a rügyek fagyállósága a tél során változik, a beállított hőmérsékletnek is ehhez kell igazodnia. Minden vizsgálati időpontban több hőmérsékletet kell alkalmazni, ha lehetséges legalább három különbözőt. A lehűtés sebessége, és a kezelés időtartama is fontos. A hőmérsékletváltozás óránként 1-2 °C. A tapasztalatok szerint 3,5-4 óra szükséges a rügyek kritikus hőmérsékleten való kezeléshez. Több évnyi

kísérletsorozat eredményeként sikerült a módszert beállítani, ahol az óránkénti 2C-os lehűtési sebesség vállt be, mivel nem volt túl gyors a hőmérsékletcsökkénes, valamint a 4 órás kritikus hőmérsékleten tartás során a nagyobb mintaszám esetén is minden rügy kellőképpen áthűlt (Szalay et al., 2021).

Laboratóriumi kísérletek eredményeként több tényező hozható kapcsolatba a fagytűréssel. Bizonyítást nyert, hogy az abszcizinsav koncentráció egyenesen arányos a fagytűréssel, más kutatások kimutatták, hogy az antocianinok tartalma növeli a vesszők fagytűrését. A Genetika és Kertészeti Növénynemesítés Tanszéken folytatott többéves kutatások eredményei szerint a fagytűrés nem egyszerűen a cukorkoncentráció változásával hozható kapcsolatba, hanem az egyszerű cukrok arányainak változásaival. A fruktóz/szacharóz arány például jó információt nyújt a fajták fagytűréséről. A tél folyamán a rügyek cukortartalma és ezen belül főleg a szacharóz koncentráció folyamatosan csökken (Pedryc, 2003). Fás növényeknél a szénhidrát koncentráció emelkedése fokozta a fagytűrést (Flinn és Ashworth, 1995). Almánál a virágrügyek lehűtése növelte a cukor koncentrációt és javult fagytűrésük (Head, 1959). A vízoldható szénhidrátok magas koncentrációja a sejtplazma fagyáspontját csökkenti, ezért fagytűrésük növekszik (Sakai és Larcher, 1987). Amennyiben a megelőző év terméshozama alacsony volt, növekedett a virágrügyek szénhidrát- és tápelemtartalma (szorbitol, glükóz, keményítő, foszfor, nitrogén), így fagytűrőbbekké váltak (Khanizadeh et al., 1989).

Sokan próbálták biokémiai és fiziológiai változások nyomon követése révén a növények fagytűrését megállapítani (Guy, 1990). Számos összefüggést találtak a szövetek biokémiai összetétele és fagyérzékenysége között, ami arra utal, hogy több tényező együttesen határozza meg a szövetek fagyérzékenységét. Meghatározó a genotípus, a virágzási idő, a rügydifferenciálódás üteme. Az egyes generatív szervek sérülésének kritikus értékei fajonként, fajtánként, a szervek fenológiai stádiumától függően és termőhelyenként valamint fánként is változnak (Proebsting és Mills, 1978).

Andrews és munkatársai (1983) a *Prunus* fajok rügyeinek négy stádiumát állapítja meg a tavaszra való felkészülés szempontjából: az első a mélynyugalom, a második a kényszernyugalom, a harmadik a rügypattanástól a csészelevél megjelenéséig tartó időszak, végül a csészelevél megjelenését követő időszak, amikor a rügy fagyérzékennyé válik (Rodrigo, 2000). A virágrügyek nedvességtartalma a

fagytűrést negatív irányban befolyásolta őszibaracknál (Andrews et al., 1983), míg almánál a hatás pozitív irányú volt (Hamer, 1983). Kutatások bizonyították, hogy a gyümölcsfajták mélynyugalmi idő alatti fagyérzékenysége és a virágzáskori fagyérzékenysége között nincs összefüggés (Palonen és Buszard, 1997; Wisniewski et al., 1997).

3.8. Szabadgyökök

Miután a stresszélettani folyamatok a szervezetben megnövekedett szabadgyökökkel hozhatók összefüggésbe, ezért, ha röviden is, de érdemes néhány szót szólni az élő szervezetben jelen levő szabad gyökökről, azok keletkezéséről, felhalmozódásáról, az általuk okozott károkról és az ellenük való védelemről.

A szabadgyökök olyan reaktív oxigén-, vagy nitrogénközpontú molekulák, vagy molekularészletek, amelyek a legkülső elektronhéjúkon párosítatlan elektront tartalmaznak. A szabadgyökök párosítatlan elektronnal rendelkeznek, ezáltal reakciós képességűk magas, céljuk az elektronszerzés (Cadenas, 1989). A reakcióban a szabadgyök megsemmisül (átalakul), ugyanakkor abban a molekulában, amellyel reakcióba lépett, jelentős változást vagy károsodást hoz létre. Következményként szöveti károsodás következhet be (Lugasi és Blázovics, 2004). Természetes körülmények között a sejten belül lejátszódó anyagcserefolyamatokban keletkezhetnek és kell is, hogy keletkezzenek szabadgyökök. Bizonyos részüknek fontos szerepe van a szervezet normál működésének fenntartásában (Davies, 2000). A normális anyagcserefolyamatokban keletkezett és a különböző stresszhatásokra felszaporodó szabad gyökök, vagy velük azonos káros hatást kifejtő molekulák a következők lehetnek: szuperoxid gyök ($O_2^{\bullet}$), hidrogén-peroxid (H_2O_2), hidroxil gyök ($OH^{\bullet}$) és az oxigén nem teljes redukciói, illetve a gyökök fémekkel történő átalakulásai révén keletkező gyökök. A szabad gyökök károsíthatják a biomolekulákat, elsősorban a lipideket, lipidperoxidáció, de a fehérjéket és a szénhidrátokat is, majd a károsítás végén a DNS-t is, ami végül a sejtek halálához vezet (Cadenas, 1989; Djuric et al., 1998; Heinonen et al., 1998).

A szabad gyökök károsító hatásai nem csak a betegségekkel hozhatók összefüggésbe, de a mindennapos tevékenységeink során is fellelhetők, így találkozhatunk vele az avasodásakor, az élelmiszerek íz, illat és a szín stb. megváltozásakor is (Hedegűs és Stefnovitsné-Bányai, 2012).

3.8.1. Az oxidációval szembeni védelem elemei, antioxidánsok

Normál körülmények között az antioxidáns védekezőrendszer összehangolt működése védi a sejteket az aktív oxigénformák okozta károsodással szemben. Az antioxidáns védelmi rendszer lehet kismolekulás és enzimatikus. A védelemben spontán módon bekövetkező és enzim által katalizált folyamatok vesznek részt. Integrált védelmi rendszer biztosítja a sejtalkotó molekulák védelmét (Benzie, 2000).

Az antioxidánsok jelentős mértékben képesek csökkenteni vagy gátolni a reakcióban résztvevő szubsztrát oxidációját (Halliwell és Gutteridge, 1995). Az antioxidánsok közvetetten a gyökök kialakulását gátolják, vagy magukat a gyököket képesek megkötni, de a keletkező toxikus végtermékek semlegesítésében is részt vehetnek. Így a sejtek három fő csoportba sorolható védelemmel, antioxidánssal rendelkeznek. Elsődlegesek azok az antioxidánsok, amelyek az új szabadgyökök termelését megakadályozzák, vagy a sejtekre kevésbé káros termékekké alakítják át (pl.: szuperoxidizmutáz, kataláz, glutation-peroxidáz enzim). Másodlagos antioxidánsok azok a természetes antioxidánsok, amelyek a lipidperoxidáció egyes lépéseinek gátlásával rendelkeznek (pl.: E-vitamin, C-vitamin, ß- karotin, bilirubin stb.). A harmadlagos védelem pedig a károsodott termékek kiküszöbölésére, helyreállítására alakul ki (Hedegűs és Stefnovitsné-Bányai, 2012).

Az **enzimatikus védelmi rendszer** elemei közül a szuperoxid-dizmutázok a szuperoxid átalakításában vesznek részt ($2\ O_2^{\bullet} + 2\ H^+ \rightarrow O_2 + H_2O_2$), majd a további átalakításokat a kataláz és a peroxidázok ($2H_2O_2 \rightarrow 2\ H_2O + O_2$), aszkorbinsav peroxidáz, glutation peroxidáz, glutation reduktáz stb. végzik. Ezek az enzimek a különböző stresszhatásokra enzimaktivitásbeli változásokkal reagálnak, így felhasználhatók ezek az enzimatikus mérések a stresszfolyamatok jellemzésére (Pereira et al., 2000), de a rezisztencia kialakulásában is részt vesznek (Böddi, 2002) (Lásd: a értekezésben előforduló peroxidáz enzim mérése).

A **nem enzimatikus védelmi rendszer** elemei között a kismolekulás védelmi rendszer elemeit érdemes megemlíteni. Ide tartoznak pl. a C-vitamin, az E-vitamin, a karotinoidok és talán a legnagyobb létszámmal rendelkező polifenolos vegyületek. Miután a peroxidáz enzim aktivitásában bekövetkező változások mellett a polifenoltartalmat vizsgálták ezért erről a vegyületcsoportról néhány szót érdemes ejteni (Hedegűs és Stefnovitsné-Bányai, 2012).

3.8.2. Polifenolok

A polifenolos komponensek a növényi metabolizmus másodlagos termékei, melyek megvédik a növényt a különböző stresszhatásoktól. A flavonoidok és nem flavonoid jellegű polifenolok számos jelentős kémiai és biológiai hatásért felelősek: antioxidánsok, kelátképzők, elektrofil reagensek befogására képesek, C-, és E-vitamin analógként viselkednek. A biológiailag aktív nem tápanyagok heterogén csoportjába tartoznak a fenolos vegyületek (Shahidi és Naczk, 1995). A polifenoloknak az emberi szervezetre gyakorolt számos jótékony hatása van. Csökkentik a szív- és érrendszeri betegségek és a rákos megbetegedések kockázatát, valamint antiallergén és gyulladáscsökkentő hatással is rendelkeznek (Rice-Evans et al., 1997; Manach et al., 2004). Több fenolos komponens és polifenol erősebb antioxidáns, mint a vitamin antioxidánsok (Vinson et al., 2001). Jelentős eltérés mutatkozik a feldolgozott és a friss gyümölcs polifenol tartalmának tekintetében (Pospišil et al., 2002). A héjban lényegesen magasabb a koncentráció az almatermésű és csonthéjas gyümölcsöknél, mint a húsban (Borchers és Hyson, 2003). A polifenolok mennyisége és milyensége függ a fajtától a környezeti hatásoktól, tápanyagutánpótlástól, termesztéstechnológiától, érettségi állapottól és a post-harvest technológiáktól is (Jeffery et al., 2003).

A polifenolos vegyületek, melyek erős antioxidáns tulajdonsággal rendelkeznek, így szolgálva a növényi szervezetben a stressz elleni védelmet (Haminiuk et al., 2012; Manach et al., 2004; Michalak, 2006; Grace és Logan, 2000, Treutter, 2001). A polifenolok elsődleges szerepe a védekezés a különböző biotikus és abiotikus stresszhatások ellen. Kiemelt szerepük van a növényt ért valamilyen támadás kezelésében, mint az oxidatív stressz, az UV-sugárzás okozta stressz, a növényi kártevők támadása (Fereidoon és Shahidi 2004, de Rijke et al., 2006; Zimmermann és Galensa, 2007; Robards és Antolovich, 1997, Valls et al., 2009). A különböző stresszhatások következményeként a növények gyakran hasonló szignálutakat aktiválnak, hasonló sejtválaszt adnak, ilyenek lehetnek például a stresszfehérjék termelése vagy antioxidáns hatású molekulák túltermelése (Cushman és Bohnert, 2000; Zhu et al., 1997). Az abiotikus stresszhatások, mint a szárazság vagy a meleg olyan aktív oxigénformák keletkezését vonja maguk után, mint az $O_2^{\bullet}$, H_2O_2- és az OH^- (Moran et al.,1994; Price et al., 1989).

Amaral munkatársaival együtt (2004) öt hónapon keresztül vizsgálta a dió levelének polifenol tartalmát, és arra a következtetésre jutott, hogy májusban vagy júliusban érdemes gyűjteni azokat, mivel ekkor található meg bennük, a legnagyobb mennyiségben. Más kutatásokban a hajtások (Cosmulescu és Trandafir, 2011a; Solar et al., 2006a), a zöldburok (Cosmulescu és Trandafir, 2011b), valamint a magbél (Bujdosó et al., 2014) fenolos vegyületeit vizsgálták. A vizsgálatok eredményei alapján magasabb volt a polifenol tartalom a magyar nemesítésű fajtákban, mint a vizsgálatban szereplő külföldi fajtákban.

Fukuda és munkatársai (2006) a dió termésében 37 különböző fenolos komponenst mutatott ki, ebből 13-at magában a zöldburokban: ferulasav, szinapinsav, klorogénsav, kávésav, galluszsav, protokatekin, ellágsav, szirngsav, vanilinsav, (+)-katekin, (-)-epikatekin, miricentin és juglon. A *Juglans* fajok jellemző összetevője a juglon (5-hydroxy-1,4-naphthoquinone), mely legnagyobb mennyiségben a zöldburokban található meg (Bruneton, 1993; Wichtl és Anton, 1999). Bujdosó és munkatársai (2014) hazai nemesítésű fajták, fajtajelöltek, valamint külföldi fajták vizsgálatai során a legnagyobb arányban vanilinsavat detektáltak a magbélből. A polifenol koncentráció továbbá függ a dió fejlődési stádiumától (Solar et al. 2006). Jakopic és munkatársainak (2009) vizsgálatai során az összes polifenol tartalmat spektrofotométerrel vizsgálták, amely során kiderült, hogy magasabb értékeket kaptak metanol oldószer esetében, szemben az etanollal.

A dió rendelkezik a legnagyobb antioxidáns kapacitással a héjasok között (Arranz et al., 2008). Pereira csapata (2007) szintén vizsgálta a levelek polifenol tartalmát, az eredményekből következik az antioxidáns tulajdonság. Ezt a vizsgálatot később tovább folytatva leírta, hogy az antioxidáns tulajdonság antimikrobiális hatást is kifejt a bakteriális fertőzésekkel szemben (Pereira et al., 2008).

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

A 2013 szeptemberétől 2017 januárjáig – több növényi rész felhasználásával és különböző vizsgálatokkal – folytatott kísérleteink igen szerteágazóak voltak. A fagytűréssel kapcsolatos vizsgálatokat, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Karának Gyümölcstermő Növények Tanszékén, az analitikai vizsgálatokat az Élelmiszertudományi Karon az Alkalmazott Kémia Tanszéken végeztük.

A magyar fajtaszortimentben megtalálható fajták és külföldi fajták bevonásával végeztük a kísérleteket. Nehézséget jelentett, hogy minden évben ugyanazon fajták beszerzésére nem kerülhetett sor, ezért vannak eltérések a vizsgált fajták között. A fajták neveit bizonyos esetekben rövidítve jelöljük (6. táblázat). A későbbiekben a könnyebb eligazodás miatt most ezen fejezet elején szeretnénk egy táblázatban összefoglalni a kísérleteinket (7. táblázat).

6. táblázat A fajták neveinek rövidítése, valamint a vizsgálatban elfoglalt helyük

Fajtanév	**Rövidített jelölés**	**Előkísérlet 2015. (POD) (Lengyeltóti)**	**Kísérletek 2016. (POD,TPC,FRAP) (Érd- Elvira major)**
’Alsószentiváni 117’	A117	*	*
’Bonifác’	A117-15	*	
’Alsószentiváni kései’	A117-31	*	*
’Milotai 10’	M10	*	*
’Milotai bőtermő’	M10-9	*	
’Milotai kései’	M10-14	*	
’Milotai intenzív’	M10-37	*	*
’Tiszacsécsi 83’	T83	*	
’Chandler’	CH	*	
’Fernor’	FE	*	
’Pedro’	P	*	*

A 7. táblázatban úgy próbáltuk szemléltetni az elvégzett munkát, hogy az évek és hónapok megjelenítése utáni oszlopban a vizsgált fajták szerepelnek és az egyes vastag vonalig ugyanarról a kísérlet típusról van szó. A fajták vizsgálatát képező növényi részek és a vizsgálatok a következő oszlopokban szerepelnek. Az első oszlopban A-tól I-ig jelöltük a vizsgálatokat, hogy majd az eredmények fejezetben könnyebben áttekinthetőek legyenek.

7. táblázat A vizsgált fajták gyűjtési ideje, a vizsgált növényi részek és a vizsgálati módszerek (2013 október- 2017. január; Lengyeltóti, Érd- Elvira major)

VIZSGÁLAT JELÖLÉSE AZ EREDMÉNYEK FEJEZETBEN	VIZSGÁLAT IDŐPONTJA, NÖVÉNY ANYAG SZÁRMAZÁSA	FAJTÁK	NÖVÉNYI RÉSZ	MÉRÉS
A	2013. október- 2014. március; Lengyeltóti	Milotai 10, Milotai bőtermő, Milotai kései, Milotai intenzív, Tiszacsécsi 83, Alsószentiváni 117, Alsószentiváni kései, Pedro, Fernor	vessző	fagytűrés
B	2014. október- 2015. március; Lengyeltóti	Milotai 10, Milotai bőtermő, Milotai kései, Milotai intenzív, Tiszacsécsi 83, Alsószentiváni 117, Alsószentiváni kései, Pedro	vessző	fagytűrés
C	2015. október- 2016. március; Lengyeltóti	Milotai 10, Milotai bőtermő, Milotai kései, Milotai intenzív, Tiszacsécsi 83, Alsószentiváni 117, Alsószentiváni kései, Pedro	vessző	fagytűrés
D	2015. február- március; Lengyeltóti	Milotai 10, Milotai bőtermő, Milotai kései, Milotai intenzív, Tiszacsécsi 83, Alsószentiváni 117, Alsószentiváni kései, Pedro, Fernor	rügy	POD
E	2015. szeptember; Érd- Elvira major	Milotai 10, Milotai bőtermő, Milotai kései, Milotai intenzív, Tiszacsécsi 83, Alsószentiváni 117, Alsószentiváni kései, Bonifác, Pedro, Fernor	levél	POD
F	2015. szeptember- 2016. március; Érd, Elvira major		háncs	POD
G	2015. szeptember- 2016. március; Érd- Elvira major	Milotai 10, Milotai intenzív, Alsószentiváni 117, Alsószentiváni kései, Pedro	rügy	POD
H	2016. május; Érd- Elvira major	Milotai 10, Milotai intenzív, Alsószentiváni 117, Alsószentiváni kései, Pedro	levél, F, K, A	POD
I	2016. november- 2017. január; Érd, Elvira- major	Milotai 10, Milotai intenzív, Alsószentiváni 117, Alsószentiváni kései, Pedro	vessző, F, K, A	TPC, FRAP

4.1. A vizsgálatok helyszíne

A ***fagytűrési vizsgálatokat*** (**A, B, C**) 2013-tól 2016-ig a téli hónapokban végeztük a következő bontásban:2013 októberétől 2014 márciusáig, 2014 októberétől 2015 márciusáig és 2015 októberétől 2016 márciusáig. Az egyéves vesszőket a Lengyeltótiban található Juglans Hungária Kft ültetvényeiből gyűjtöttük. A legnagyobb területen ültetett fajták a 'Milotai 10', 'Alsószentiváni 117' és a 'Tiszacsécsi 83', melyek több mint 100 hektráron találhatóak meg. A fent maradó közel 40 hektáron a többi fajta lett telepítve. A 100 hektáros „Öreg" elnevezésű ültetvény még az 1970-es években lett telepítve, a fentmaradó területekre a 2000-es évek elején telepítették el a fákat. A sor és tőtáv területeként eltér, így bizonyos területen 7 x 6,6 méter, míg más területen 9 x 13 méter vagy 11 x 11 méter a sor és tőtáv. A területekre öntözési rendszer telepítve lett, de jellemzően nem öntözik.

A termőhelyen a napfényes órák száma évenként átlagosan 2098 óra, az évi középhőmérséklet 11,2 °C, az átlagos évi csapadékmennyiség 550 mm volt. A talaj csernozjom (kötöttség K_A=38; pH=8,0 összes mésztartalom a felső 60 cm-es talajrétegben 5 %, humusztartalom 1,9 %). Tengerszint feletti magassága 150-160 m (Bujdosó et al., 2019).

Az ültetvényekből minden hónap első hetében begyűjtöttünk a felsorolt fajtákból, fajtánként a 10-12 db 50 cm hosszúságú egyéves vesszőt. A Lengyeltótiban megszedett mintákat a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Karának, Gyümölcstermő Növények Tanszékén fagytűrési vizsgálatoknak vetettük alá.

Az ***analitikai vizsgálathoz*** (**D, E, F, G, H, I**) használt növényanyagot a Magyar Agrár és- Élettudományi Egyetem, Gyümölcstermesztési Kutatóközpontjának Érd, Elvira majori kísérleti állomásán lévő törzsültetvény fáiról gyűjtöttük. Az Érd, Elvira-majori telephelyről gyűjtött mintákat a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Alkalmazott Kémia tanszékén biokémia módszerek segítségével vizsgáltuk.

Az ültetvény központi törzsültetvényként létesült. A központi törzsültetvényt minden év tavaszán, rügyfakadás előtt intenzív metszésben részesítettük, az optimális vegetatív hajtások képződése érdekében. Az itt előállított hajtásokat, illetve vesszőket szemzéshez, illetve téli kézben oltáshoz használjuk fel. Az ültetvény 7 x 5 méteres sor és tőtávolságú. A sorközök füvesítettek, a facsíkokban pedig vegyszeres gyomirtással

tartják megfelelő kultúr állapotban a területet. A vírusmentes központi törzsültetvényt a törvényi előírásoknak megfelelően szigorú növényvédelemben részesítik a bakteriális, a gombás és a vírusvektorok által okozott kártételek elkerülése érdekében.

A termőhelyen a napfényes órák száma évenként átlagosan 2079 óra, az évi középhőmérséklet 11,4 °C, a tenyészidőszak (IV-IX) átlaghőmérséklete 18,4 °C, tavaszi (március – május) minimum hőmérsékleti értékek átlaga 5,3 °C, tavaszi fagyos napok száma évente 4,8 nap, az átlagos évi csapadékmennyiség 552 mm volt a vizsgált időszakban. A talaj mészlepedékes csernozjom (kötöttség K_A=40; pH=8,0 összes mésztartalom a felső 60 cm-es talajrétegben 5 %, humusztartalom 2,3-2,5 %) (Makay, 2013).

A talajrétegek vályog fizikai féleségűek, a talajképző réteg mindenütt lösz. A humuszos rétegek szerkezete jó, morzsás, tömörödöttség egyik talajrétegben sem észlelhető a felvételezés időpontjában, a talajok gyengén lúgos kémhatásúak. Egyes talajrétegek tartalmaznak vízoldható sókat, de a növények számára károsnak ítélt 0,15 %-ot nem közelíti meg a káros sók mennyisége (8. táblázat).

8. táblázat Az Érd, Elvira-majori talaj paraméterei (Makay, 2013)

Gen. szint	**Mélység cm**	**pH**	**Összes só**	**$CaCO_3$**	**KA**	**Humusz %**
a	0-45	7,98	0,06	4,1	38	2,30
b	45-68	8,06	0,05	25,0	42	1,21
c	68-90	8,11	0,02	30,0	41	0,73
d	90-150	8,29	0,05	36,0	34	0,67

4.2. A vizsgált fajták

A vizsgálatban szereplő fajták legfontosabb fajtatulajdonságait szintén táblázatos formában közlöm (9. táblázat). Zöld háttérrel szerepelnek azok a fajták, amelyek nem csak a fagytűrésivizsgálatokban, de az összes analitikai vizsgálatban is szerepeltek.

9. táblázat A vizsgálatban szereplő fajták fő jellemzői

	'Alsószentiváni 117' **(A117)**	**'Bonifác'** **(A117-15)**	**'Alsószentiváni kései'** **(A117-31)**	**'Milotai 10'** **(M10)**	**'Milotai bőtermő'** **(M10-9)**	**'Milotai kései'** **(M10-14)**	**'Milotai intenzív'** **(M10-37)**	**'Tiszacsécsi 83'** **(T83)**	**'Chandler'** **(Ch)**	**'Fernor'** **(F)**	**'Pedro'** **(P)**
Fakadás	kései	nagyon kései	nagyon kései	középidejű	középkései	kései	középkései	kései	korai	kései	középkései
Virágzás	hím előző	nőt előző	hím előző	hím előző	hím előző	nőt előző	nőt előző	hím előző	nőt előző	nőt előző	hím előző
Oldalrügyön termés	20%	50%	25-35%	20-25%	50-60%	55-60%	60%	25-35%	85-90%	90%	60-80%
Érési idő	szept. 2-3. dekád	október 2. dekád	okt. 1. dekád	szept. 3. dekád	október 1-2. dekád	okt. 2. dekád	okt. 2. dekád	szept. vége-okt. eleje	október eleje	okt. 1. dekád	szept. vége-okt. eleje
Termés méret	33-36 mm	32- 34 mm	32-35 mm	33-35 mm	33-37 mm	32-34 mm	32-34 mm	32-34 mm	34- 36 mm	30-32 mm	30-32 mm
Héj felszín	kissé barázdált	dudoros	finoman barázdált	sima	sima	sima	sima	kissé barázdált	sima	kissé rücskös	sima
Magbélszín	sárgásbarna	világos	világos	világossárga	sárga	sárga	világossárga	sárgásbarna	nagyon világos	nagyon világos	sárga
Béltartalom	48-51%	48%	48%	47-52%	56%	42-45%	57%	48-52%	47- 52%	42-47%	45%
Növekedési erély	erős	közepesnél gyengébb	erős	középerős	közepesnél erősebb	középerős	középerős	közepesnél erősebb	középerős	középerős	gyenge
Betegség ellenállóság	nem érzékeny	közepesen érzékeny	ellenálló	nem érzékeny	közepesen érzékeny	közepesen érzékeny	nagyon érzékeny	nem érzékeny	nagyon érzékeny	kissé érzékeny	nem érzékeny

Mind a fagytűrési, mind az analitikai kísérletekben is vizsgált fajták részletesebb leírására a következőkben kerül sor.

'Alsószentiváni 117' (A117)

Mezőföldön, Alsószentiván határában szelektálták. Kései fakadási idejű, a diófakadás 18-20. napján hajtanak ki rügyei. Hímet előző virágzású, de évjáratonként különböző mértékben részleges homogámia is létrejöhet. Kölcsönösen együtt virágzik az 'Alsószentiváni 118', 'Pedro' és 'Tiszacsécsi 2' nőt előző fajtákkal. Szeptember 2-3. dekádjában érik. Korán fordul termőre (Szentiványi, 2001). Termése középnagy, 11-14 g tömegű, 33-36 mm átmérőjű. Héja kissé barázdált, félkemény, világosbarna színű. Magbele sárgásbarna színű, jóízű, 48-51%-os béltartalommal rendelkezik. Fája erős növekedési erélyű, fiatal korban felfelétörő, később szétterülővé válik. Az ország valamennyi termőtájában termeszthető. A termőhelyi tényezőkkel szemben kevésbé igényes, szárazságtűrő, talajban nem válogat (Szentiványi és Kállayné, 2006).

'Alsószentiváni kései' (A117-31)

'Alsószentiváni 117' x 'Pedro' keresztezésével állították elő. Nagyon kései fakadású, a diókihajtás 28-30. napján hajtanak ki rügyei. Kései virágzású, hímet előző, a Bonifác fajtával kölcsönösen jól termékenyítik egymást. Október első dekádjában érik. Korán termőre fordul és bőven terem. Nővirágainak 25-35 %-át oldalrügyein fejleszti. Termése középnagy, 11-14 g tömegű, 32-35 mm átmérőjű. Alakja hosszúkás, oldalról lapított gömb. Héja tetszetős világos színű, finoman barázdált felületű. Magbele világos színű. Magbél aránya 48%. Az áruértéket jellemző tulajdonságok közül világos héjszínével és bélszínével emelkedik ki. Könnyen törhető és tisztítható. Fája erős növekedésű, határozott központi tengellyel rendelkező ritka, feltörekvő koronát nevel. Az eddigi vizsgálatok alapján viszonylag ellenállónak mutatkozott a diót károsító főbb kórokozókkal szemben (Szentiványi és Kállayné, 2006).

'Milotai 10' (M10)

A Tisza felső folyásvidékén Milota határában szelektálták. Fakadása középidejű, a diófakadás 5-7. napján, elhúzódóan fakadnak rügyei, ezért érzékeny a késő tavaszi fagyokra. Hímet előző virágzású, de az önmegporzáshoz részleges homogámiával is rendelkezik. Kölcsönösen együtt virágzik az 'Alsószentiváni 118', 'Pedro' és 'Tiszacsécsi 2' nő előző fajtákkal. Szeptember 3. dekádjában érik. Korán

fordul termőre, terméseinek 20-25 %-át hozza oldalrügyein. Termése középnagy, 13-17 g tömegű, 33-35 mm átmérőjű. Szabályos gömb alakú. Héja vékony, sima, egészen finom, hálózatos felületű, sárgásbarna színű. Magbele világossárga színű, jóízű. Fája közepes növekedési erélyű, fiatal korban felfelétörő, később félgömb alakúvá válik. Termőhelyre igényes fajta, középidejű fakadása miatt fagytól védett termőhelyre telepíthető, kedveli a középkötött, mélyrétegű, tápanyagban gazdag talajokat (Szentiványi és Kállayné 2006).

'Milotai intenzív'(M10-37)

'Milotai 10' x 'Pedro' keresztezésével állították elő. Fakadási ideje középkései, a diófakadás 18-20. napján hajt ki. Nőt előző virágzású, a Milotai bőtermő fajtával kölcsönösen, jól termékenyítik egymást (Szentiványi, 1998). Október második dekádjában érik. Korán termőre fordul és bőven terem. Nővirágainak 60 %-a található az oldalrügyeken. Termése középnagy, 11-12 g tömegű, 32-34 mm átmérőjű. Héja világos színű, sima ún. hálós felületű, tetszetős. Magbele világossárga színű. Könnyen törhető és tisztítható. Fája fiatal korban középerős növekedési erélyű, később középesnél gyengébb növekedésűvé válik. Gömb alakú, sűrű koronát nevel. Nagyon érzékeny a dió xantomonászos (*Xanthomonas arboricola pv. juglandis*) betegségére. Az Országos Fajtaminősítő Bizottság 2005-ben államilag minősített fajtának fogadta el (Harsányi- Mádyné, 2005; Szentiványi és Kállayné 2006).

'Pedro' (P)

Payne x Conway Mayette keresztezésével állították elő Kaliforniában. Fakadási ideje középkései, a diófakadás 15-17. napján várható. Virágzása hímet előző, virágzási ideje elhúzódó. Érési ideje szeptember vége - október eleje. Rendkívül bőtermő, termővesszőinek 60-80 %-án az oldalrügyeken is nővirág található. Gyümölcse középnagy, 10-12 g tömegű, 30-32 mm átmérőjű. Gyümölcshéja világos színű, elvékonyodó. Magbele kevésbé telt. Fája gyenge növekedési erélyű, kis méretű, szétterülő, ritka ágrendszerű koronát nevel (Szentiványi és Kállayné 2006).

4.3. A vizsgálatok menete

4.3.1. A mesterséges fagyasztásos vizsgálat (A, B, C)

4.3.1.1. Mintavétel

A vizsgálatokat 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 nyugalmi időszakában végeztük. A vizsgálatban szereplő fajták a magyar nemesítésű 'Milotai 10', 'Milotai bőtermő', 'Milotai kései', 'Milotai intenzív, 'Alsószentiváni 117', 'Alsószentiváni kései, 'Tiszacsécsi 83', és a kaliforniai nemesítésű 'Pedro' voltak. A vizsgálathoz egy éves vesszőket használtunk. A vesszőket októbertől márciusig, minden hónapban egyszer gyűjtöttük be. Fajtánként 10-12 darab vesszőt-szedtünk, attól függően, hogy milyen vastagságúak és mennyi vegyes rügy volt rajtuk.

A laboratóriumi vizsgálatokat a Magyar Élettudományi és Agár Egyetem Kertészettudományi Karának Gyümölcstermő Növények Tanszékén végeztük.

A ***mesterséges fagyasztásos vizsgálatok*** a Tanszéken található Rumed 3301 (Rubarth Apparate GmbH) típusú klímakamrában történtek (11. ábra). Minden vizsgálati időpontban három fagyasztási hőmérsékletet alkalmaztunk (melléklet 1.- 3. táblázat), melyet a külső hőmérséklet alakulásához viszonyítva választottuk ki. Míg októberben a legalacsonyabb választott hőmérséklet a -16°C volt, addig januárban a -26°C-os kezelési hőmérséklet igazodott az edződési folyamaton átesett rügyek vizsgálati hőmérsékletének. A lehűtés és a felmelegítés sebessége óránként 2°C volt. A választott kezelési hőmérsékleten 4 órán keresztül voltak a vesszők.

11. ábra A Rumed 3301 (Rubarth Apparate GmbH) típusú klímakamra (Fotó: Szügyiné)

4.3.2. A biokémiai vizsgálatok

A kiválasztott vizsgálati időpontok felölelik az egész vegetációs időszakot, tavaszt, őszt és a telet, ami talán a legjobban kapcsolódik a fagytűréshez. A növényi részek között ***rügyek, háncsok, vesszők és levelek*** is szerepeltek, melyeknek szintén mindnek kapcsolata lehet a fagytűréshez. Az átfogó analitikai vizsgálatok megkezdése előtt egy előkísérletet végeztünk, arra irányulóan, hogy a peroxidáz stresszenzim aktivitásának mérésekor kapott eredmények összefüggésbe hozhatóak-e az egyes fajták fagytűrésével. Ennek alapján kívántuk eldönteni, hogy a további vizsgálataink milyen irányt vegyenek.

Az ***előkísérletnek*** (D) szánt analitikai vizsgálatok 2015-ben kezdődtek, amelyben a magyar fajták, a 'Milotai 10, 'Milotai bőtermő', 'Milotai kései', 'Milotai intenzív', 'Alsószentiváni 117', 'Alsószentiváni kései', 'Bonifác', 'Tiszcsécsi 83', valamit a 'Pedro' a 'Chandler' és a 'Fernor' fajta szerepelt. Ezen fajták peroxidáz enzimaktivitási vizsgálatai elvégzésére kerültek mindegyik fajtával, annak eldöntésére, hogy egyáltalán helyesek-e az elképzeléseink (lásd eredmények), az enzimaktivitási vizsgálatok alkalmasak-e a további vizsgálatokra, valamint a módszer alkalmas-e a fajták közötti különbségek kimutatására. A kísérletek zömét adó ***vizsgált fajták*** a következők voltak, lásd 6. táblázat.

4.3.2.1. Rügy minta előkészítése (D, G)

A vesszőkön levő rügyeket levágtuk, folyékony nitrogénnel eldörzsöltem, majd 250 mg/ml-es kivonatot készítettem belőlük, Na-foszfát pH = 7,0 puffer segítségével, kvarc homokkal eldörzsölve. Centrifugálás után (1300 ford/perc, 20 perc, 10 ^{o}C) a tiszta felülúszót az analitikai mérésekig -32^{o}C-on tároltuk.

4.3.2.2. Háncs és levélminta előkészítése (E, F)

A vesszőkön a háncs eltávolítása után az előzőekben leírtak szerint jártam el és 300 mg/ml-es kivonatot készítettem) az előbbiekhez hasonlóan kezelve, ez érvényes a 2015. szeptemberi levelekre is.

4.3.2.3. Levélminta előkészítése (H)

A kihajtási időszakban, május hónapban három alkalommal (2016. 05.02., 05.12., 05.20.) végeztük el a mintavételt és a mérések a felső (legfiatalabb) levelekből, három ismétlésben történtek. A frissen szedett levélmintákat folyékony nitrogénnel

eldörzsöltem és 300 mg/ml-es oldatot készítettem, Na-foszfát pH = 7,0 puffer segítségével, kvarc homokkal eldörzsölve. Centrifugálás után (1300 ford/perc, 20 perc, 10 ^{o}C) kapott tiszta felülúszókat az analitikai mérésekig -32^{o}C-on tároltuk.

4.3.2.4. Vessző minta előkészítése (I)

A vizsgálatokat 2016 november, december és 2017 január hónapjában végeztük el. Az egy éves vesszőket gyűjtöttünk be. A vesszőt három részre osztottunk. Ez alapján felső (F), középső (K) és alsó (A) részeket különböztettem meg. Az egyes ízközöket külön-külön lereszeltem, 300 mg/10 ml 20 %-os alkoholos oldatot készítettünk belőlük, majd 1 órára UH-os víz fürdőbe helyeztem a jobb kioldás miatt. Centrifugálás után (1300 ford/perc, 20 perc, 10 ^{o}C) a tiszta felülúszókat az analitikai mérésig -32^{o}C-on tároltuk.

4.4. Vizsgálati módszerek

4.4.1. Fagytűrés kiértékelése (A, B, C)

A kezelés lejárta után 12 óráig szobahőmérsékleten hagytuk a mintákat, majd felvágtuk a rügyeket, s a szövetek elszíneződése alapján meghatároztuk a fagykár mértékét. A zöld szöveteket épnek, az elbarnult szöveteket károsodottnak tekintettük. Vizsgálatom célja az LT_{50} értékek (fagytűrési középértékek) meghatározása volt, vagyis azt a hőmérsékleti értéket kerestem, amely 50% fagykárosodást okoz az adott időpontban a fajtáknál. A statisztikai értékeléshez az IBM PASW Statistic 18 statisztikai programcsomagot használtuk. Az LT_{50} értékeket lineáris regresszióval határoztuk meg. A több éves adatok értékelését Anova modell segítségével végeztük, az átlagok összehasonlítását, és a szignifikáns differenciákat Duncan teszt segítségével határoztuk meg 95%-os megbízhatósági szinten. Az adatok statisztikai értékeléséhez SPSS 25.0 (Chicago USA) programcsomagot használtunk.

4.5. Analitikai vizsgálati módszerek

Miután a kiválasztott mérésekkel az volt a cél, hogy ezek minél egyszerűbbek, olcsók, könnyen kivitelezhetők legyenek, ezért minden méréshez spektrofotometriás módszereket választottunk.

4.5.1. Peroxidáz enzim aktivitás mérése (D, E, F, G)

A levelek peroxidáz enzim aktivitást H_2O_2 szubsztrát és ortodianizidin kromogén reagens jelenlétében (ε= 11.3), λ = 460 nm-en spektrofotometriás úton

(Hitachi U- 2880A) határoztuk meg (Shannon et al., 1966). Az eredményeket U/g nedves tömegben adtam meg.

4.5.2. Az összes polifenoltartalom meghatározása (H, I)

A vesszők felső nóduszának polifenoltartalmát Singleton és Rossi (1965) módszerével Folin-Ciocalteu (Merck 109001), reagenssel spektrofotometriás úton λ = 760 nm-en határoztam meg, galluszsavból készült kalibrációs görbe segítségével. Az eredményeket µM galluszsav ekvivalens (GS)/g nedves tömegben adtam meg.

4.5.3. Az antioxidáns kapacitás meghatározása (H, I)

Az antioxidáns kapacitást FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Capacity) módszerrel, Benzie és Strain (1966) leírása alapján aszkorbinsavból készült kalibrációs görbe segítségével spektrofotometriás úton λ = 593 nm-en határoztam meg. Az eredményeket µM aszkorbinsav ekvivalens (AS)/g nedves tömegben adtam meg.

4.5.4. Statisztikai kiértékelés

Az adatok statisztikai értékelését Anova modell segítségével végeztük, az átlagok összehasonlítását, és a szignifikáns differenciákat Duncan teszt segítségével határoztuk meg 95%-os megbízhatósági szinten. Az adatok statisztikai értékeléséhez SPSS 25.0 (Chicago USA) programcsomagot használtunk.

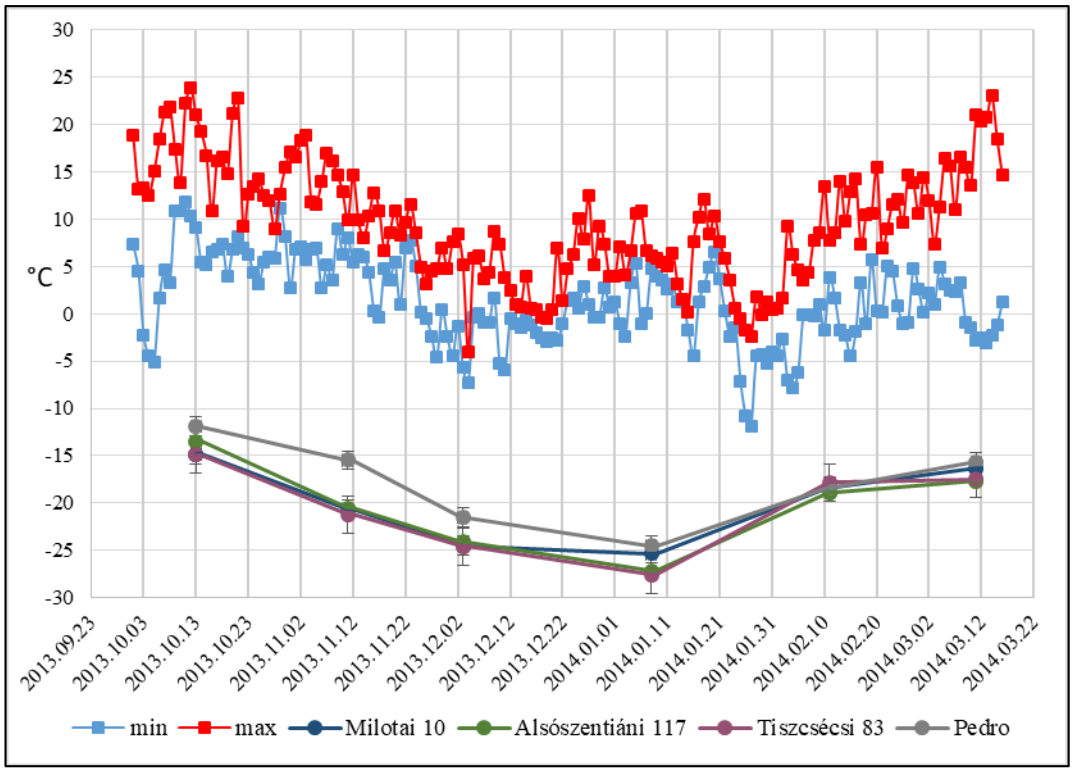
5. EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGBESZÉLÉSE

Az eredmények tárgyalása során azt a sorrendet követem, amelyet az összefoglaló táblázatban (7. táblázat) tüntettem fel. Ez igazodik az időrendűséghez, és megítélésünk szerint ezzel lehet a legjobban bemutatni az eredményeimet. Először a fagytűréssel kapcsolatos mérési eredmények bemutatására kerül sor, majd az e mögött meghúzódó élettani folyamatok, biokémiai markerekkel történő kiértékelése szerepel.

5.1. Fagytűrési vizsgálatok

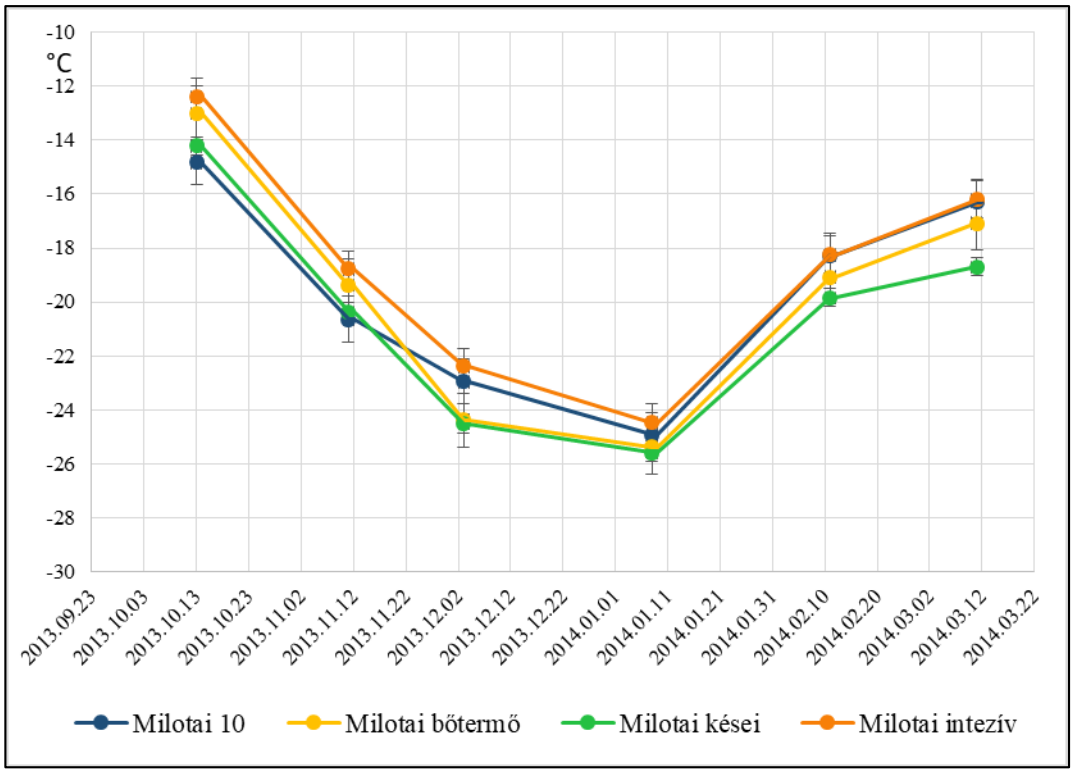
5.1.1. 'A' vizsgálat, 2013. október- 2014. március, mesterséges fagyasztási kísérlet, Lengyeltóti minta

A mesterséges fagyasztásos vizsgálatokat 2013/2014 nyugalmi időszakban kezdtük. Vizsgálataink standard fajtái a magyarországi tájszelekcióból származó államilag elismert 'Milotai 10', 'Alsószentiváni 117' és 'Tiszacsécsi 83' fajta, valamint a kaliforniai nemesítésű 'Pedro'. Első éves vizsgálataink eredményeként kapott fagytűrési középértékeket a napi minimum és maximum hőmérséklet ábrázolásával mutatjuk be. A legnagyobb fagytűrőképeséggel a 'Tiszacsécsi 83' rendelkezik, melynek a hőmérsékleti adatok szerinti leghidegebb januári hónapban -27,6 °C volt az LT_{50} értéke. Ebben a hónapban a 'Milotai 10' LT_{50} értéke – 25,4°C, az 'Alsószentiváni 117' LT_{50} értéke -27,2°C, a 'Pedro' LT_{50} értéke -24,52 °C volt. A nyugalmi időszak alatt a 'Milotai 10' és a 'Pedro' fagyérzékenynek, míg az 'Alsószentiváni 117' és a 'Tiszacsécsi 83' fagytűrőnek mondható a diófajták összehasonlítása során, melyet az 12. ábrán láthatunk.



12. ábra 2013/2014 nyugalmi időszakában a standard diófajták és a ’Pedro’ vegyesrügyeinek fagytűrési középértéke (LT_{50}) (Lengyeltóti)

Vizsgálatainkba bevontuk a ’Milotai 10’ fajta és a ’Pedro’ keresztezéséből származó államilag elismert ’Milotai bőtermő’, ’Milotai kései’, ’Milotai intenzív’ fajtákat is. Célunk volt, hogy a ’Milotai 10’ és hibridjei között megfigyeljük a fagytűrési eltéréseket. Eredményeink alapján a következő sorrendet állítottuk fel. Legfagytűrőbb a ’Milotai kései’, utána a ’Milotai bőtermő’, ’Milotai 10’ és a legfagyérzékenyebb a ’Milotai intenzív’ voltak (13. ábra)



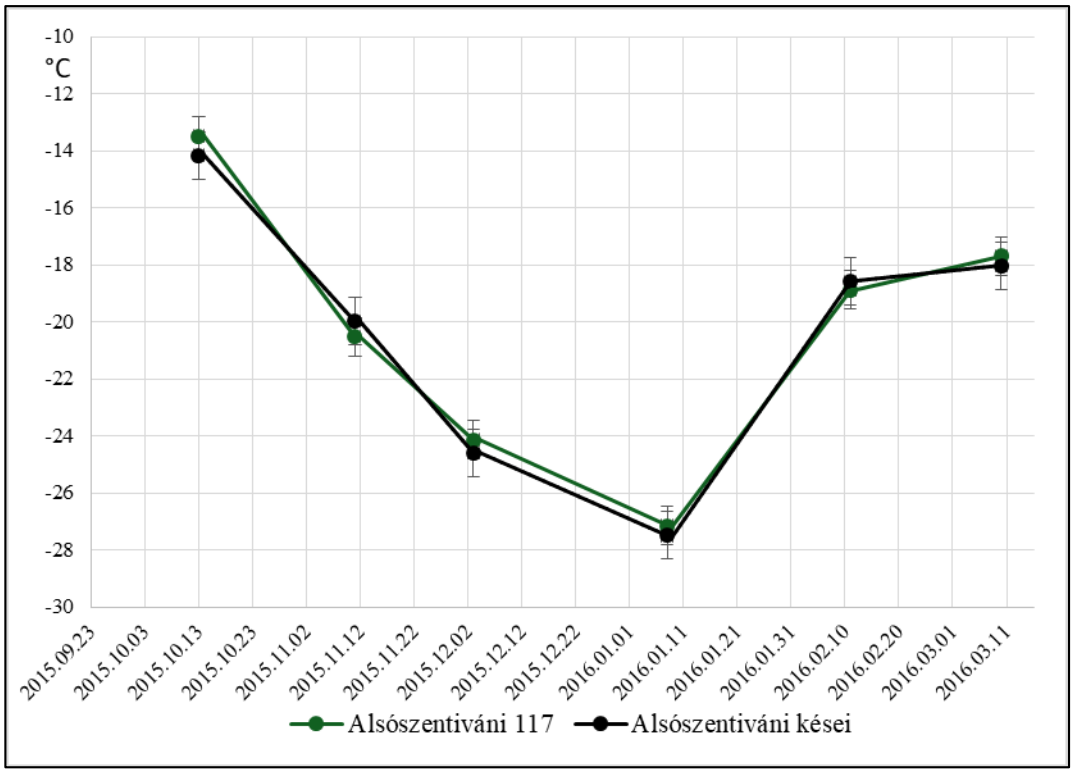
13. ábra 2013/2014 nyugalmi időszakában a ’Milotai 10’ és hibrid fajtáinak vegyesrügyein mért fagytűrési középértékei (LT_{50}) (Lengyeltóti)

Márciusra a fagytűrési középértékeket (LT_{50}) az 10. táblázatban foglaltam össze fagytűrési sorrendben.

10. táblázat A ’Milotai 10’ és hibridjeinek LT_{50} értekei 2014. márciusában (Lengyeltóti)

Fajta	**’Milotai kései’**	**’Milotai bőtermő’**	**’Milotai 10’**	**’Milotai intenzív’**
LT_{50} érték	-18,7 °C	-17,08 °C	-16,3 °C	-16,2 °C

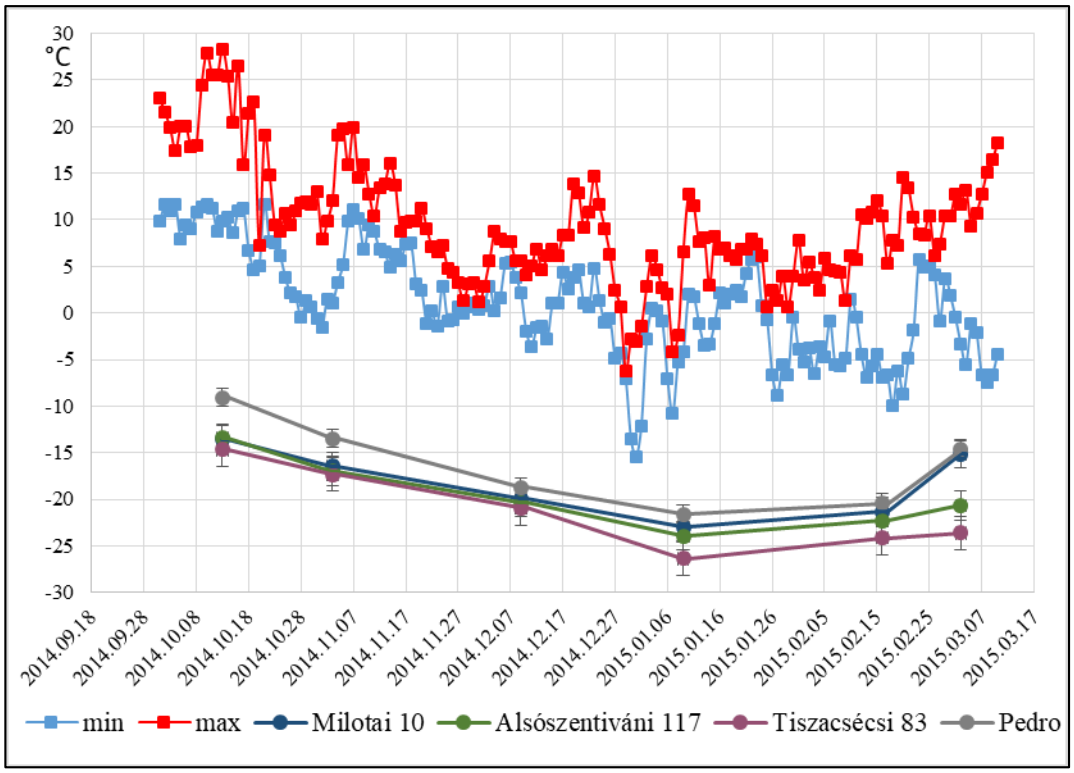
Mesterséges fagyasztásos vizsgálataink során az ’Alsószentiváni 117’ és a ’Pedro’ keresztezéséből származó ’Alsószentiváni kései’ fajta fagytűrését is összehasonlítottuk a 2013/2014 nyugalmi időszakában. Közel azonos LT_{50} értékeket mértünk, a nyugalmi időszak elején. Januárban és márciusban is az ’Alsószentiváni kései’ fajta LT_{50} értékei lettek alacsonyabbak (14. ábra).



14. ábra Az 'Alsószentiváni 117' és az 'Alsószentiváni kései' fajta fagytűrési középértékeinek (LT_{50}) alakulása a 2013/2014 nyugalmi időszakban (Lengyeltóti)

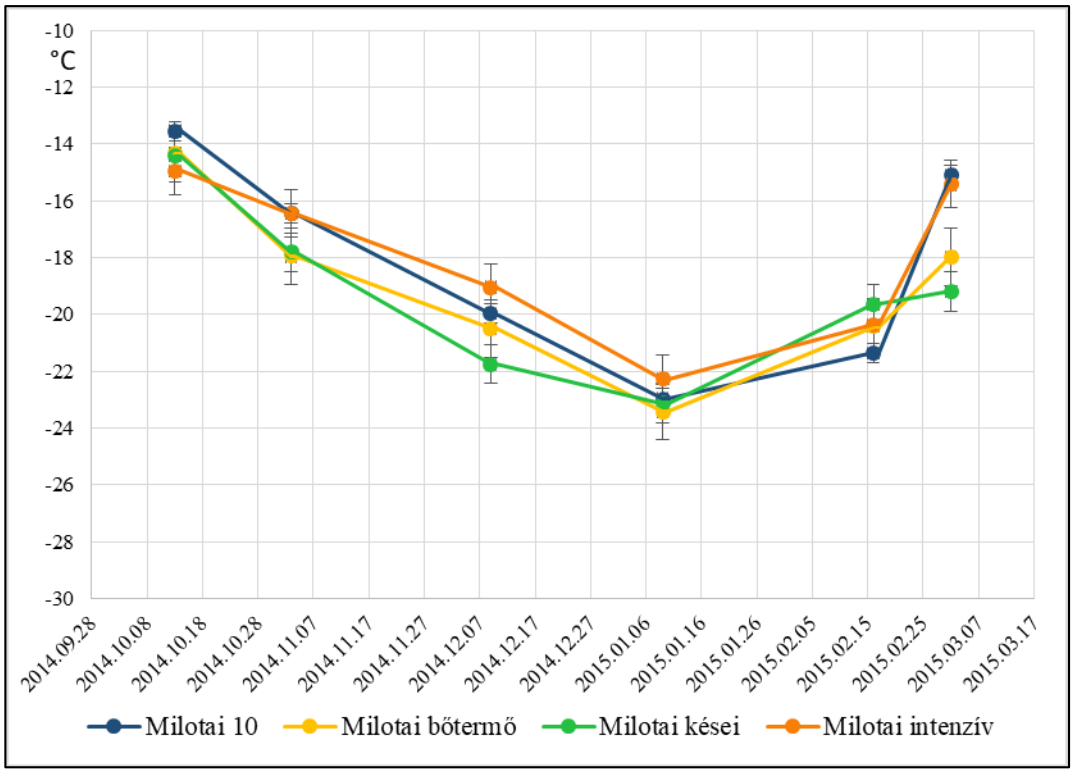
5.1.2. 'B' vizsgálat, 2014. október- 2015. március, mesterséges fagyasztási kísérlet, Lengyeltóti minta

2014/2015 nyugalmi időszakában a vizsgált fajták eredményei közül összehasonlításképp újra megnéztük a standard fajtákat és a kaliforniai nemesítésű 'Pedro' fajta fagytűrési középértékei (LT_{50}) közötti összefüggéseket, szintén a napi minimum és maximum hőmérsékletek tükrében (15. ábra). Megfigyelhető, hogy januárban a legalacsonyabb LT_{50} értéke a 'Tiszacsécsi 83' fajtának volt (-26,38 °C), ami legalább 2 °C volt alacsonyabb az 'Alsószentiváni 117' fajtához és legalább 3 °C volt alacsonyabb a 'Milotai 10' fajtához képest. A 'Pedro' mutatkozott a vizsgálati időszakban a legfagyérzékenyebbnek. Eltérése a 'Tiszacsécsi 83' fajtához képest a már említett januári hónapban legalább + 5 °C volt. A márciusi felmelegedés során megfigyelhető a vizsgált fajták esetében az emelkedő LT_{50} érték (15. ábra).



15. ábra A vizsgált standard fajták és a ’Pedro’ fagytűrési középértékének (LT_{50}) alakulása 2014/2015 nyugalmi időszakában (Lengyeltóti)

Ebben a vizsgált időszakban is vizsgálat alá vontuk a ’Milotai 10’ fajtát, valamint hibridjeit. Hasonló eredményeket kaptunk, mint az előző tél során. Kisebb eltérés azonban tapasztalható volt, mivel decemberben még a ’Milotai kései’ fajtánál mértük a legkisebb LT_{50} értéket, azonban januárban már a ’Milotai bőtermő’ mutatkozott a legfagytűrőbbnek (16. ábra).



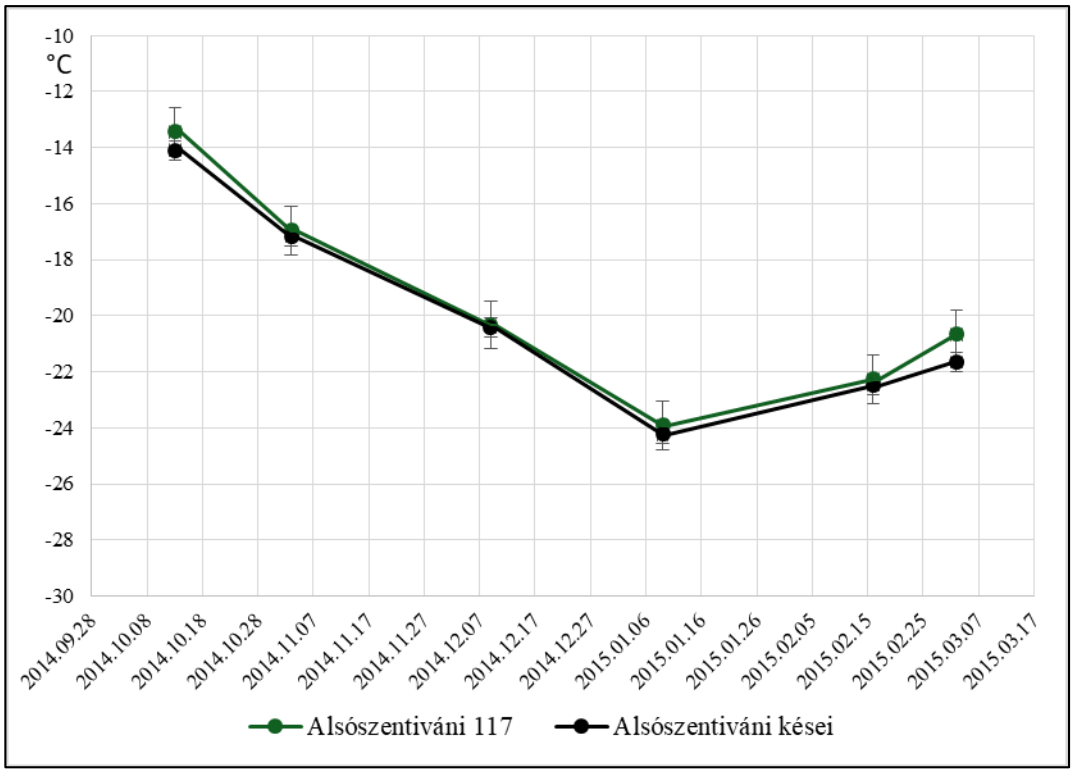
16. ábra 2014/2015 nyugalmi időszakában a ’Milotai 10’ és hibrid fajtáinak vegyesrügyein mért fagytűrési középértékek (LT_{50}) (Lengyeltóti)

Márciusra azonban az előző évben tapasztalt fagyérzékenységi sorrendet lehetett megfigyelni (11. táblázat).

11. táblázat A ’Milotai 10’ és hibridjeinek LT_{50} értekei 2015. márciusában (Lengyeltóti)

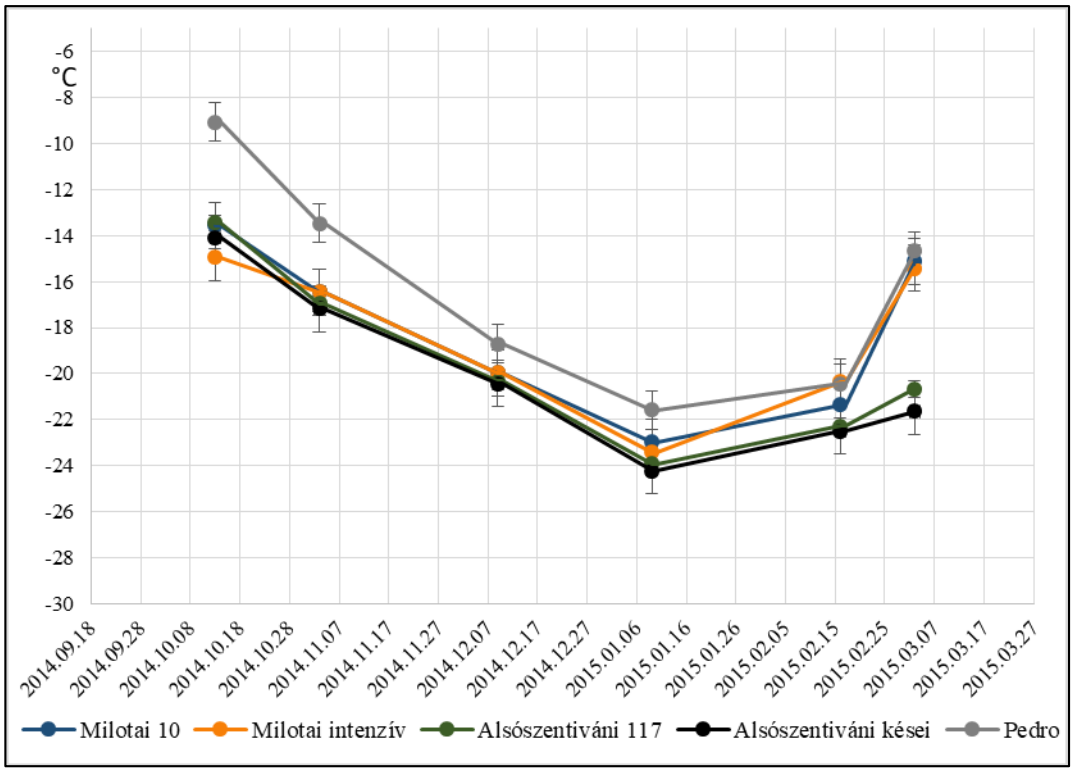
Fajta	**’Milotai kései’**	**’Milotai bőtermő’**	**’Milotai 10’**	**’Milotai intenzív’**
LT_{50} érték	-19,19°C	-17,97°C	-15,42°C	-15,11°C

2014/2015 nyugalmi időszakában az ’Alsószentiváni 117’, valamint az ’Alsószentiváni kései’ fajta fagytűrését ismét megvizsgáltuk és összehasonlítottuk. Eredményeink az előző évhez hasonlóan alakultak (17. ábra).



17. ábra Az ’Alsószentiváni 117’ és az ’Alsószentiváni kései’ fajta fagytűrési középértékeinek (LT_{50}) alakulása a 2014/2015 nyugalmi időszakban (Lengyeltóti)

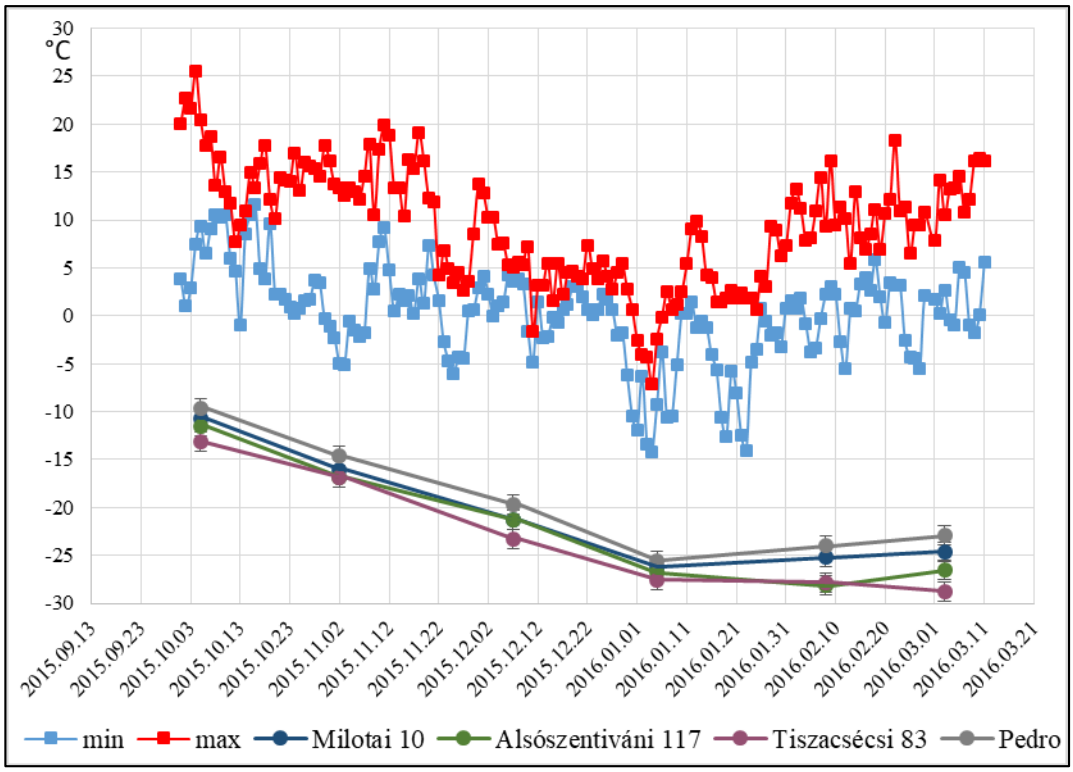
Két év eredményei alapján kiemeltük 5 fajta fagytűrési középértékeit. A kiemelés alapja az volt, hogy maradjon a vizsgálatban nagy arányban termesztett fagyérzékeny és fagytűrő fajta, ezek voltak a ’Milotai 10’ és az ’Alsószentiváni 117’, valamint választottunk melléjük egy fagyérzékeny hibridet, a ’Milotai intenzívet’ valamint egy fagytűrő hibridet, az ’Alsószentiáni kései’ fajtát. Továbbá kiemeltük melléjük a ’Pedro’ fajtát, mint külföldi fajtát, és mint a keresztezés során felhasznált apa szülőt. A 18. ábra alapján látható, hogy a legmagasabb LT_{50} értékkel végig a ’Pedro’ fajta rendelkezett. Fagyérzékenységi sorrendben a ’Milotai intenzív’, aztán a ’Milotai 10’ következett. Az ’Alsószentiváni 117’ alacsonyabb értékeket mutatott a fent említett fajtáknál, és a legfagytűrőbbnek az ’Alsószentiváni kései’ bizonyult.



18. ábra 2014/2015 téli időszakában a ’Milotai 10’, ’Milotai intenzív’, Alsószentiváni 117’, ’Alsószentiváni kései’ és a ’Pedro’ fagytűrési középértékei (LT_{50}) (Lengyeltóti)

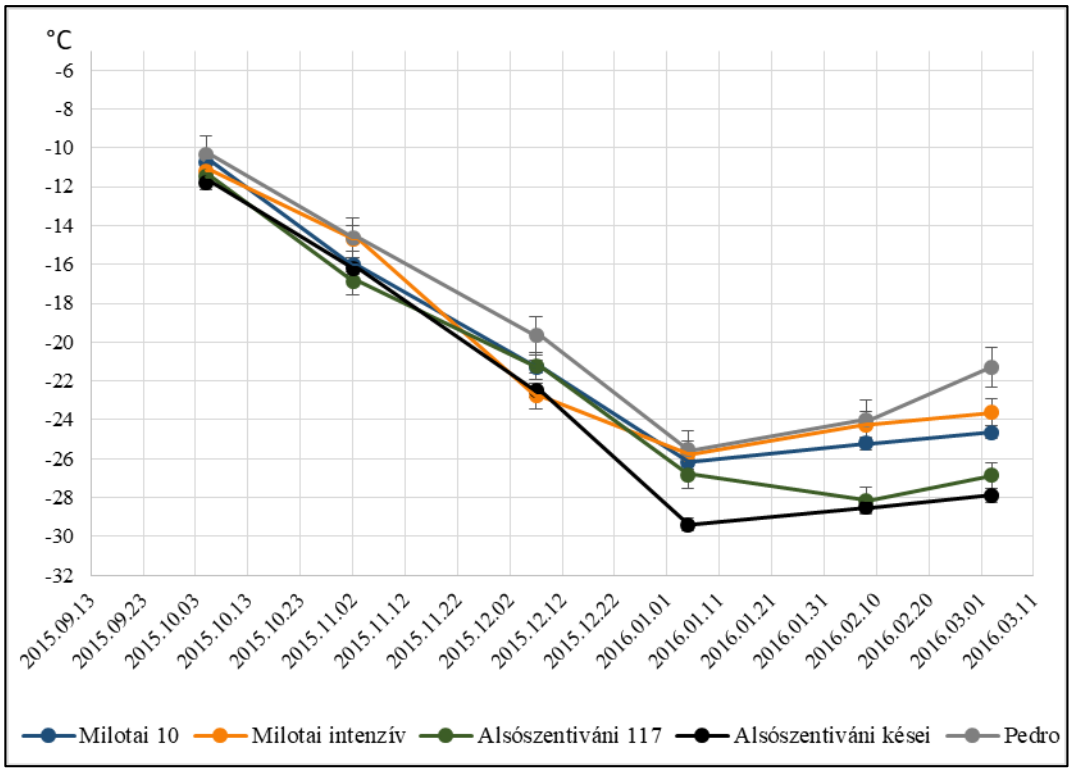
5.1.3. ’C’ vizsgálat, 2015. október - 2016. március, mesterséges fagyasztási kísérlet, Lengyeltóti minta

2015/2016 téli időszakában a standard fajták és a ’Pedro’ mesterséges fagyasztásos kísérlete alapján megállapítottuk, hogy a legnagyobb fagytűréssel a ’Tiszacsécsi 83’ rendelkezett a ’Pedro’ pedig a legalacsonyabbal, az egész vizsgálati szezon alatt. Minden fajta esetében elmondható, hogy ebben az évben mértük a legalacsonyabb fagytűrési középértékeket, mivel három éves vizsgálati időszakban ezen a januáron volt a leghidegebb a külső hőmérséklet. Ebből is kitűnik, hogy a fajták fagytűrése követi a külső hőmérséklet csökkenést egy bizonyos hőmérsékleti tartományon belül. A ’Milotai 10 ’ és az ’Alsószentiváni 117’ között február és március folyamán fagytűrésük között jelentős 2-3 °C eltérést mértük a két fajta között (19. ábra).



19. ábra. A vizsgált standard fajták és a ’Pedro’ fagytűrési középértékének (LT_{50}) alakulása 2015/2016 nyugalmi időszakában (Lengyeltóti)

A két standard, két hibridfajta és ’Pedro’ 2015/2016 téli időszak alatti vizsgálata során ismét a ’Pedro’ fajta volt a legfagyérzékenyebb. A 20. ábrán látható, hogy az ’Alsószentiváni kései’ fajta a vizsgálati szezon végéig nagy fagytűréssel rendelkezik, márciusi LT_{50} értéke -27,89 °C. Ehhez az értékhez képest viszonyítva a ’Pedro’ fagytűrési középértéke -22,94 °C.

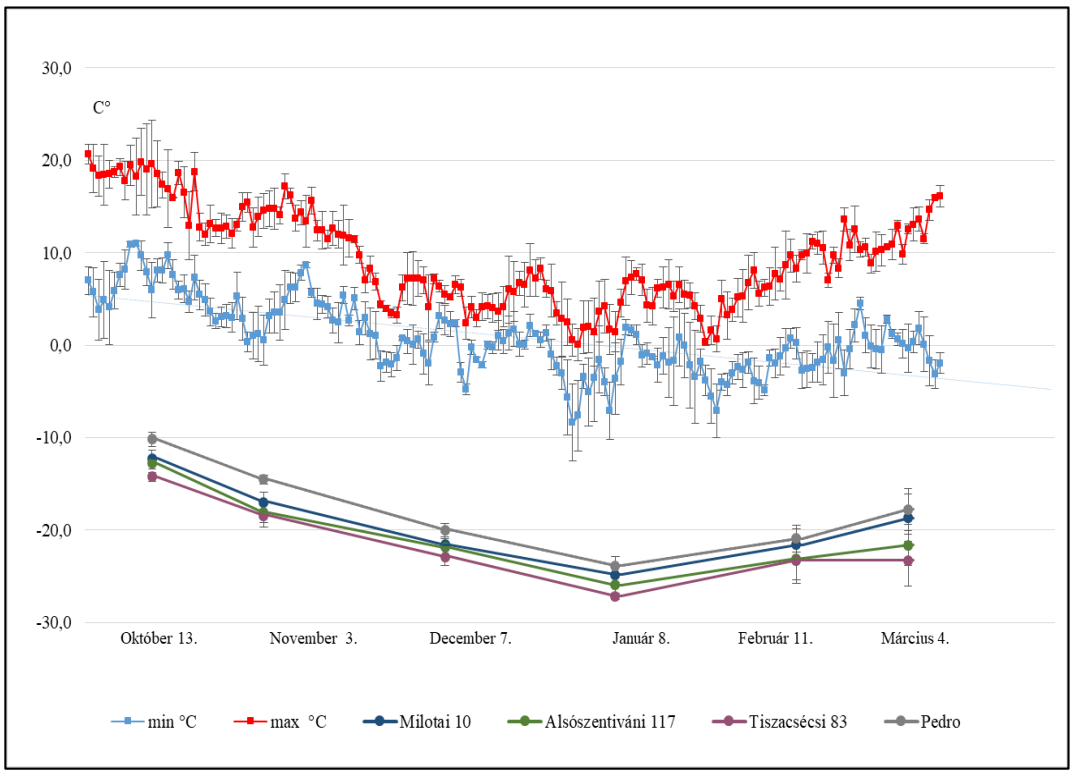


20. ábra 2015/2016 téli időszakában a 'Milotai 10', 'Milotai intenzív', 'Alsószentiváni 117', 'Alsószentiváni kései' és a 'Pedro' fagytűrési középértékei (LT_{50}) (Lengyeltóti)

5.1.4. A mesterséges fagyasztási kísérletek három vizsgálati időpontjának összehasonlítása (A, B, C), valamint a fajták fagytűrésének értékelése

A statisztikai elemzés a három évjárat eredményei között nem mutatott ki szignifikáns különbségeket. A vizsgálati évek kísérleti eredményeit átlagoltuk, és az átlagok, valamint a szórásértékek alapján értékeltük a vegyesrügyek fagyállóságának dinamikáját és a fajták közötti különbségeket. A vegyesrügyek fagyállósága a tél első felében fokozatosan alakult ki. Az edződési folyamat már jóval az első mintavételezési időpont előtt megkezdődött, hiszen október közepén már rendre -10˚C alatti LT_{50} értékeket határoztunk meg. Az edződés (hardening) kezdeti szakasza még abban az időszakban volt, amikor a külső hőmérsékletek jóval fagypont felett voltak. Amikor a tartós fagyok bekövetkeztek, a vegyesrügyek LT_{50} értékei egyes fajtáknál már megközelítették a -20˚C-os értéket. Az edződési folyamat januárig tartott, minden évjáratban a januári mintavételezési időpontban voltak a legalacsonyabbak az LT_{50} értékek. Ezután következett a reedződés (dehardening) szakasza, amikor a vegyesrügyek fagytűrése fokozatosan lecsökkent, a külső hőmérséklet fokozatos

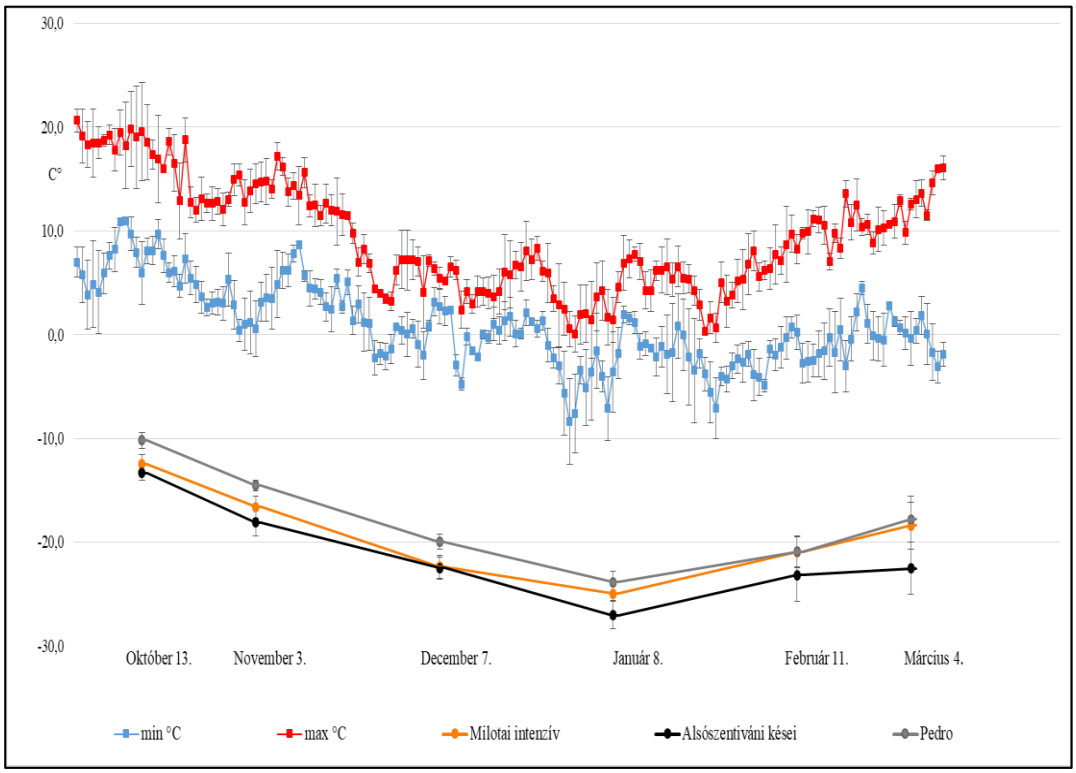
emelkedésével párhuzamosan. A 21. ábrán a három standardfajta és a ’Pedro’ fagytűrése látható a három vizsgálati évben. A három év átlagában a ’Pedro’ fajta a legfagyérzékenyebb ebben az összehasonlításban. A legfagytűrőbb a ’Tiszacsécsi 83’. A ’Tiszacsécsi 83’ fajtánál az októberi vizsgálati hónapban átlagosan 4 fokkal alacsonyabb LT_{50} értéket mértünk a fagyérzékeny ’Pedro’ fajtához viszonyítva. A januári hónap átlagában 3 °C, a márciusi hónapban átlagosan 5 °C eltérést tapasztaltunk a két fent említett fajta között. A fajták maximális fagytűrése januári hónapra alakult ki, ezután folyamatosan csökkent és egyre emelkedő LT_{50} értékeket mértünk. A ’Milotai 10’ fagytűrése közelebb állt a ’Pedro’ fagytűréséhez, az ’Alsószentiváni 117’ pedig közel azonos fagytűrésű volt, mint a ’Tiszacsécsi 83’ fajta.



21. ábra A standardfajták és a ’Pedro’ fajta vegyesrügyeinek fagytűrési középértékei a három évjárat átlagában (átlag és szórás értékek), valamint a napi maximum és minimum hőmérsékletek három éves átlagai és szórás értékei

Eredményeink közül kiemeljük a ’Milotai intenzív’, a ’Alsószentiváni kései’ és a ’Pedro’ fajta fagytűrésének összehasonlítását (22. ábra). A két kiválaszott fajta keresztezéses nemesítésből származó hibrid, ahol az apai szülő a ’Pedro’. Az eredmények alapján a ’Milotai intenzív’ fagytűrése hasonlóan alakult, mint az apai szülőé. Az első ábrán bemutatott anyai szülő a ’Milotai 10’ értékeihez viszonyítva

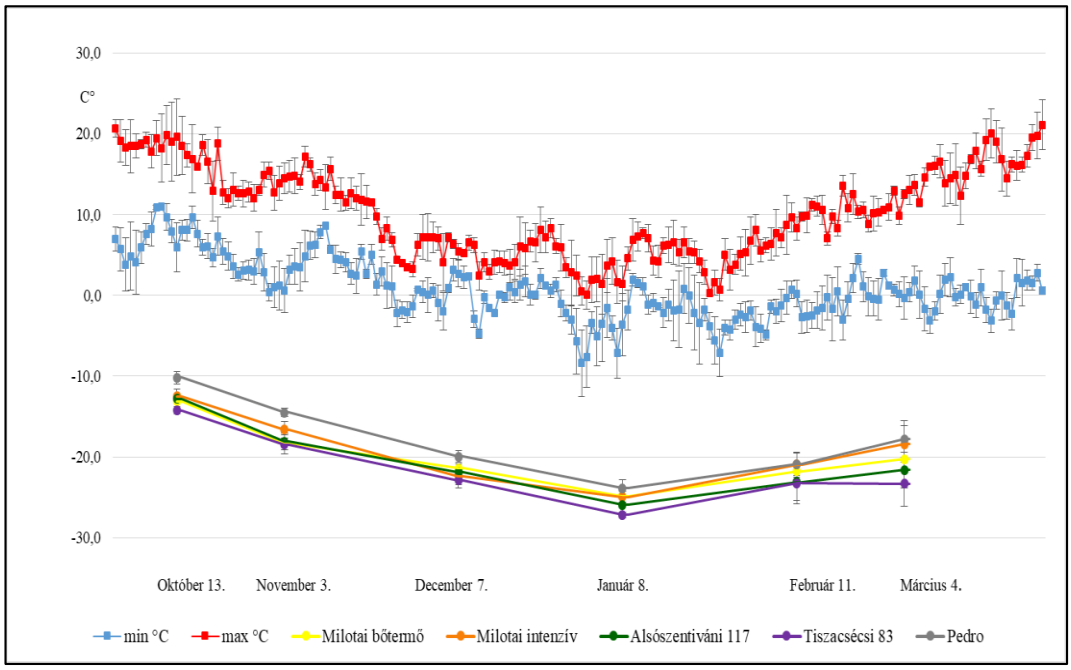
azonban érzékenyebbnek bizonyult. Az ’Alsószentiváni kései’ esetében jelentős eltérések mutatkoztak, főként a januári, februári és márciusi eredményeknél. Január folyamán átlagosan 2-3 °C -al alacsonyabb hőmérsékletet viseltek el a fajta vegyesrügyei, mint az ábrán szereplő másik két fajta vegyesrügyei. Február és március hónapban a különbség tovább növekedett, már 4-5 fokos eltérést is mérünk. Az LT_{50} értékek lassabb emelkedését a fajta későbbi fakadási ideje magyarázza.



22. ábra Az ’Alsószentiváni kései’, a ’Milotai intenzív’ és a ’Pedro’ vegyesrügyeinek fagytűrési középértékei a három évjárat átlagában (átlag és szórás értékek), valamint a napi maximum és minimum hőmérsékletek három éves átlagai és szórás értékei

Ismerve a fajták nővirágzásának idejét, a középkései virágzási csoportba tartozó fajtákat hasonlítottuk össze. Ebbe a csoportba tartozik a vizsgálatainkban szereplő fajták jelentős része. Ezek a fajták a ’Milotai bőtermő’, a ’Milotai intenzív’, az ’Alsószentiváni 117’, a ’Tiszacsécsi 83’ és a ’Pedro’ fajta (23. ábra). Feltételezhető, hogy az azonos virágzási idejű fajták közel azonos fagytűrésűek. Ezt a feltételezést várhatóan a márciusi kihajtás előtti eredmények esetében kellene tapasztalnunk. Ezzel ellentétben azonban a fajták eredményei jól elkülöníthetően eltérnek egymástól. Ez azt mutatja, hogy a fakadási időn kívül más genetikai tulajdonságok is meghatározzák egy fajta télállóságát. A januári leghidegebb hónapban is a ’Pedro’ fajta LT_{50} értékei a

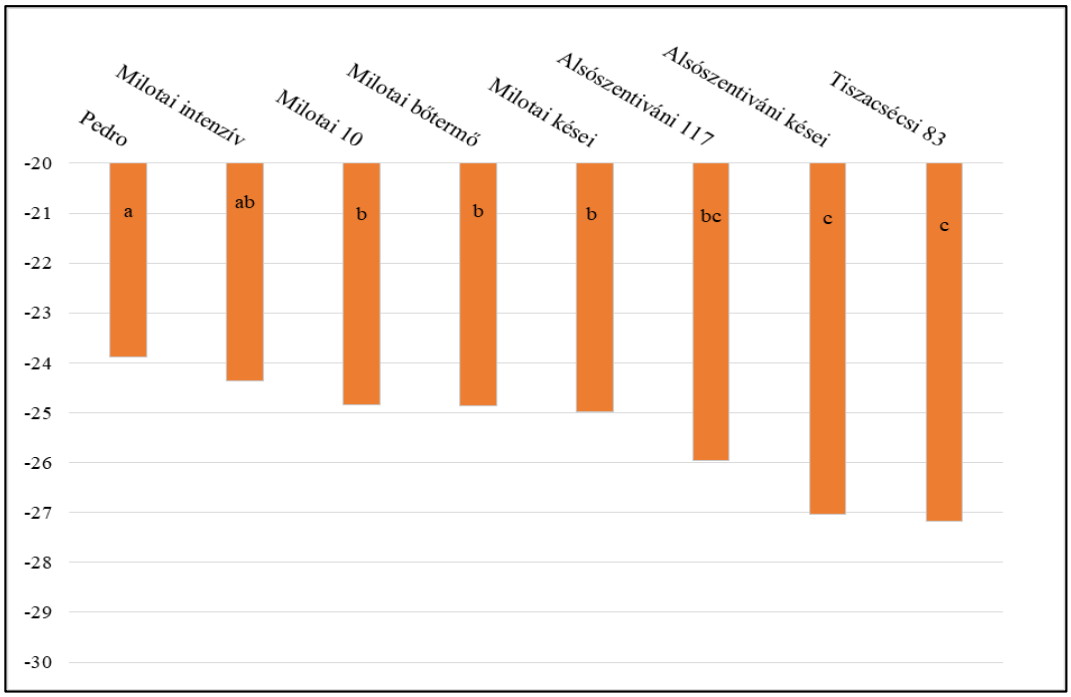
legmagasabbak. Ehhez a fajtához leginkább a ’Milotai intenzív’ fajta fagytűrése állt közel. A ’Milotai bőtermő’ már alacsonyabb hőmérsékletet is elviselt a nyugalmi időszak során, mint az előbb említett két fajta. Az ’Alsószentiváni 117’ és a ’Tiszacsécsi 83’ a hibrid fajtákhoz képest is fagytűrőnek mutatkoztak.



23. ábra Az azonos virágzási idő csoportba tartozó fajták vegyesrügyeink fagytűrési középértékei a három évjárat átlagában (átlag és szórás értékek), valamint a napi maximum és minimum hőmérsékletek három éves átlagai és szórás értékei

Mind a három téli nyugalmi időszakban januárban voltak a legfagytűrőbbek a vizsgált fajták vegyesrügyei. Mivel az egyes fajták LT_{50} értékei nem különböztek szignifikánsan az évek között, arra következtetünk, hogy elérték a genetikailag lehetséges maximális fagyállóságukat, bár ennek megnyugtató bizonyításához további évek vizsgálatai szükségesek. A vegyesrügyek téli fagyállóságának fajták közötti különbségeit a januári vizsgálati eredmények alapján elemezzük.

A hároméves kísérletsorozat eredményei alapján fagyérzékenységi sorrendet állítottunk fel a vizsgált fajták között, a januári vizsgálati eredmények felhasználásával (24. ábra). Három homogén csoport különíthető el. A ’Pedro’, ’Milotai intenzív’ fajta fagyérzékenynek, a ’Milotai kései’, ’Milotai 10’, ’Milotai bőtermő’, közepesen fagytűrőnek, az ’Alsószentiváni 117’, ’Alsószentiváni kései’ és ’Tiszacsécsi 83’ fajta pedig fagytűrőnek minősül ebben az összehasonlításban.



24. ábra A vizsgálatban szereplő fajták vegyesrügyeinek LT_{50} értékei szerinti fagytűrési sorrend (legérzekenyebbtől a legfagytűrőbbig) (Lengyeltóti)

5.2. Biokémiai vizsgálatok eredményei

Miután a mérések több éven keresztül, több növényi részből történtek, ezért az eredményeket időrendben mutatjuk be – amelyek a kezdeti, 2015-ös próbamérésekkel kezdődtek, a 7. táblázat „D" sora szerint. Célunk volt annak megállapítása, hogy a rügyekből mért peroxidáz enzim aktivitások és az egyes fajták között felállított fagytűrésre vonatkozó besorolások (1-5) között lehet-e valamilyen összefüggést kimutatni, mivel ilyen jellegű vizsgálatok dióval még nem történtek. Ettől tettük függővé további kutatásainkat. A vizsgált fajták között a következő összefüggés szerint próbáltunk eligazodni (12. táblázat) feltüntetve a fajtákhoz tartozó érzékenységi értékeket. A 'Pedro' fajtát csak későbbi vizsgálatainkba vettük be, hogy a szülői hatást megfigyelhessük a hibridek esetében. Zöld háttérrel jelöltük azokat a fajtákat amelyek a későbbi, több analitikai kísérleti mérésben is részt vettek.

12. táblázat A 2015-ben vizsgált fajták fagytűrése, (1 = nagyon érzékeny, 5 = fagytűrő).

Jelzés	Fajtanév	Származás	Érzékenység
T83	Tiszacsécsi 83	tájszelektált fajta	5
A117	Alsószentiváni 117	tájszelektált fajta	4
A117-31	Alsószentiváni kései	Alsószentiváni 117 x Pedro	4
M10	Milotai 10	tájszelektált fajta	3
M10-14	Milotai kései	Milotai 10 x Pedro	3
M10-9	Milotai bőtermő	Milotai 10 x Pedro	3
M10-37	Milotai intenzív	Milotai 10 x Pedro	2
F	Fernor	Franquette x Lara	2
P	Pedro	Payne x Conway Mayette	1
CH	Chandler	Pedro x UC 56-224	1

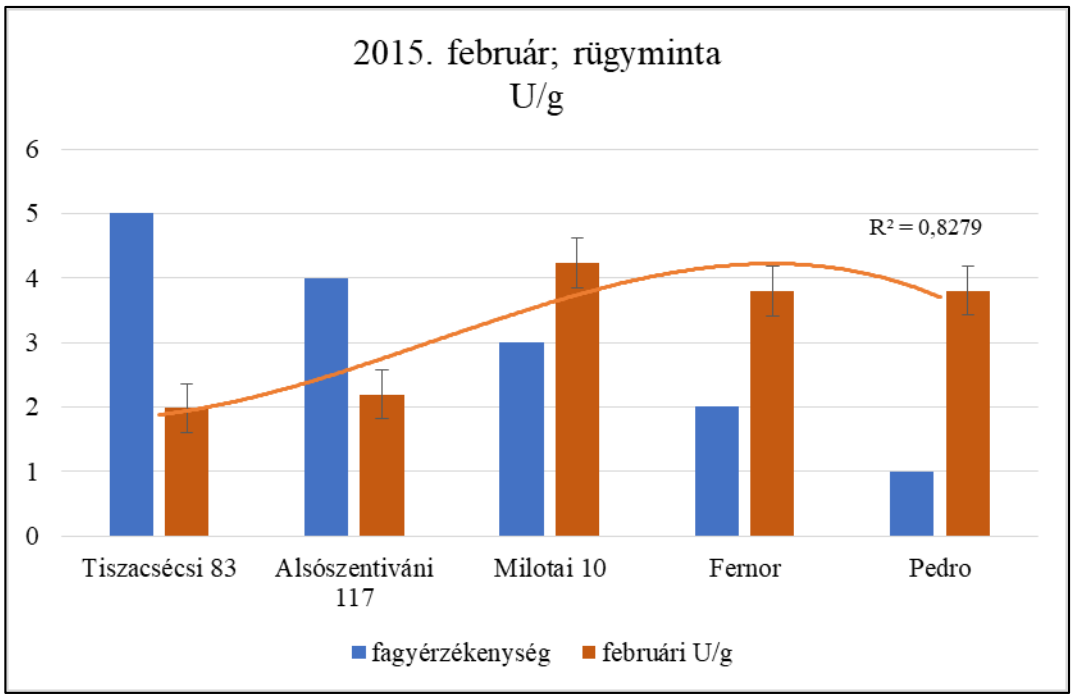
Az előkísérletek valamint a levél, háncs, rügy vizsgálatok (D, E, F, G) alkalmával még az összes rendelkezésre álló fajtával végeztük a vizsgálatokat, ami ez esetben 10 fajtát jelent. Ezeknek a vizsgálatoknak az eredményeinek tükrében a későbbi vizsgálatokat (H,I), már csak 5 fajtával folytattuk. A következő indokok szerint választottunk a rendelkezésre álló fajta szortimentből. A ’Milotai 10’ és ’Alsószentiváni 117’ fajta a magyarországi dióültetvényekben legnagyobb arányban ültetett két magyar tájszelektált fajta. A ’Pedro’ egyrészt mint külföldi fajta került be az összehasonlító vizsgálatokba, másrészt mivel apai szülőként használták a ’Milotai 10’ és ’Alsószentiváni 117’ fajta keresztezéses nemesítése során. A ’Milotai intenzív’ és ’Alsószentiváni kései’ a fent említett fajták hibrid fajtái, így tulajdonságaikat össze lehet hasonlítan a szülői tulajdonságokkal. Szintén közrejátszott a választásunkban az is, hogy az 5 fajta 3 különböző fagyérzékenységi csoportba sorolható. Az átfogóbb következtetések levonása érdekében az F és G vizsgálati eredményeinkből is kiemeljük a kiválasztott 5 fajtát.

5.2.1. 'D' vizsgálat, 2015 február- március, Lengyeltóti rügyminták peroxidáz enzim aktivitása

Az első, analitikai mérésekre alkalmas rügyek gyűjtése 2015 februárjában és márciusában történt. Ezen időszak alatt a fagytűrési vizsgálatok második évében jártunk.

A rügyek peroxidáz enzim aktivitásának mérése/kiértékelése során azt az ábrázolásmódot alkalmaztuk, amikor az egyes fajták enzimaktivitását az adott fajta érzékenységét szimbolizáló értékkel együtt jelenítetük meg (25. és 26. ábra). Mindkét hónap eredményeit azonos módon ábrázoltuk, összekötöttük az eltérő fajták értékeit, hogy érzékeltessük a fajták közti különbséget.

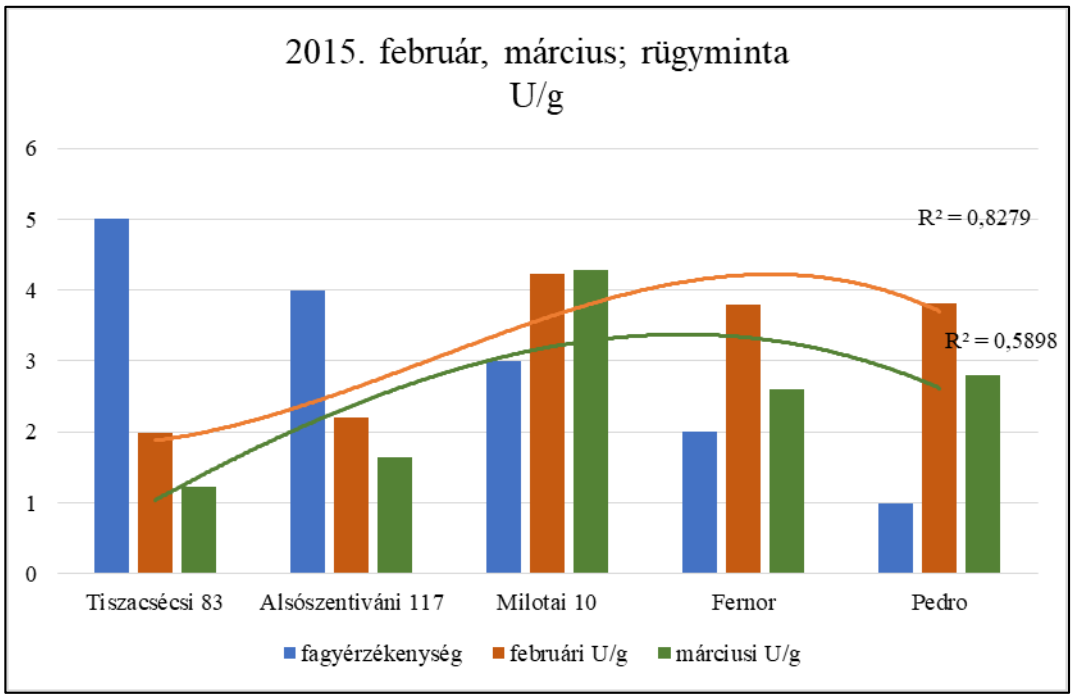
A rügyek vizsgálatakor a február hónapban (25. ábra) mért összes fajta esetében elmondható, hogy összefüggés található a fagytűrése és a rügyekben mért peroxidáz enzim értéke között. Megfigyelhető, hogy a fagyérzékeny fajták peroxidáz enzim aktivtiása magasabb ebben az időszakban, tehát a nyugalmi időszak végén, mint a fagytűrő fajták értékei.



25. ábra A 2015-ös fajták rügyeiben mért peroxidáz enzimaktivitások (U/g) és a fagytűrési értékek (LT_{50}) összehasonlítása (Lengyeltóti)

A februári és márciusi eredményeinkből ismét összehasonlítottuk a magyar standard fajtákat valamint, a külföldi fajtákat (26. ábra). Az ábráról is leolvasható, hogy a

fagytűrő fajtáknál alacsonyabb az enzimaktivitás, a fagyérzékenyeknél magasabb. Megfigyeltük, hogy márciusra csökken az enzimaktivás mértéke minden fajta esetében.



26. ábra Az alapfajták 2015. február és márciusi rügymintáinak fagytűrési középértéke (LT_{50}) és peroxidáz enzimaktivitása (U/g) közötti összefüggések. (Lengyeltóti)

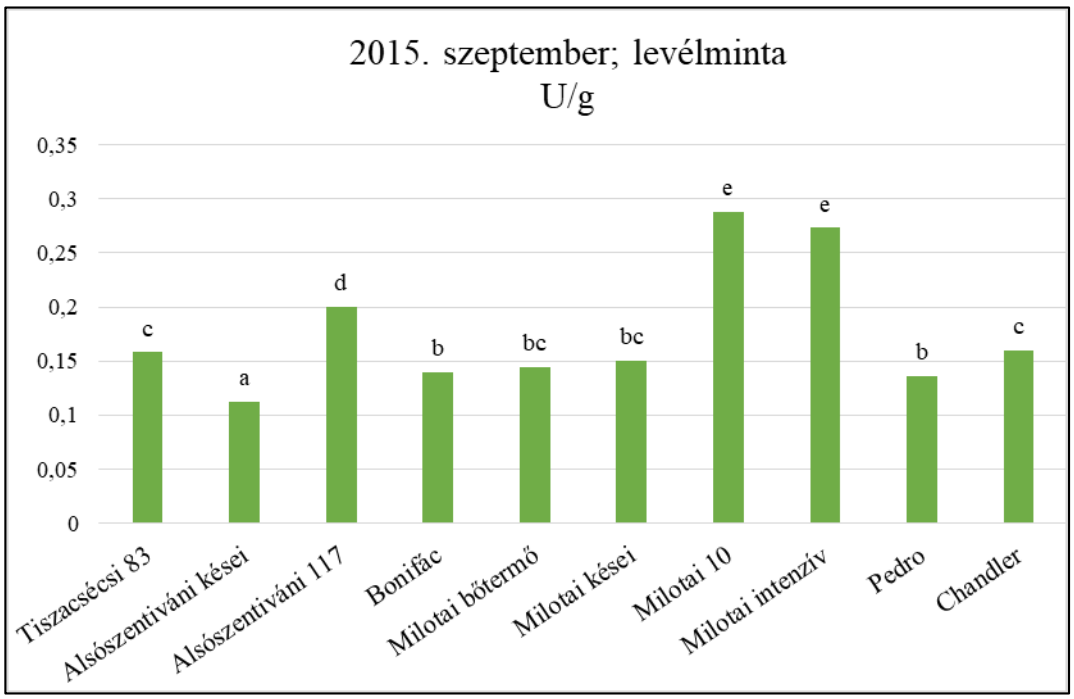
A külső hőmérséklet emelkedésével, tehát a „stressz” csökkenésével, ami ebben az esetben az alacsony téli hőmérsékletet jelenti a peroxidáz enzim aktivitás csökkeni kezd. Ezek a megfigyelések más szakirodalommal is összefüggnek (Lotfi et al., 2010), így vizsgálatainkba más növényi szerveket is bevontuk a következő nyugalmi időszak kezdetétől.

Talán a márciusi rügyminták követik jobban a fagytűrési értékek (LT_{50}) alakulását, ami talán indokolt is, mivel a téli nyugalmi időszakot a kényszernyugalom váltja fel, mely időszakban már a melegedés hatására elkezdődik a kihajtás, a fajtatulajdonságok jobban érvényesülnek. A külső hőmérséklet emelkedésével a peroxidáz enzim aktivitás csökkeni kezd.

Ezek a kezdeti eredmények optimizmusra adtak okot, és úgy döntöttünk, hogy a peroxidáz enzim aktivitási mérések alkalmasak lehetnek a fagytűréssel kapcsolatos összefüggések feltárására.

5.2.2. 'E' vizsgálat, 2015. szeptember, Érd- Elvira majorból származó levélminták peroxidáz enzim aktivitása

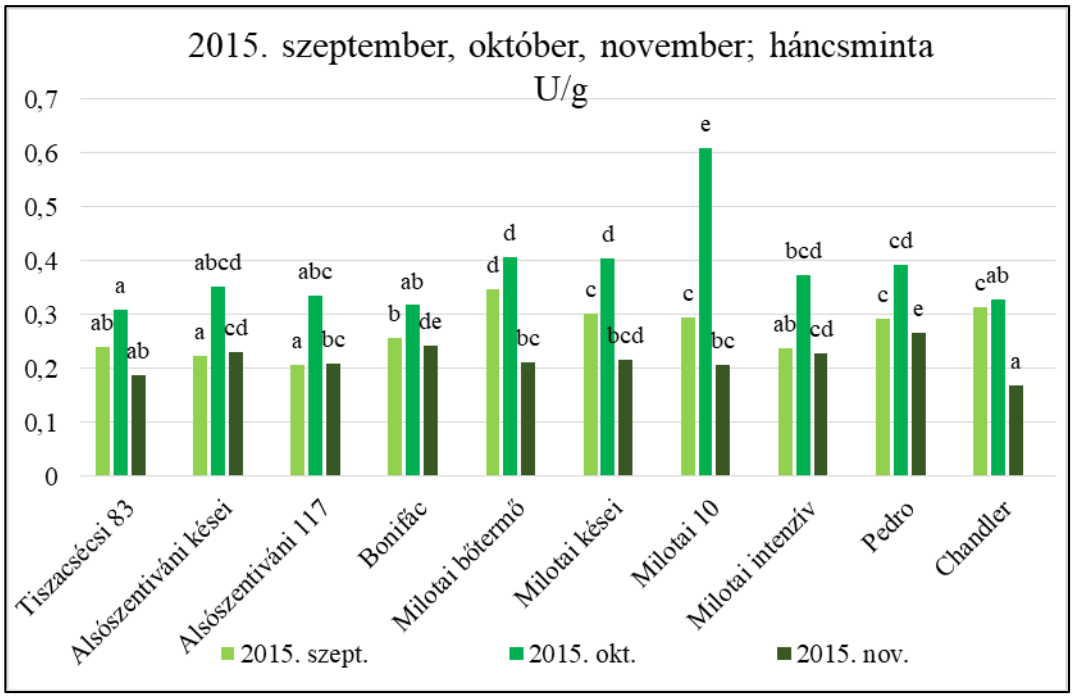
2015. szeptemberében a nyugalmi időszak kezdetén levélmintákat gyűjtöttünk és szintén megvizsgáltuk az enzimaktivitási értékeket. Ebben az esetben a rendelkezésre álló 8 magyar fajta és 2 külföldi fajta vizsgálatára került sor (27.ábra). Az eredményeink alapján megfigyelhető volt, a 'Milotai kései és Milotai bőtermő' fajta értékei közel azonosak, valamint ez az azonosság a 'Milotai 10' és a'Milotai intenzív' között is fenn áll. Ezek a hasonlóságok a fajták fagytűréséről is elmondhatóak. Az 'Alsószetiváni kései' fajtának van a legalacsonyabb enzimaktivtási értéke a nyugalmi időszak kezdetén.



27. ábra A vizsgálatba vont fajták levelének peroxidáz enzimaktivitása (U/g).

5.2.3 'F' vizsgálat, 2015. szeptember- 2016. március, Érd- Elvira majorból származó háncsminták peroxidáz enzim aktivitása

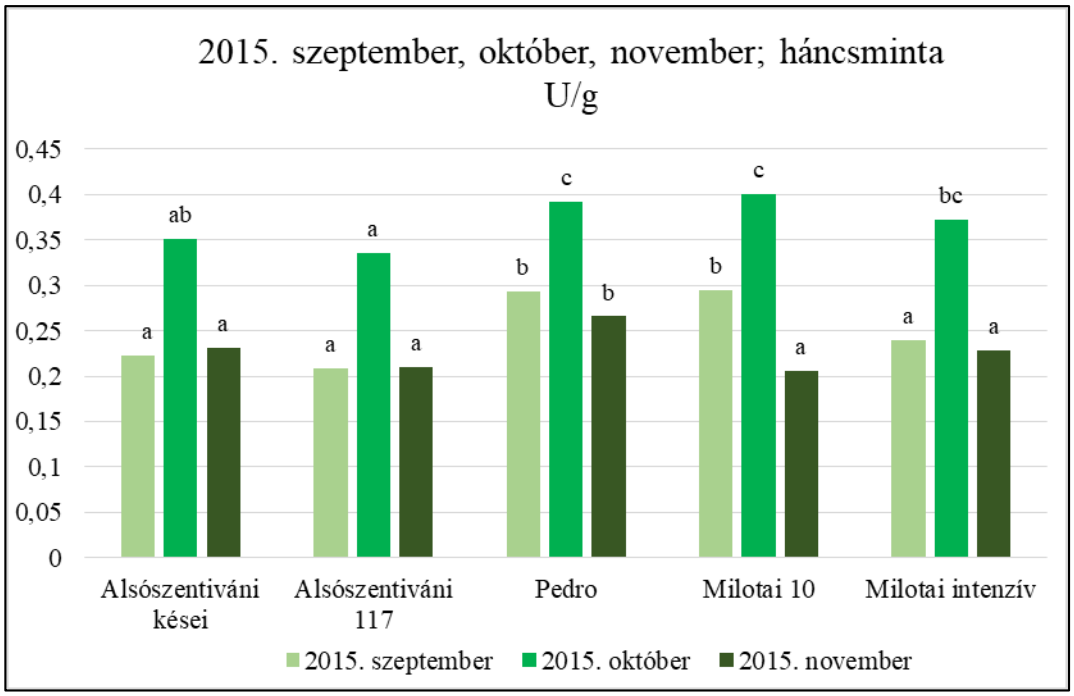
A nyugalmi időszak kezdetétől az összes fentebb említett és rendelkezésre álló fajta **háncs** részében (28. ábra) mért enzimaktivitások három hónapon át történő összehasonlításakor megállapítható hogy először szeptemberről októberre egy növekedés, míg novemberre egy csökkenés tapasztalható. Ezek az eredmények is jól egybevágnak kajszin végzett hasonló jellegű vizsgálatokkal (Németh, 2012) de a két fajból adódó különbségek felfedezhetők. Kajszinál ez az enzimaktivitásbeli növekedés, ill. a csökkenés kb. egy hónappal követi a diónál tapasztaltakat.



28. ábra. A 2015. szeptemberi, októberi, novemberi háncs minták peroxidáz enzimaktvitása (U/g) a későbbiekben vizsgált fajtáknál.

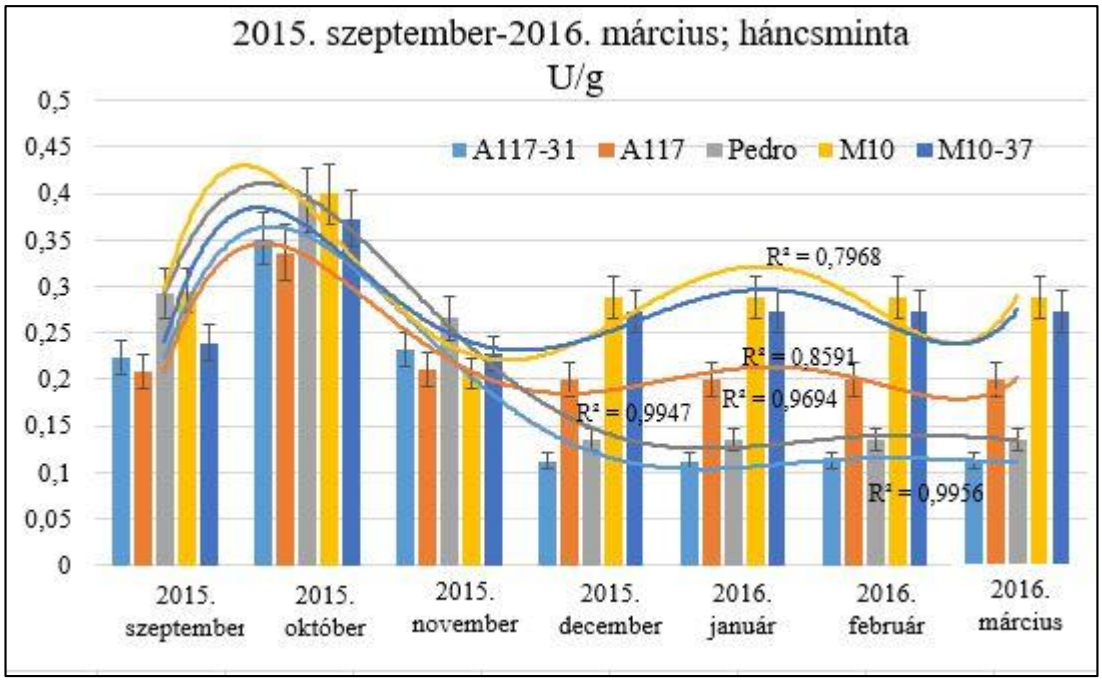
Az egyes fajtákban a három hónapon át mért enzimaktivitások közel azonos lefutást mutatnak, de eltérő mértékben. Úgy tűnik, hogy a leginkább fagytűrőnek tartott ’Tiszacsécsi 83’ mutatja a legkisebb értékeket. Az érzékenyebbeknek tartott fajták esetében általában nagyobb értékek szerepelnek, különösen az októberi hónapban.

Amennyiben a kiválasztott öt fajtát, azoknak a háncsában mért enzimaktivitásait nézzük (29. ábra) akkor általában a jobb fagytűréssel rendelkezők kisebb enzimaktivitással jellemezhetők, mint az érzékenyebbek. Ezekben az értékekben nem csak a fajtára jellemző tulajdonságok jelennek meg, hanem a hőmérséklet csökkenésére adott stressz válasz is.



29. ábra. A kiválaszott fajták 2015 szeptemberi, októberi, novemberi háncs minták peroxidáz enzimaktivitása (U/g).

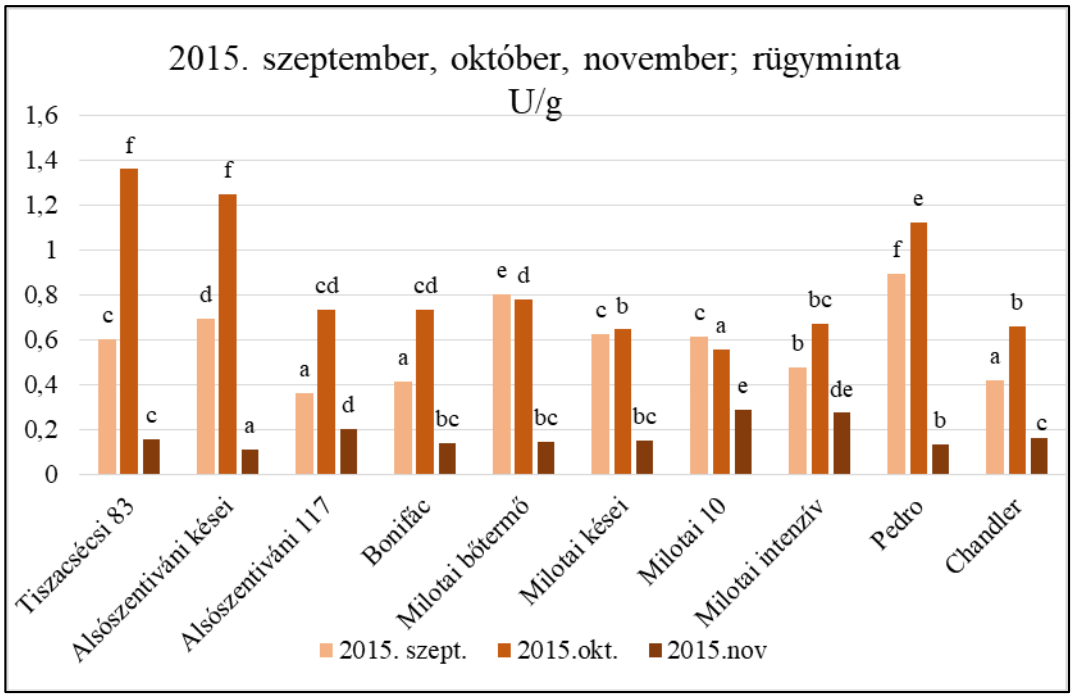
A 30. ábrán a vizsgálatból kiemelt 5 fajta eredményeit feltüntettük. A ’Pedro’ fajtát helyeztük középre, miután a keresztezések során ő az apai szülő. Balra a jobb fagytűréssel és jobbra pedig az érzékenyebb fajták kerültek. Az ábrán az oszlopoknak megfelelő színnel folytonos vonallal összekötve próbáltuk szemléltetni a különböző érzékenységű fajták enzimaktivitásbeli változását a téli/tavaszi hónapokban, szeptembertől márciusig. A nyugalmi időszak kezdetén az enzimaktivás gyors növekedése figyelhető meg, mely értékek novembertől folyamatos csökkenést vagy stagnálást mutatnak a fajtákban. Ez a stresszhatás csökkenésével, valamint a háncs egyedi fagytűrési maximumának elérést jelentheti. A nagyobb enzimakativitással az érzékenyebb, míg a kisebb enzimaktivitással az ellenállóbb fajták jellemezhetőek.



30. ábra A kiválasztott fajtáknak háncsban mért enzimaktivitási értékei a 2015. szeptembere és 2016. március között (U/g)

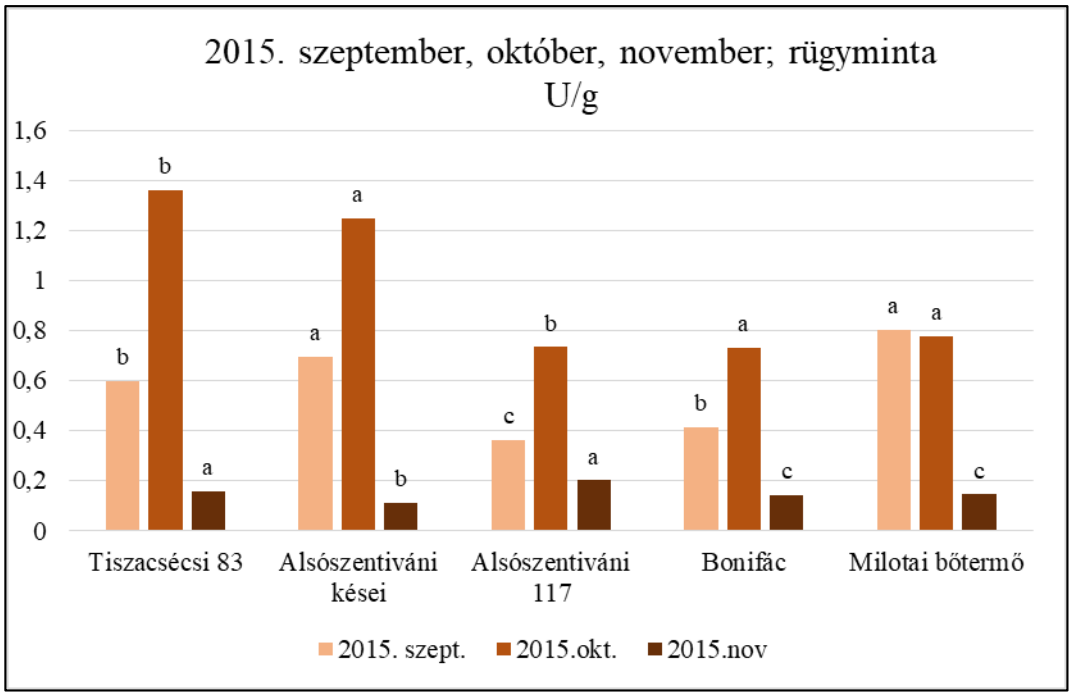
5.2.4. 'G'vizsgálat, 2015. szeptember- 2016. március, Érd- Elvira majorból származó rügyminták peroxidáz enzim aktivitása

A **rügyek** esetében a 10 fajta vizsgálata során az előzőekhez hasonlóan a három hónap adatai kerülnek bemutatásra (31. ábra), majd a hosszabb vizsgálati időszakban résztvevő 5 fajta bemutatására kerül sor (33. ábra). A 31. ábra alapján szeptembertől novemberig terjedő időszakra elmondható, a nyugalmi időszak kezdetén tehát szeptemberről októberre egy erőteljes növekedés figyelhető meg, ami novemberre csökken. Mivel a fagytűrés szakaszosan, több ütemben alakul ki a fásszárú növények esetében (Tromp, 2005) a novemberi enzimaktivtás csökkenés az akkori hőmérsékletnek megfelelő maximális fagytűrés elérést jelentheti. Általános megfigyelhető volt, hogy az érzékenyebb fajták alacsonyabb, addig a fagytűrő fajták magasabb enzimaktivitással rendelkeztek szeptember és október hónapban, ellentétben a háncsban mért értékekkel.



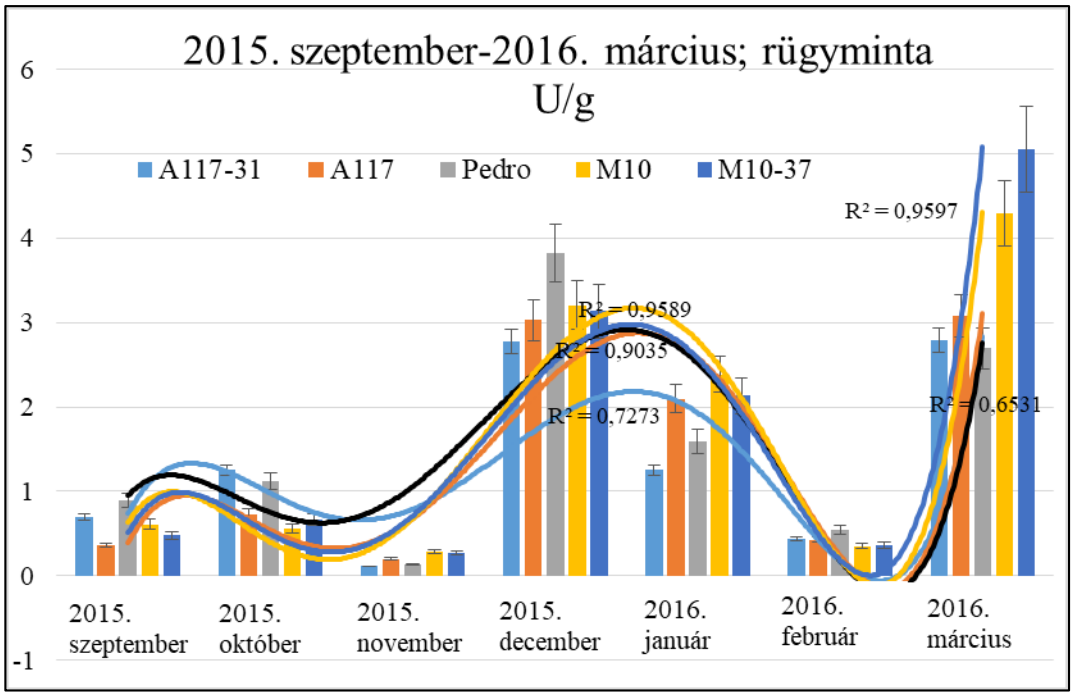
31. ábra A 2015. szeptemberi, októberi és novemberi összes fajta rügyeinek peroxidáz emzim aktivitása (U/g).

Amennyiben a kiválaszott 5 fajtát hasonlítjuk egymáshoz a szeptemberi, októberi és novemberi hónapban akkor láthatjuk, hogy előbbi megállapításunk igazolódik be, miszerint a háncsban mért értékekkel ellentétben, hogy bizonyos fagyérzékeny fajták enzimaktivitása alacsonyabb és bizonyos fagytűrő fajtáké alacsonyabb, mint azt vártuk.



32. ábra A kiválasztott fajták 2015. szeptemberi, októberi és novemberi rügyeinek peroxidáz emzim aktivitása (U/g).

Azonban, ha egységesen vizsgáljuk a teljes nyugalmi időszakot (33. ábra), akkor megfigyelhetjük, hogy decembertől márciusig a háncsban mért tendencia köszön vissza, és ezen időszakban már a fagyérzékeny fajták enzimaktivitása magasabb, a fagytűrőké alacsonyabb. Meg kell jegyezni, hogy 'Pedro' több hónapban is eltérő értékeket mutat. Elmondható a 2015/2016-os nyugalmi időszakról, hogy a szeptemberi növekedés majd csökkenés után decemberre egy növekedés, majd februárig egy csökkenés következik be, amit egy erőteljes növekedés kísér. Ezek a tendenciák mindegyik fajtánál azonosan alakulnak. A decemberi enzimaktivitás növekedés a tovább csökkenő hőmérséklet hatására (hidegstressz), az edződési folyamat alakulásának eredményei lehetnek. Miután a fagytűrési maximumukat elérték a rügyek, amely megvédi a káros hatástól őket, az enzimaktivitás folyamatos csökkenése figyelhető meg. Márciusban az enzimaktivitás növekedés a kora tavaszi hirtelen lehűlések hatására történhet, melyek olyan speciális mechanizmusok melyek hatására kezdődik és fejeződik be a nyugalmi időszak (Westwood, 1993).



33. ábra A kiválasztott fajták rügyeinek enzimaktivitása a 2015. szeptembere és 2016. március között (U/g)

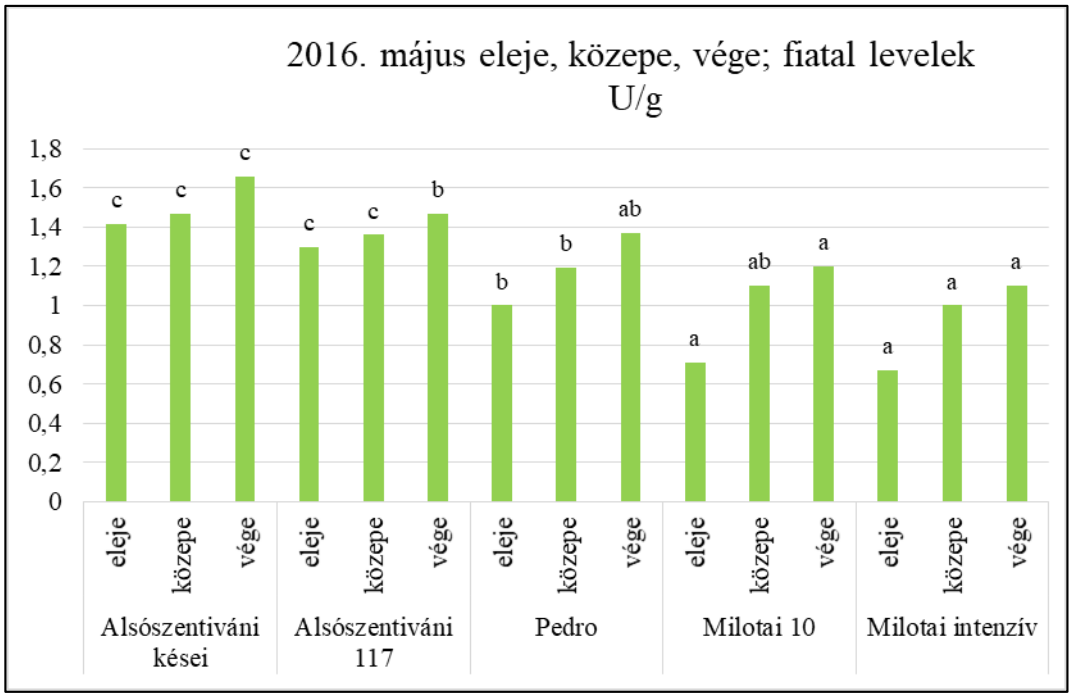
5.2.5. 'H' vizsgálat, 2016. május, Érd- Elvira majorból származó kihajtáskori levélminták peroxidáz enzim aktivitása

Ahhoz, hogy teljesebb képet kapjunk a dió növényi részeiben egész évben végbemenő anyagcsere folyamatok változásairól, 2016 május hónapban három alkalommal, a kihajtási időszak során levélmintákat gyűjtöttünk, az Érd-Elvira majori telephelyen található központi törzsültetvényből. A mintavételi három alkalom a hónap eleje (május 2) a közepe (május 12) és a vége (május 20) volt.

A kihajtáskor a már meglévő előző évi vesszőn levő rügyekből előtörő fiatal hajtásokat metszettünk le és a vesszőn való elhelyezkedésük alapján a leveleket alsó (idős) felső (fiatal) állásúnak tekintettük.

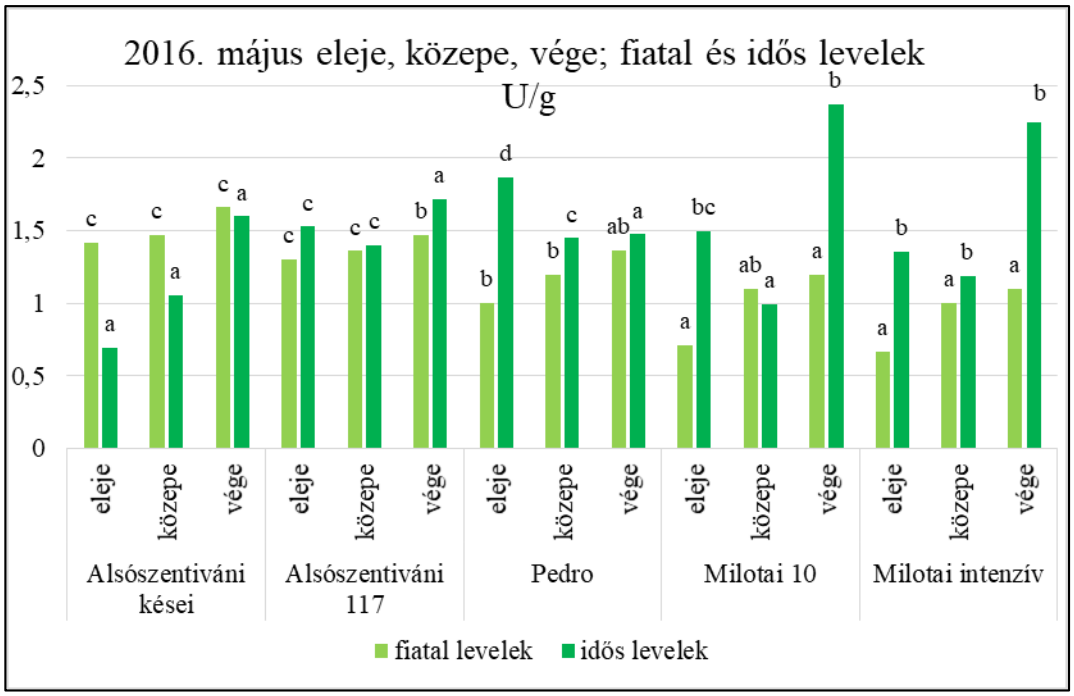
Mivel a legjuvenilisabb részek mutatják a fajtákra legjellemzőbb, legnagyobb enzimaktivitási értékeket, ezért először azok bemutatására kerül sor (34. ábra). Mindegyik fajtánál egyértelműen látszik, hogy az idő előrehaladtával enzimaktivitásbeli növekedés mutatható ki, amely eredmény összevág Sárdi és Stefanovits-Bányai (2006) állításával is, hasonlóan az egyes levélemeletek között kimutatható (lsd. később) különbségekkel is. A fiatal levelek esetében kapott

eredmények is azt mutatják amit a rügyeknél tapasztlatunk, hogy a fagytűrő fajtáknál figyelhető meg magasabb enzimaktivitás a fagyérzékenyekkel szemben.



34. ábra Az Érd, Elvira-majori telephelyről származó májusi kihajtáskori levélmintáinak peroxidáz enzimaktivitás változása

Ez azzal magyarázható, hogy a kezdeti fenológiai állapotban a nagyobb enzimaktivitás a kora tavaszi fagyok nagyobb mértékű elviselését teszi lehetővé, hiszen ha a fagy hatására a fiatal levelek jelentős része elfagyna így csökkene a fa asszimiláló felülete, ami későbbi állapotromláshoz vezetne. Természetesen ennek a feltételezésnek a tisztázására további vizsgálatok elvégzésére lenne szükség. A fenológiai fázis előrehaladta mellett egy vesszőn belül is vannak fiatalabb és idősebb levelek. A csúcsi a legfiatalabb, míg a lejjebb elhelyezkedők az idősebbek. Miután csak a csúcsi levelek a biztosak, ezért egy átlagértéket vettük a lentibb emeletekről és azokhoz viszonyítjuk a felső levelek enzimaktivitásait (35. ábra).



35. ábra Az Érd-Elvira majori telephelyről származó májusi mintavételezésekor gyűjtött fiatalabb és idősebb levelek peroxidáz enzimaktivitásának összehasonlítása

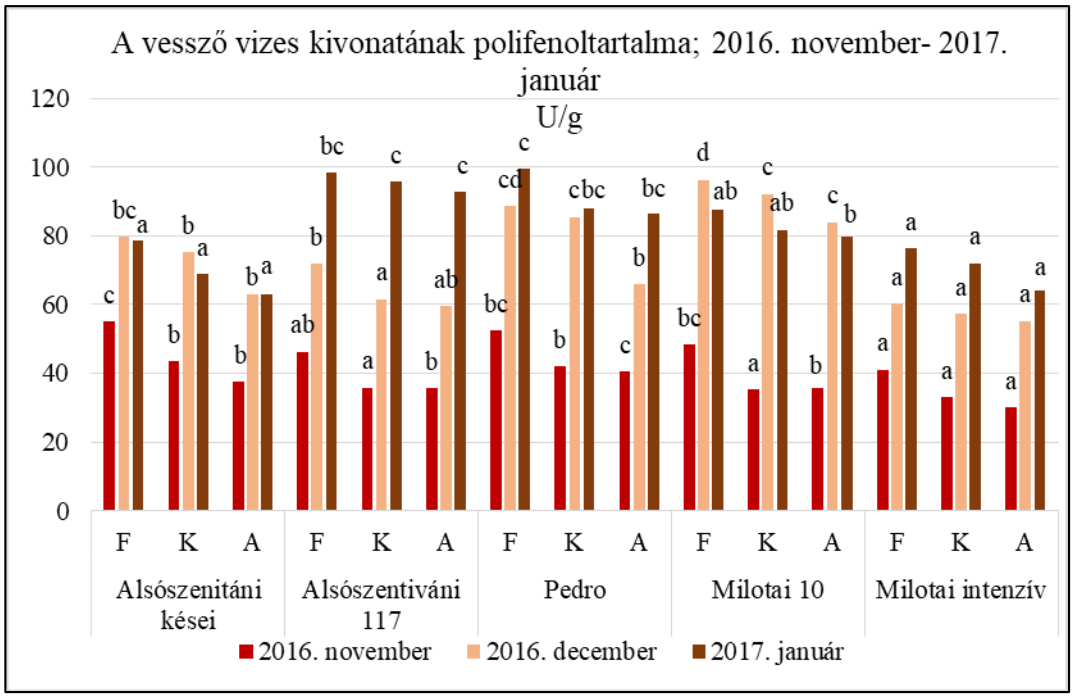
Mind a fiatal, mind az idősebb levelek esetében az idő előrehaladtával egy növekvő tendencia figyelhető meg. Ha a fiatal és az idősebb levelekben mért enzimaktivitást hasonlítjuk össze, akkor ha nem is azonos mértékben, de nőnek a mért értékek, mely összefüggések szintén egybevágnak Sárdi és Stefanovits-Bányai (2006) eredményeivel, ahol is a fiatalabb levelekben kisebb az enzim aktivitása, mely az öregedéssel nő. A két eltérő korú levél közötti különbségek sokkal nagyobbak az érzékenyebb fajtáknál, valamint visszatér az a tendencia is az idősebb leveleknél, hogy a fagyérzékeny fajtákban lesz magasabb az enzimaktivitás. Vagyis ez azt bizonyítja, hogy a fiatalabb részek jobban ki vannak téve a kora tavaszi fagyoknak, válaszreakciójuk eltérő mértékű. Ezen összefüggések további, minden részletre kiterjedő tisztázására azért is szükség lenne, mert esetleg egy korai állapotban történő vizsgálatból kapott eredmények sokkal értékesebbek lehetnek egy idősebb, más növényi részekből kapottaknál, hiszen ezen növényi részek csak a több éves növényekről gyűjthetők be.

5.2.6. ’I’ vizsgálat, 2016. november- 2017. január, Érd- Elvira majorból származó vessző minták polifenol tartalma

A 2016 november, december, valamint 2017 januárjában az Érd, Elvira-majori központi törzsültetvényben található fákról vesszőmintákat gyűjtöttünk. Minden esetben egyéves vesszőket választottunk. A vesszők vizsgálatára azért került sor, hogy további növényi részben is igazolást nyerjen azon felvetésünk, hogy a biokémai folyamatok a fagytűréssel összehozhatóak. A vesszők esetében polifenoltartalmat és redukáló kapacitást vizes és alkoholos oldatban mértünk. A vesszőket az első elágzásnál metszettük le. A vessző csúcsi részét felső résznek (F), a vessző elágazáshoz legközelebbi részét alsó résznek (A) a köztes részt, középső résznek (K) tekintettük. A vesszőket ezután lereszeltük, majd mindegyikből vizes és alkoholos kivonatot készítettünk. A polifenoltartalom mérését azért tartottuk célszerűnek elvégezni, mert a polifenolos komponensek a növényi metabolizmus másodlagos termékei, melyeket maguk állítanak elő a növények, a saját védelmi rendszerük bitosítására, valamint erős antioxidáns tulajdonsággal rendelkeznek, így szolgálják a stressz elleni védelmet (Haminiuk et. al, 2012). Ugyanakkor korábbi tanulmányok alapján (Farokhzad et al., 2018) is bebizonyosodott, hogy az enzimaktivitás és a polifenoltartalom, néhány aminosav mellEtt jó marker lehet a növény fagytűrésének meghatározására (Karimi et al., 2015).

A vesszőkből készített vizes kivonatokból mért összes polifenoltartalom alakulását mutatjuk be először a novemberi, decemberi és a januári mintákból (36. ábra). Nagy általánosságban novembertől januárig növekedés tapasztalható, aminek oka lehet, hogy az edződés folyamata játszódik le a növényekben. Ha a szülői fajták közül az ’Alsószentiváni 117’-est nézzük, akkor azt lehet elmondani, hogy mivel jobb fagytűréssel rendelkezik, így januárra megugrik a polifenoltartalma, ami a kényszernyugalmi időszaban biztosítja a fagyok elleni védelmet. A januári értékek a vessző mindhárom emeletén azonosan alakulnak. A polifenoltartalom felhalmozása a ’Milotai 10’-nél kevésbé sikeres, ami indokolhatja a kissé érzékenyebb tulajdonságot.

Általánosságban elmondható, hogy a vizsgálati hónapokban folyamatos a polifenol felhalmozás, aminek a legmagasabb értékeit januárban mérjük.



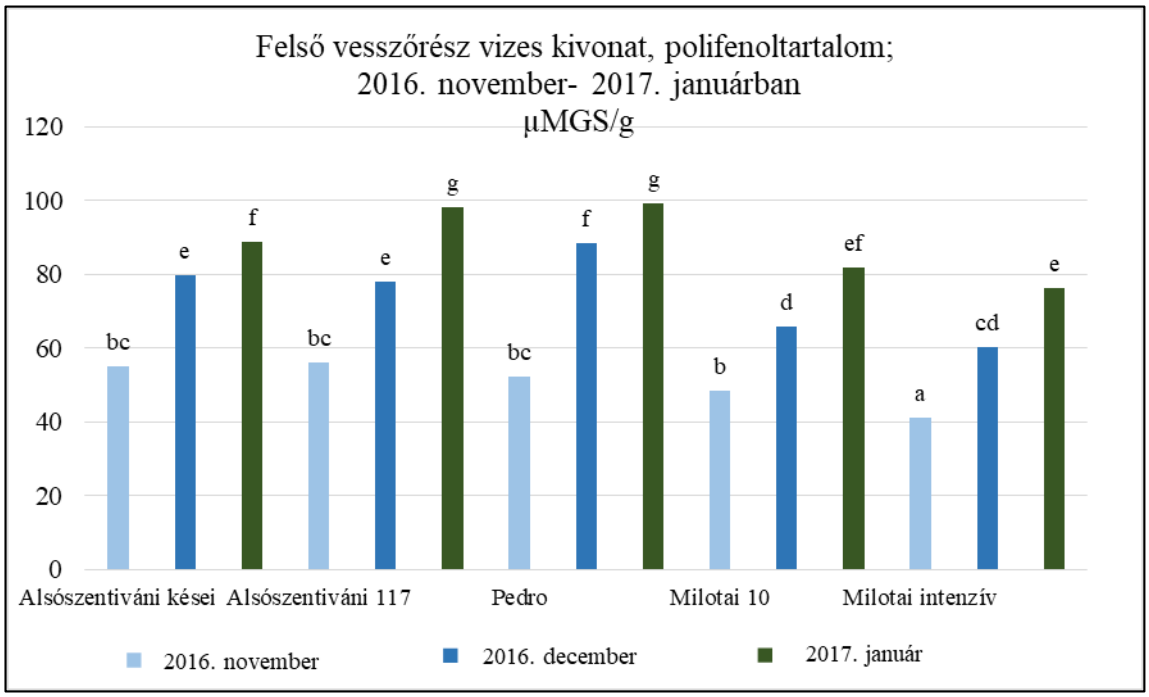
36. ábra A vizes kivonattal készült különböző elhelyezkedésű vesszőrészek (F=felső, K=középső, A=alsó) polifenoltartalma (µMGS/g) november, december, január folyamán

Miután nagy összességében áttekintettük a vessző emeletek polifenoltartalmát kicsit részletesebben az egyes emeletek tulajdonságait érdemes megnézni (37-39. ábrák), hiszen az eredmények alapján eldönthető lehet, hogy mely mintavételből származó minták lesznek alkalmasak az összefüggések feltárására.

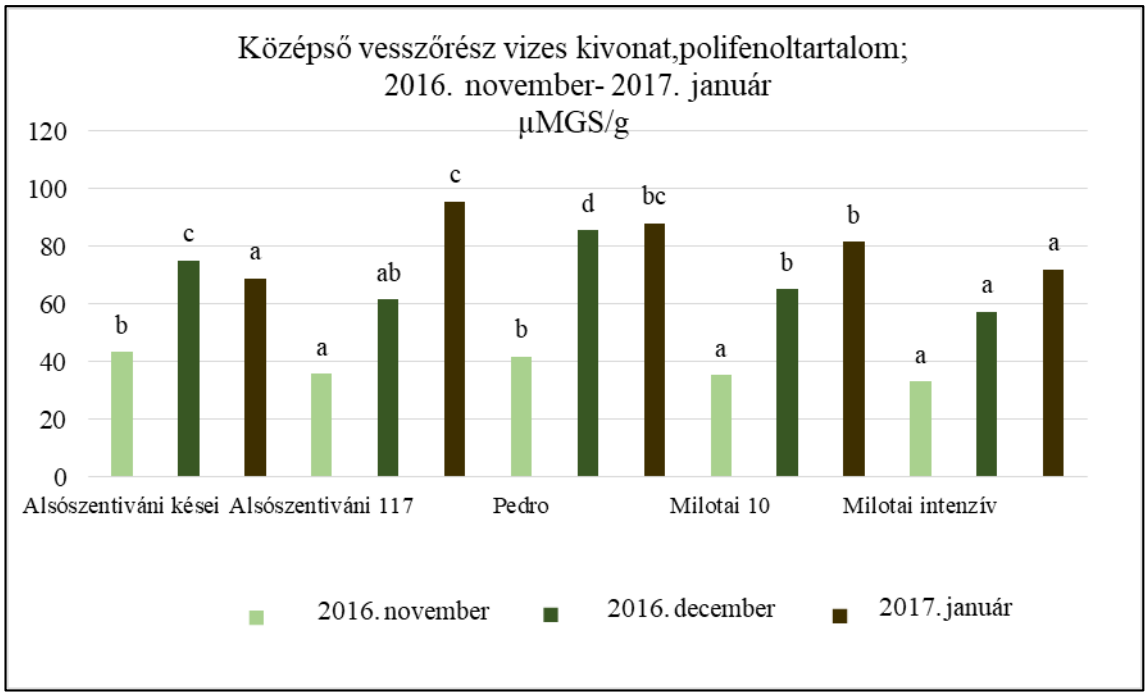
Általában a leginformatívabbak mindig a legfelső, legfiatalabb növényi részek, ezért ezzel kezdjük. A szülői fajtákat vizsgálva megállapítható, hogy az általában jobb fagytűréssel rendelkező ’Alsószentiváni 117’ szinte mindhárom mintavételekor nagyobb polifenoltartalom értéket mutatott, ami Farokhzad et al. (2018) eredményeivel is összefüggést mutat, miszerint polifenol tartalom ellentétes alakulást mutatott ki az enzimaktivitással. Itt is az idő előrehaladtával az egyes fajták növelik az anyagcseréjükben a polifenoltartalmat, bár eltérő mértékben. Novemberben a ’Milotai intenzív’ és ’Milotai 10’ fajta szignifikáns különbséget mutat a többi fajtához viszonyítva (37. ábra). Decemberben a ’Milotai intezív’ esetében még jelentősebb eltérés mutatkozik. A ’Milotai 10’ szintén eltér a többi fajtától, az ’Alsószentiváni 117’ és az ’Alsószentiváni kései’ pedig közel azonos polifenoltartalmat mutat. Januárban pedig az ’Alsószentiváni 117’ és a ’Pedro’ mutat azonos polifenoltartalmat.

Az ’Alsószentiváni kései’ és a ’Milotai 10’ között kisebb eltérés tapasztalható, míg a ’Milotai intenzív’ ismét eltér a többi fajtától.

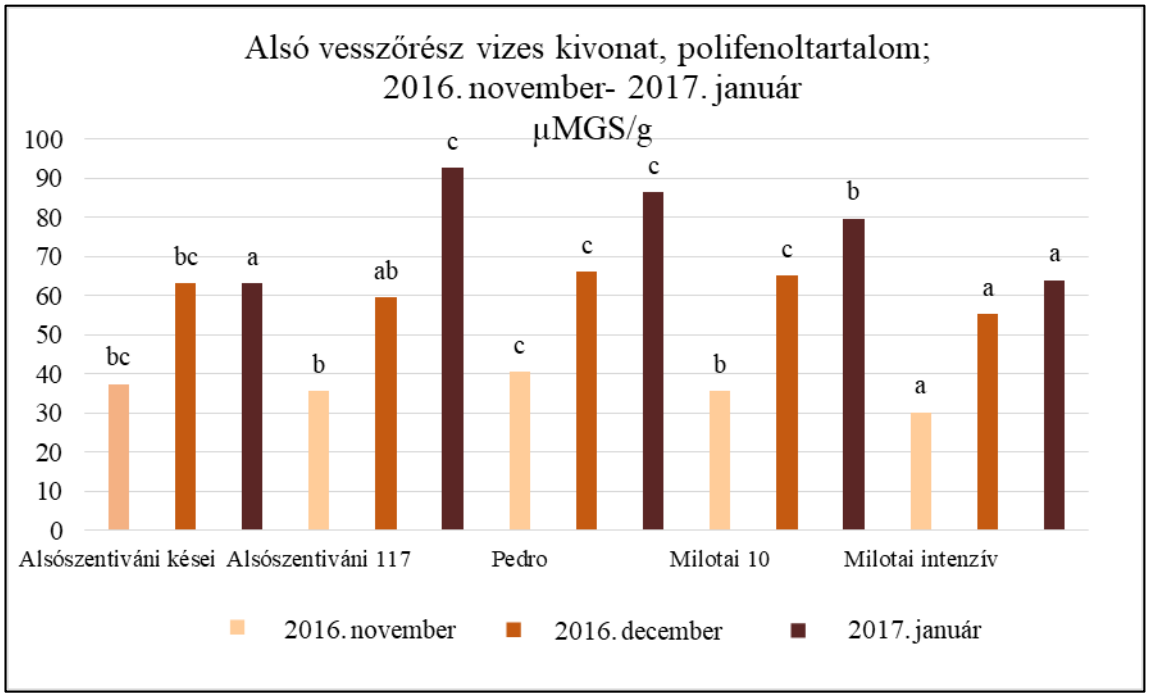
A ’Milotai 10’ fajtánál, mely érzékenyebb, kisebb értékeket kapunk, azaz kevésbé tudja biztosítani a védelmi rendszerét. A Pedro középen helyezkedik el, bár fagytűrés szerint a legérzékenyebb.



37. ábra A felső vesszőrész vizes kivonatának polifenoltartama; 2016. november-2017. január (µMGS/g)



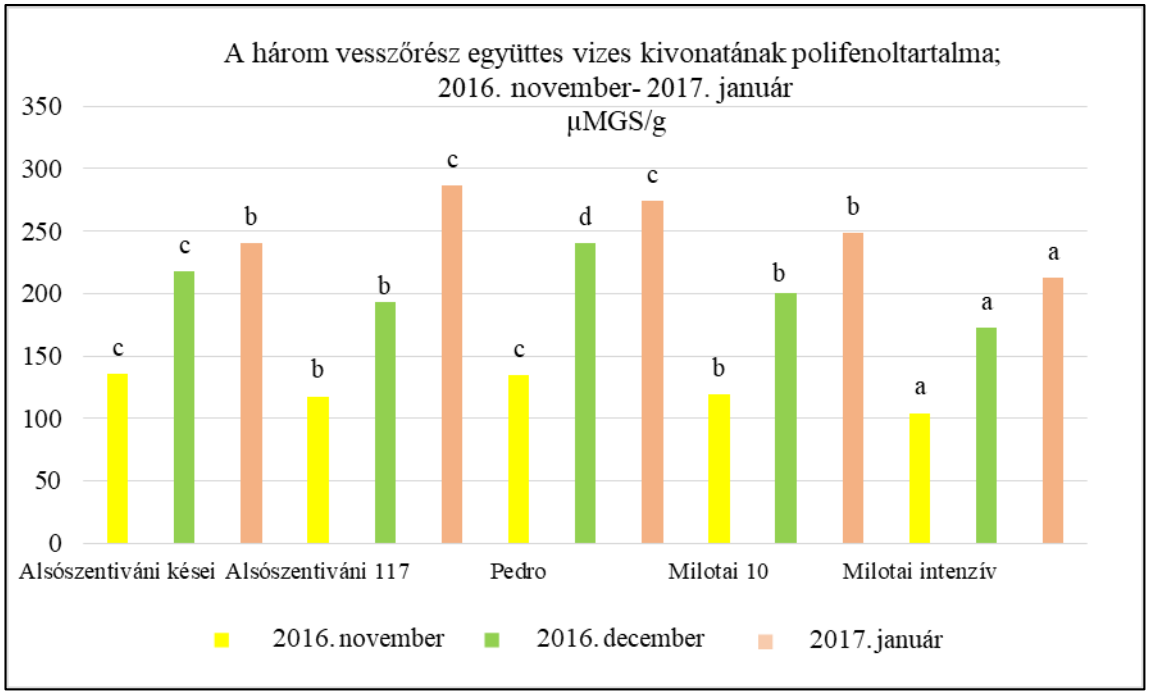
38. ábra A középső vesszőrész vizes kivonatának polifenoltartama, 2016. november-2017. január (µMGS/g)



39. ábra Az alsó vesszőrész vizes kivonatának polifenoltartama, 2016. november-2017. január (µMGS/g)

Érdekes módon elég hasonló eredményeket kaptunk (38., 39. ábra) az idősebb részek felé haladva, de a leginformatívabbak a felső levelekben mért polifenoltartalomra vonatkozó értékek voltak.

Miután elég időigényes az egyes ízközök mintáinak előállítása, ezért ha a három (már jobban lehet kezelni) ízköz mintáit egyszerre lenne lehetőség feldolgozni, akkor a következő összefüggést (40. ábra) láthatnánk.

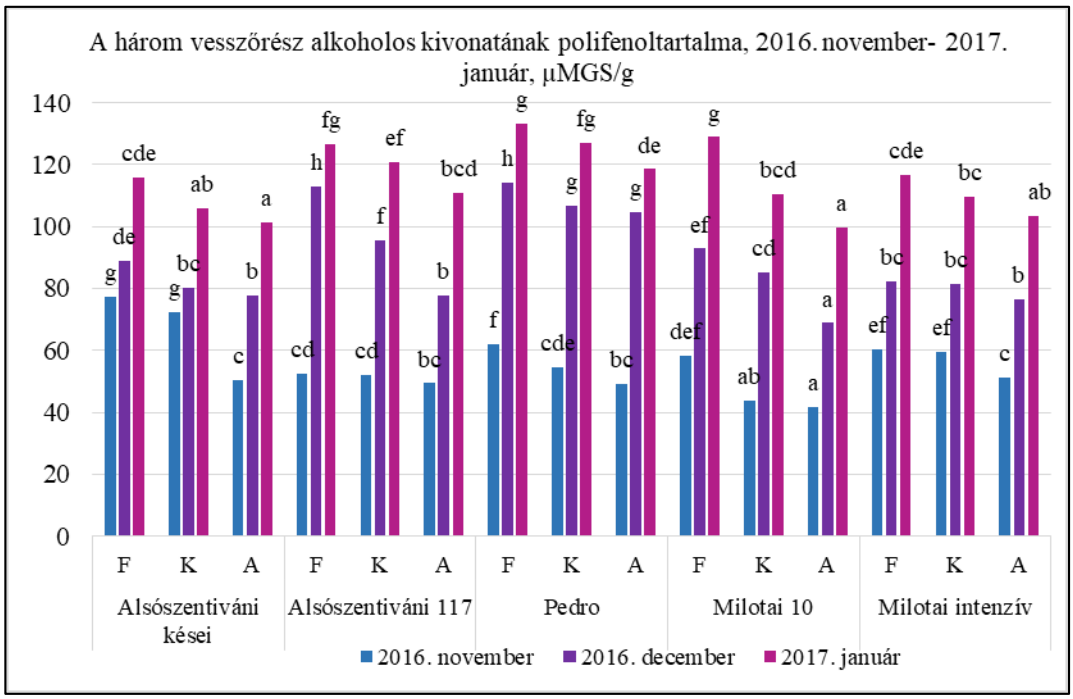


40. ábra A három vesszőrész vizes kivonatának polifenoltartama, 2016. november-2017. január (µMGS/g)

Meglepő módon a főbb összefüggések nagyon jól láthatók a polifenoltartalomban az idő múlásával. Tehát egy nagyobb, a felső legfiatalabb vesszőrészhez hozzáadott növényi részből (de mindig ugyanolyan fejlettségi állapotban levők) mért polifenoltartalom is informatív a fajták közötti különbségek kimutatására.

Miután a polifenolos vegyületek nagy része vízben oldódik, ezért informatívak a vízben oldódó polifenolos vegyületek mennyiségének alakulása, ugyanakkor más növények esetében már meglevő tapasztalatok alapján érdemes alkoholos kivonatok készítése is, hiszen ez az oldószer több komponens kioldására alkalmas, ezért is készítettünk ugyenezen mintákból alkoholos kioldást is (41. ábra). Miután jó összefüggéseket mutattak a statisztikai értékelés után kapott adatok, ezért kíváncsiak

voltunk arra, hogy az alkoholos kivonás ugyanolyan összefüggéseket mutat-e, annak ellenére, hogy tudjuk más és más polifenolos komponensek máshogy oldódnak a vízben, illetve alkoholban.

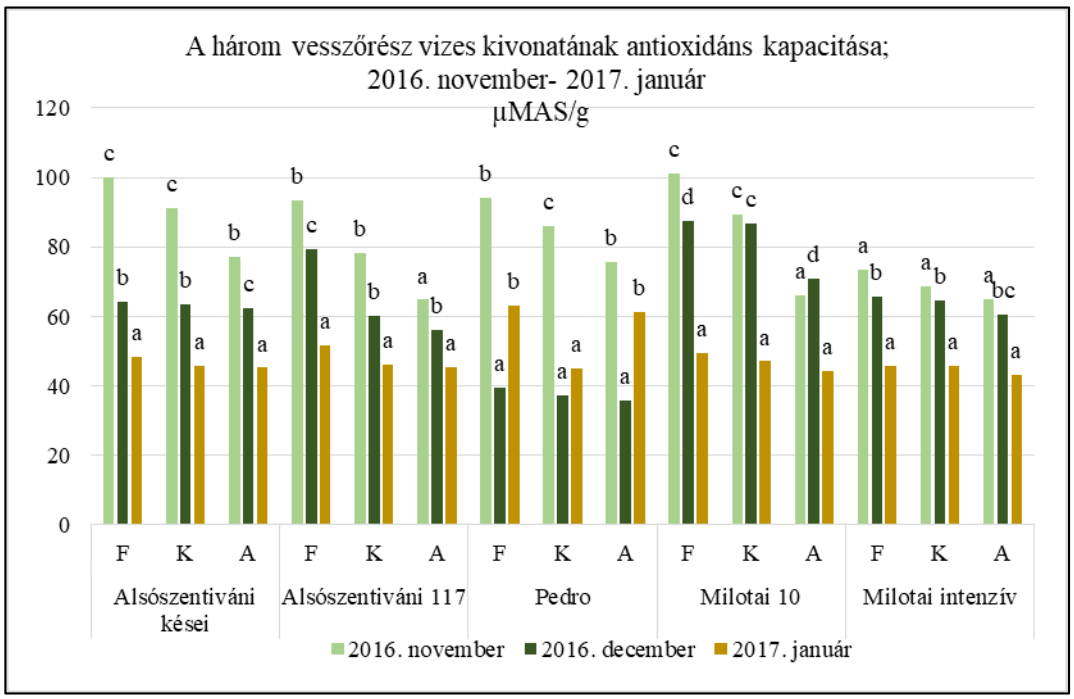


41. ábra A három vesszőrész alkoholos kivonatának polifenoltartalma, 2016. november- 2017. január (µMGS/g)

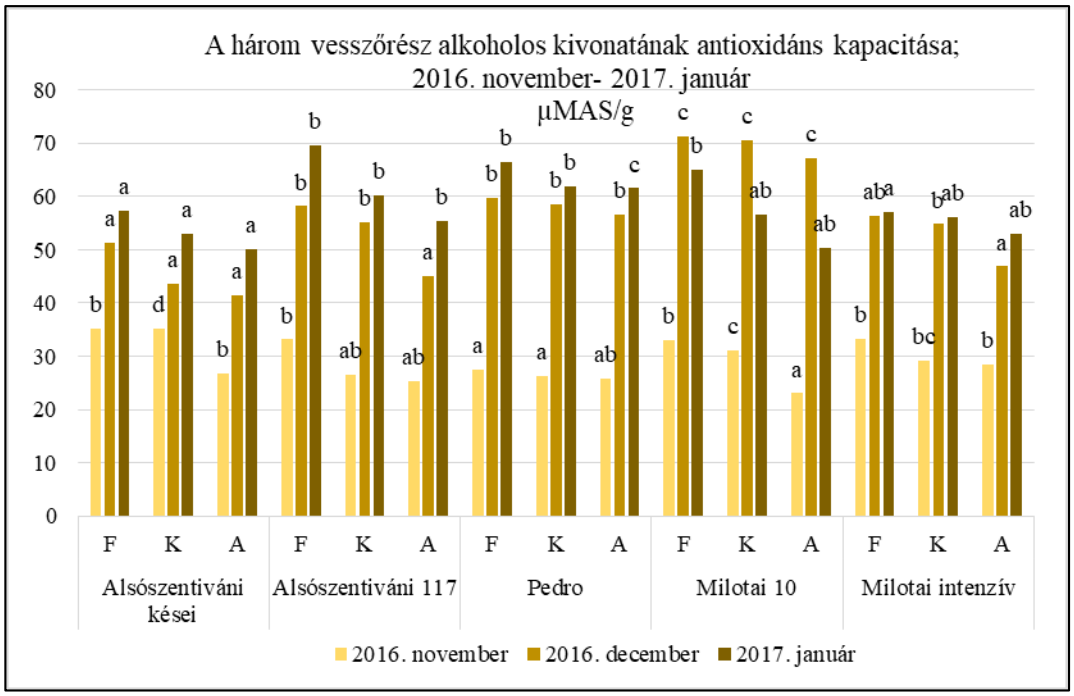
Az alkoholos kivonás eredménye a felső részek tekintetében, hogy novemberben minden fajta eltér egymástól. Szignifikáns eltérést az 'Alsószentiváni kései' esetében tapasztaltunk. Novemberben az 'Alsószentiváni 117' és a 'Pedro' hasonló polifenoltartalma mutat hasonlóságot. Januárban pedig ugyanez mondható el az 'Alsószentiváni kései' és a 'Milotai intezív' fajta, valamint a 'Pedro' és a 'Milotai 10' esetében. Minden fajta esetében a folyamatos polifenolos komponensek felhalmózódása figyelhető meg.

Amennyiben mindhárom vesszőrészben mért polifenoltartalmat hasonlítjuk össze, akkor megállapítható, hogy a két oldószerrel történő kivonás magán viseli a kioldott polifenolos komponensek közötti különbségeket. Ezek alapján is el lehet dönteni, hogy melyik oldószer lenne jó, ha a későbbiekben ilyen jellegű vizsgálatokra sor kerülne. Magában a tendenciákban nincs változás, ezért feleslegesnek tartottuk az előzőkhez hasonló módon bemutatni.

Vizsgálatainkat a redukáló kapacitás vizsgálataival folytattuk a vizes és alkoholos kivonatokban mérve (42-43.ábra). Az eddigiektől eltérően most mindkét oldószerben mért adatokat egy-egy ábrában összefoglalva közljük. A vizes kioldáskor megfigyelhető volt, hogy olyan polifenolos komponensek oldódtak ki, melyeknek nem biztos, hogy volt redukáló/antioxidáns kapacitása. Az előbbiekben bemutatott alkoholos kivonatban megjelenő polifenolos komponensek magyarázatánál már feltételeztük, hogy más komponensek kioldódására nyílt lehetőség és ez itt a redukáló kapacitásnál be is igazolódott. Az alkoholban főleg azok a polifenolos komponensek oldódtak ki nagyobb mértékben, amelyeknek a szerkezetéből adódóan redukáló kapacitása is van.



42. ábra A vesszők vizes kivonatának antioxidáns kapacitása (µMAS/g)



43. ábra A vesszők alkoholos kivonatának antioxidáns kapacitása (µMAS/g)

Ugyan hasonló tendenciák érvényesülnek, főleg az alkoholos kivonattal kapott eredményeknél, mint azt a fagy elleni védelemre felhalmozott polifenoltartalomnál tapasztaltunk, de úgy tűnik ez a vizsgálati módszer nem olyan érzékeny a stressztűrés kimutatására.

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

6.1. Fagytűrési vizsgálatok

A dió nem tartozik a legfagyérzékenyebb mérséklet égövi gyümölcsfajok közé, december és január hónapban akár mínusz 28-29 °C-os lehűlést is elviselnek az áttelelő szerveik (Westwood 1993; Szentiványi és Kállayné 2006; Kállayné 2014). A kritikus hőmérsékletek a cseresznye esetében -25°C , az őszibarack esetében -20 °C fokot körül vannak a téli nyugalmi időszak során (Szewczuk et al. 2007). Közép-Európában, így a Kárpát-medencében is ritkán fordulnak elő a diófák fás részeit télen károsító alacsony hőmérsékletek. Tavasszal azonban a rügyek kihajtása után a fiatal hajtások és a virágszervek gyakran károsodnak az ezeken a vidékeken lévő dióültetvényekben a visszatérő erős lehűlésektől. Ezért van jelentősége a nemesítés során a késői fakadású fajták szelektálásának (Szentiványi és Kállayné 2006; Kállayné 2014). A termésbiztonság hosszútávú megteremtéséhez azonban a termesztett diófajták téli nyugalmi időszak alatti fagytűrésének ismerete is nagyon fontos. Ezért kezdtük el részletesen vizsgálni a Magyarországon szelektált és nemesített, az ültetvényekben leginkább elterjed fajták téli fagyállóságát. Kontollként a kaliforniai ’Pedro’ fajtát használtuk. Kutatómunkánkhoz az is ösztönzést adott, hogy sem a hazai, sem a nemzetközi szakirodalomban nem állnak rendelkezésre részletes kutatási eredmények arról, hogy hogyan változik a diófajták generatív áttelelő szerveinek téli fagyállósága, mivel eddig csak szabadföldi megfigyelésre alapozták ezen eredményeket.

Három év nyugalmi időszakában minden vizsgálati alkalom során meghatároztuk a fajták LT_{50} értékét. Az általunk vizsgált három év közel azonos eredmények mutatott, ezért szignifikáns évjárathatást nem tudunk kimutatni. A vizsgálati éveinkben a legnagyobb fagytűrést a ’Tiszacsécsi 83’ fajta esetében tapasztaltunk. A legérzékenyebb a kontrollként használt ’Pedro’ fajta volt. Az ’Alsószentiváni kései’ fagytűrési értékei a ’Ticsacsécsi 83’ fajtához voltak hasonlóak. A ’Milotai 10’ értékei pedig a ’Pedro’ fagytűrésével voltak közel azonosak. A vizsgált hibridek között is megfigyeltünk eltéréseket. A ’Milotai intenzív’ fagyérzékenynek, a ’Milotai bőtermő’, ’Milotai kései’ közepesen fagytűrőnek, az ’Alsószentiváni 117’ fagytűrőnek bizonyult. A vegyesrügyek január folyamán voltak a legfagytűrőbbek. Valószínű, hogy januárban mért értékek a fajták genetikailag programozott legjobb fagytűrési értékeinek feleltek meg, bár ennek biztonságos meghatározása további

vizsgálatokat igényel. Charrier et al. (2011) kísérletei során januártól a rügyfakadásig kimutatható fajtahatást figyeltek meg, aminek nagyobb szerepe van már ebben az időszakban, mint a környezeti hatásnak.

Vizsgálati éveink időjárásáról elmondható, hogy október első hetében a minimum hőmérsékletek a szokásostól kissé alacsonyabbak voltak. Ezt követően a hőmérséklet a vártnak megfelelően alakult. A következő jelentősebb hirtelen lehűlések december közepén voltak, a vegyes rügyek edződésének második szakasza ezután következett. Január közepén ismét hirtelen erőteljes lehűlés következett, azonban a vegyes rügyek edzettségük maximumán vannak dió esetében így a legfagyérzékenyebb fajta esetében is átlagosan -23,8 °C-os fagytűrési középértéket mértünk. A januártól kezdődő folyamatos felmelegedést február folyamán egy-két hajnali lehűlés szakította csak meg, de mivel a felmelegedés nem volt gyors ütemű, így ezek a lehűlések nem jelentettek problémát és a vegyesrügyek megtartották fagyálló képességüket. A folytatódó felmelegedés hatására márciusban már magasabb LT_{50} értékeket mértünk. A vizsgálati időszakunk alatt hasonló időjárású telek voltak a kísérletünk helyén, ezért nem mutathatók ki szignifikáns évjárathatások. Hosszabb időtávú kísérletek során valószínűleg mutatkoznának különbségek, hiszen a klimatikus tényezőknek az áttelelő szervek fagyálóságára gyakorolt hatásait több mérséklet égövi gyümölcsfajnál kimutatták (Faust 1989; Tromp 2005; Szalay et al 2010, Szalay et al., 2016; Szalay et al., 2017). A dióra vonatkozó ilyen vizsgálati eredmények azonban nem találhatók a szakirodalomban.

Kísérleti eredményeinket nehéz összehasonlítani korábbi eredményekkel, mert más termőhelyeken más fajtákat vizsgáltak. A különböző módszerekkel történt vizsgálatok eredményei alapján azonban megállapítható, hogy az áttelelő szervek fagyállósága folyamatosan változik, az edződési és reedződési folyamatok lejátszódásában a genotípus és a környezeti tényezők egyaránt szerepet játszanak, és a fajták között jelentős különbségek vannak (Aslamarz et al., 2010a; Aslamarz et al., 2010b; Charrier et al., 2013 ; Guárdia et al., 2013; Charrier et al., 2018). Aslamarz et al. (2010a) vizsgálatai alapján a Teherán közelében fekvő ültetvényben gyűjtött ’Pedro’ fajta a legfagytűrőbb az eredményeik alapján. Ez alapján elmondható, hogy azonos fajták különböző klimatikus viszonyok hatására eltérő eredményt mutatnak. Ezeket a megállapításokat kísérleti munkánkkal mi is megerősítettük. A téli fagyállóság ismerete fontos a fajták termőhelyi alkalmasságának meghatározása

szempontjából, és a jövőben még inkább fontossá fog válni a klímaváltozásról szóló előrejelzések tükrében, hiszen a megváltozott klimatikus viszonyok hatással lesznek termesztett növényeink fejlődési folyamataira és tűrőképességük alakulására (Parmesan és Yoke 2003; Menzel et al 2006). A vizsgálatok kezdete 2013/2014 nyugalmi időszaka volt.

Első éves vizsgálataink alapján a legnagyobb fagytűréssel rendelkező fajtának a ’Tiszacsécsi 83’ (T83) fajtát ítéltük meg (13. táblázat). A további tájszelektált fajták esetében az ’Alsószentiváni 117’ (A117) fajta fagytűrőnek, a ’Milotai 10’ (M10) pedig fagyérzékenynek mutatkozott a vizsgálatban szereplő fajtákához viszonyítva. A hibridek esetében a következőt figyeltük meg. A legfagytűrőbb az összehasonlítás során az ’Alsószentiváni kései’ (A117-31), a ’Milotai kései’ (M10-14), ’Milotai bőtermő’ (M10-9) végül fagyérzékenynek a csoportból a ’Milotai intenzív’ (M10-37) mutatkozott. A szülő fajtákhoz viszonyítva az ’Alsószentiváni kései’ az ’Alsószentiváni 117’ anyai szülőhöz képest magasabb fagytűrést mutatott. A ’Milotai 10’ anyai szülőnek a hibridek sorában a ’Milotai bőtermő’ és a ’Milotai intezív’ fajta között található meg fagytűrése. A ’Pedro’ (P) fajta LT_{50} értékei alapján megállapítottuk, hogy a nyugalmi időszak első két hónapjában jelentős eltérések vannak a többi vizsgált fajtához képest a fagytűrésének alakulásában. December és január hónapban azonban az edződési folyamat hatására a legtöbb vizsgált fajtához közel azonos LT_{50} értékeket mértünk a ’Pedro’ esetében. Minden fajta esetében megfigyeltük a hőmérséklet csökkenésével párhuzamosan a fagytűrési értékek csökkenését, vagyis a hideghez való alkalmazkodást. Elmondható azonban, hogy minden fajta már októberre jelentős edzettséggel bír a hazai klíma viszonyokhoz nézve (Szügyiné et al., 2015).

13. táblázat A vizsgált fajták LT_{50} értéke (°C) 2013/2014 nyugalmi időszak kezdetén, a leghidegebb hónapban és a nyugalmi időszak végén

	’M10’	**’M10-9’**	**’M10-14’**	**’M10-37’**	**’A117’**	**’A117-31’**	**’T83’**	**’P’**
2013.10.13.	-14,83	-13	-14,22	-12,39	-13,48	-14,16	-14,92	-11,9
2014.01.08.	-25,37	-24,92	-24,47	-25,58	-27,15	-27,5	-27,6	-24,52
2014.03.10.	-16,3	-17,08	-18,7	-16,2	-17,7	-18,03	-17,5	-15,67

A vizsgálatok második évében, kisebb eltérések voltak tapasztalhatóak. Ezen eltéréseket a ’Milotai kései’ és a ’Milotai bőtermő’ fajta decemberi vizsgálata során figyeltük meg. Előző évben a ’Milotai bőtermő’, a 2014/2015-ös nyugalmi időszakban a ’Milotai kései’ fajta értékei voltak alacsonyabbak (14. táblázat). A márciusi vizsgálatkor az előző évihez hasonló tendenciát kaptunk. Az eltérések a fajta, valamint az évjárathatás miatt alakulnak ki. Az ’Alsószentiváni 117’ és az ’Alsószentiváni kései’ esetében az előző évhez hasonlóan alakultak az eredmények. A ’Tiszacsécsi 83’ ismét a legfagytűrőbbnek mutatkozott a nyugalmi időszak alatt. A ’Pedro’, a ’Miltoai 10’, a ’Milotai bőtermő’, és ’Milotai kései’ fagytűrése a nyugalmi időszak végére hamar kezdett csökkeni a többi fajtához képest. Márciusban is megfigyelhettünk akar 9 °C-os eltérést is (’Tiszacsécsi 83’- ’Pedro’).

14. táblázat A vizsgált fajták LT_{50} értéke (°C) 2014/2015 nyugalmi időszak kezdetén, a leghidegebb hónapban és a nyugalmi időszak végén

	’M10’	**’M10-9’**	**’M10-14’**	**’M10-37’**	**’A117’**	**’A117-31’**	**’T83’**	**’P’**
2014.10.13.	-13,54	-14,34	-14,42	-14,94	-13,44	-14,09	-14,68	-9,06
2015.01.09.	-22,96	-23,13	-22,26	-23,42	-23,91	-24,23	-26,38	-21,58
2015.03.02.	-15,11	-17,97	-19,19	-15,42	-20,67	-21,64	-23,62	-14,76

A vizsgálatok harmadik évében jelentősebb változást az ’Alsószentiváni kései’ fajta tekintetében figyeltünk meg, mivel január és február hónapban a legfagytűrőbb fajtának mutatkozott (15. táblázat). Ez az eredmény is azt mutatja, hogy mekkora jelentősége van magánk az évjárathatásnak, másrészt annak, hogy milyen kondícióval rendelkezik a növény a nyugalmi időszak kezdetén. A legfőbb megfigyelésünk a fajták esetében a külső hőmérséklet csökkenésével párhuzamosan a fagytűrési értékek csökkenése, valamint a felmelegedés hatására a fagytűrési értékek növekedése volt.

15. táblázat A vizsgált fajták LT_{50} értéke (°C) 2015/2016 nyugalmi időszak kezdetén, a leghidegebb hónapban és a nyugalmi időszak végén

	’M10’	**’M10-9’**	**’M10-14’**	**’M10-37’**	**’A117’**	**’A117-31’**	**’T83’**	**’P’**
2015.10.05.	-10,72	-10,23	-10,78	-11,18	-11,47	-11,79	-13,14	-9,6
2016.01.05.	-26,17	-26,56	-26,98	-25,93	-26,83	-29,38	-27,53	-25,53
2016.03.04.	-24,63	-25,86	-27,65	-23,62	-26,53	-27,89	-28,76	-22,94

Összességében elmondható, hogy a hazai klíma viszonyok mellett, abban az esetben mikor jelentős szélsőségek nem következnek be az időjárásban (hirtelen jelentős lehűlés, a nyugalmi időszak közepén erőteljesebb felmelegedés stb.) a magyar diófajta szortimentben megtalálható fajták biztonsággal termeszthetőek (Szügyiné et al., 2018).

6.2. Biokémiai vizsgálatok

A biokémiai vizsgálatok alkalmával nem csak a dió legérzékenyebb áttelelő részét a rügyet vizsgáltuk, hanem nyugalmi időszak kezdetén a leveleket, a nyugalmi időszakban a vesszőket, valamint a kihajtáskor a fiatal leveleket is bevontuk a kísérleteinkbe. A különböző növényi részekben a peroxidáz enzim és a polifenoltartalom változását követtük nyomon.

Enzim vizsgálatainkhoz kezdetben 10 fajtát a későbbiekben 5 fajtát vizsgálatunk. A következők alapján redukáltuk a fajtákat. A 'Milotai 10' és 'Alsószentiváni 117' fajta a két legjelentősebb fajta Magyarországon. A 'Pedro', mivel a keresztezéses nemesítés apai szülőfajtája. A 'Milotai intenzív' és 'Alsószentiváni kései' pedig a fagyérzékeny és a fagytűrő hibridet jeleníti meg. Előkísérleteink során a rügyekben mért enzimaktivitás változás összefüggött a fagytűrés alakulásával így vizsgálatainkat tovább folytattuk. 2015/2016- os nyugalmi időszakban az összes fajta esetében mind a levél (2015. szeptember), a háncs (2015. szeptember, október, november) és a rügy (2015. szeptember- 2016. március) tekintetében végeztük vizsgálatokat.

Azt tapasztaltuk, hogy a lehűlés hatására csökken a peroxidáz enzimaktivitás, majd márciusra ismét emelkedés következik be. Valamint megfigyeltük, hogy alacsonyabb volt a fagytűrő fajtákban a peroxidáz enzim mennyisége is a fagyérzékenyek fajtákhoz viszonyítva. Ez magyarázható a fajta hatással. A levelekben és a háncsban is a fagytűrőbb fajtánál kisebb enzimaktivitásbeli értékek mutatkoztak, mint az érzékenyebbeknél. A rügyek esetében azt tapasztaltuk, hogy bizonyos esetekben a fagytűrő fajta is tud magasabb enzimaktivitás beli változást produkálni, ami a fajtahatás vagy maga az egyedi növényi kondiciók kihatása. Fajtahatás figyelhető meg a hibridek és a szülő fajták között, mivel a hibridek értékei mindig köztes értékeket képviselnek.

A háncsrészben mért enzimaktivitás változás időben először növekedést mutat, majd csökkenést. A külső hőmérséklet csökkenésével (hidegstressz) a peroxidáz enzim növekedést mutat, majd mikor egy bizonyos edzettségi fokot elért a növény stagnálás vagy csökkenés figyelhető meg, mivel csökken a stresszhatás. Ez azért figyelhető meg mert a lombhullató fák fagytűrése több ütemben alakul ki (Tromp, 2005). A vizsgálatok során a 'Tiszacsécsi 83' mutatja a legkisebb értékeket, az érzékenyebb fajták pedig magasabb értékeket mutatnak. Ez összefüggésbe hozható azzal, hogy egy vegetációs folyamatban vagyunk benne, és bárminemű külső, vagy belső behatásra több szabadgyök képződhet, ami magával hozza a válaszreakciót, az eliminálásban résztvevő enzimek megnövekedett aktivitását. Ennek pontos igazolására akkor nyílna lehetőség, ha a különböző érzékenységű fajtáknak az azonos körülmények közötti csíráztatásából származó új egyedeiben az azonos fejlettségű állapotban mért enzimaktivitásait hasonlítanánk össze. Itt már egy fejlődési folyamatban vagyunk benne, ami részben az öregedéssel járó enzimaktivitás növekedést és az esetleges behatásokra, stresszre adott válaszokat is magában foglalja.

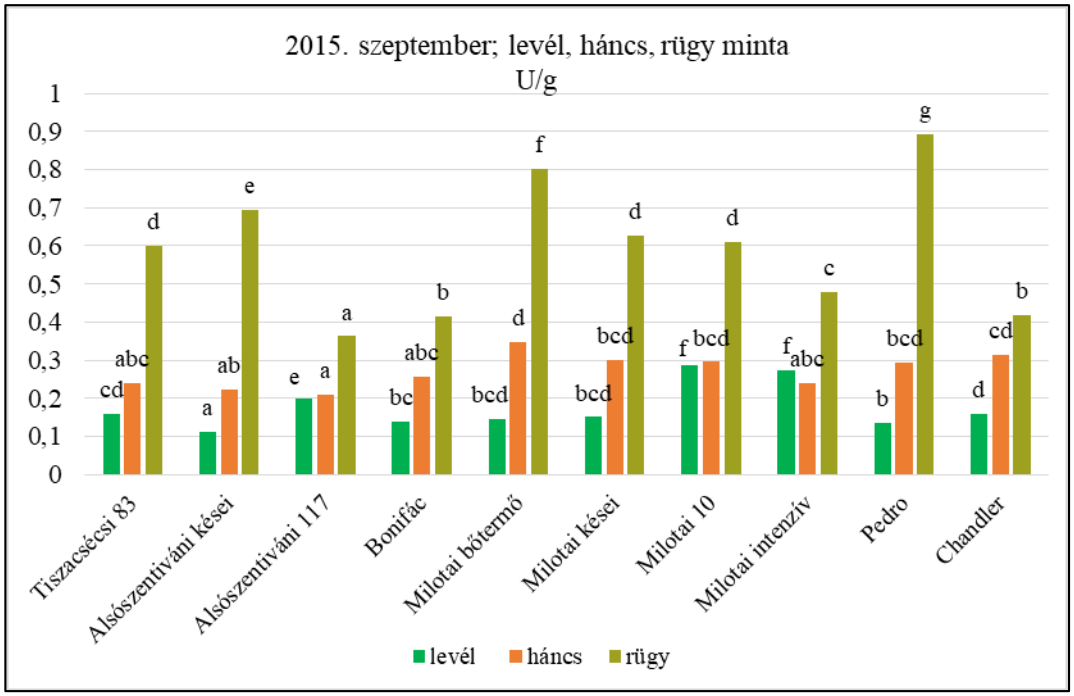
A kiválasztott fajták enzimaktivitását összehasonlítva megfigyeltük, a hőmérséklet változására adott stressz választ, október elején egy jelentős felmelegedés történt, amikor is több napig a napi maximum hőmérséklet 20 °C felett volt, amit az évszaknak megfelelő 13-16 °C követett. Ennek hatását figyelhettük meg az enzimváltozás kapcsán.

A 2015/2016 nyugalmi időszaka alapján a vizsgált fajták rügyeiben mért peroxidáz enzimváltozás a külső hőmérséklettel együtt járó edződés, majd a mélynyugalmi állapotból a kényszernyugalmi állapotba való átlépést tükrözi. Ősszel, tehát szeptemberben alacsony az enzimaktivitás, mely kismértékű emelkedést mutat októberre, a külső hőmérséklet csökkenésével párhuzamosan. Decemberre a fajták elérik maximális edzettségüket, hiszen ebben a hónapban a legmagasabb az enzimaktivitás. Januárra ismét csökken az érték, majd februárban mérjük a legalacsonyabb értékét. Ezen időszakban lépnek ki a fajták a mélynyugalmi fázisukból és mennek át kényszernyugalomba, abba az állapotba mikor a felmelegedés hatására megkezdődik a kihajtás. Februárban tehát a csökkenő enzimaktivitás mutatja a külső stressz csökkenését. A márciusi mérések pedig igazolják, hogy a februári visszaedződés hatására márciusra a fajták megint elérik maximális edzettségüket a

faggyal szemben. Erre azért van szükség, mivel a tavaszi fagyok tudják a legnagyobb kárt okozni az éves termésmennyiségben.

Az is látszik az eredményeinkből, hogy bár a nyugalmi időszak kezdetén, a rügyben, valamint a háncsban mért enzimaktivitási értékek ellentétesen találhatóak meg a fagytűrő és fagyérzékeny fajtákban, a nyugalmi időszak végére, vagyis a kényszernyugalmi időszakban már a fagytűrő fajtákban alacsonyabb és a fagyérzékeny fajtákban magasabb az enzimaktivitás mértéke.

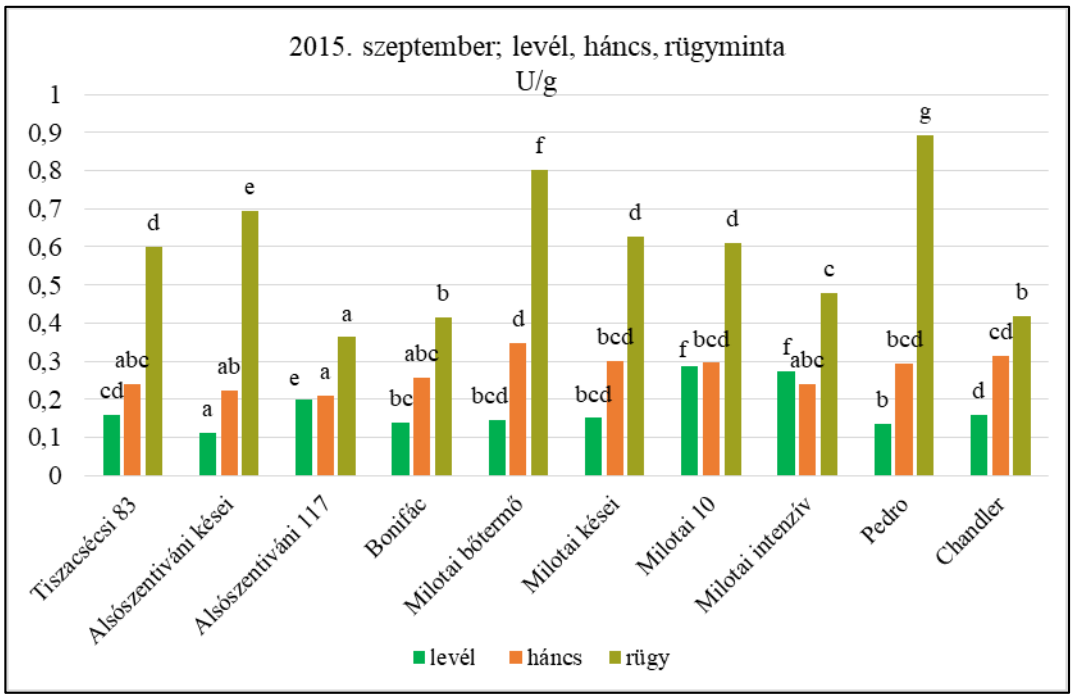
A peroxidáz enzimaktivitási vizsgálatokban szereplő különböző növényi részek összehasonlítása mutatja azon megállapításunkat, hogy a legmagasabb enzimaktivitás egy adott időszakot vizsgálva a rügyekben található (44.ábra).



44. ábra A 2015. szeptemberi levél, háncs és rügyminták peroxidáz enzimaktivitása (U/g) (Érd- Elvira major)

Jól láthatóan mindegyik fajtánál a levelekben (nedves tömegre vonatkoztatva) mértük a legkisebb enzimaktivitásokat, majd háncs és végül a rügyek értékei következtek. Jogosan merül fel a kérdés, hogy miért nem számoltuk át szárazanyagtartalomra az eredményeket, de úgy gondoltuk ezek az értékek a mindenkori mintavételkor tapasztalható eredményeket a legjobban szemléltetik, ami az egyes minták és fajták közötti különbségekben jut kifejezésre. Összességében elmondható, hogy az elképzeléseink helyesnek mutatkoztak, az enzimaktivitásban

látható különbségek, már most mindhárom növényi részben kimutathatók. Ezek a különbségek részben a genetikai hátérrel magyarázható, részben az időjáráshoz való alkalmazkodásból adódtak.



45. ábra. A végleges kísérleti minták 2015 szeptemberi levél, háncs és rügymintáinak peroxidáz enzimaktivitása (U/g) (Érd- Elvira, major)

A kiválasztott fajtáknál hasonló összefüggések mondhatók el mindhárom növényi részben. A levelek enzimaktivitás értékeit a háncsban, majd a rügyekben mért enzimaktivitások követik. A levelekben és a háncsban is a fagytűrőbb fajtánál kisebb enzimaktivitásbeli értékek mutatkoznak, mint az érzékenyebbeknél.

A rügyeknél ez nem mondható el, aminek az lehet a magyarázata, hogy minden faj és fajta esetében eltérő ütemben megy végig az edződés folyamata, így mivel az 'Alsószentiváni kései' és a 'Pedro' esetében nőtt az enzimaktivtás mértéke, elmondható, hogy a szeptemberi lehűléshez a rügyeik már hozzá edződtek. A többi fajta esetében a peroxidáz enzim alacsonyabb szintje viszont azt mutatja, hogy még nem érték el a megfelelő edzettségi szintet. A fagytűrés nem statikus hanem folyamatosan változó állapot.

Érdemes még megemlíteni, hogy a középen feltüntetett alapfajtákhoz képest a keresztezésből származóak szinte mindig, valamilyen köztes értéket képviselnek, ami

a szülőkben rejlő tulajdonságokra vezethető vissza. A rügyeknél különösen jól látszanak a nagyobb értékek.

A levelek tavaszi kihajtásakor megfigyelhető, hogy a fagytűrő fajták esetén az enzimaktivitás nagy, ezáltal egy kisebb lehűlést a fiatal levelek el tudnának viselni. A fagyérzékeny fajták esetében pont az ellenkezője történik, tehát az enzimaktivitás csökkenésével párhuzamosan hidegtűrésük is csökkent állapotban van, így nagy valószínűséggel egy hirtelen erősebb lehűlés a hajtások elfagyásához vezethetne. Azonban az idősebb levelek esetében már a fagyérzékeny fajtáknál volt magasabb az enzimaktivitás értéke. Megállapítottuk, hogy a fiatalabb részek alacsonyabb enzimaktivitásuk miatt kisebb ellenállóságot mutatnak, így a kora tavaszi fagyok ellen kevésbé tudnának védekezni.

A vesszők polifenoltartalmát és redukáló kapacitástást célzó kísérletben megállapítottuk, hogy az 'Alsószentiváni 117' kiemelkedő polifenol tartalma magasabb fagytűrést eredményez, míg a 'Milota 10' kevésbé sikeres a polifenol felhalmozásban, így érzékenyebb is. Az 'Alsószentiváni kései' vizsgálata során arra a megállapításra jutottunk fagytűrését is figyelembe véve, hogy később lép át a mélynyugalmi állapotból kényszernyugalmi állapotba. A 'Milotai intenzív' szignifikáns különbségeket mutat végig a vizsgálati időszakban, érzékenysége kitűnik. A 'Pedro' értékei inkább a négy másik fajta középértékénél található. Meglátásunk szerint mivel melegebb klímáról származik, a fagyok elviseléséhez sokkal magasabb polifenoltartalom szükséges számára, mint a hazai klímaviszonyok között szelektált és nemesített fajta esetében, annak ellenére, hogy fagytűrése közel azonos vagy gyengébb. Az alkoholos kivonás tekintetében, hasonló tendenciák érvényesülnek, azonban úgy tapasztaltuk, hogy ez a módszer nem olyan érzékeny stressztűrtés kimutatására. Ezért megítélésünk szerint elegendőnek tűnik vizsgálni csak a polifenoltartalmat, ott azonban további vizsgálatokból szerzett tapasztalatok alapján el lehet dönteni, hogy melyik, az olcsóbb vizes, vagy a drágább alkoholos kivonást alkalmazzuk.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- Hazai körülmények között elsőként vizsgáltam és mutattam ki összefüggést a dió fajták fagytűrése és néhány biokémiai paraméter között.
- Elsőnek határoztam meg hét magyar, valamint egy külföldi diófajta vegyesrügyeinek fagytűrését nyugalmi időszakban mesterséges eljárással, lineáris regressziós modellel.
- Hazai körülmények között mérésekkel bizonyítottam, hogy a dió különböző növényi részeiben és különböző fenológiai fázisaiban mért peroxidáz enzim aktivitása és polifenoltartalom alkalmas a fajták fagytűrőképességének jellemzésére.
- Igazoltam, hogy a növényi szervek közül a rügyekben mért peroxidáz enzim aktivitás követi a legjobban a fajták edződési folyamatát a fagytűrésben.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A mai egészséges életmódot követő emberek számára nagyon hasznos táplálék kiegészítő a dió. Számos krónikus megbetegedés is kiküszöbölhető fogyasztásával. A benne található értékes anyagoknak köszönhetően csökkenthető a szívbetegségek kockázata, hatékony a magas vérnyomás ellen, de még a koleszterinszint is csökkenthető vele. Másodlagos anyagcseretermékei közül a polifenolos vegyületeinek, antioxidáns (redukáló) tulajdonságai miatt hosszú távon sokat tehetünk az immunrendszer erősítéséhez.

A dió (*Juglans regia* L.) gyenge ökológiai adaptációs képességgel rendelkezik, ezért termesztése szempontjából kulcsfontosságú a megfelelő terület kiválasztása, az optimális termésbiztonság elérése érdekében. Értekezésem során célul tűztük ki, hogy a magyar fajtaszortimentben található diófajták fagytűrésének tanulmányozását, olyan módszerek kiválasztásával végezzük, amelyek könnyen, gyorsan, olcsón kivitelezhetők a legegyszerűbb felszereltséggel bíró, a termesztéshez kapcsolódó vizsgálatokat végző laboratóriumokban.

A téli és a tavaszi fagykárok gyakran jelentős terméskiesést, veszteséget okoznak a gyümölcstermsztésben. A mérséklet égövi lombhullató fák áttelelő szervei közül a téli nyugalmi időszakban a generatív szervek (virágrügyek, vegyesrügyek) a leginkább fagyérzékenyek, ezek károsodnak a leggyakrabban. A genotípusok fagyállóságának meghatározása során ezért mindig is ezen szervek vizsgálatára helyzeték a fő hangsúlyt (Proebsting and Mills, 1978; Faust 1989; Tromp 2005; Bartolini et al., 2006; Szalay et al., 2010; Salazar- Gutiérrez, 2014). A diófák (*Juglans regia* L.) ugyanolyan termikus körülmények között (beleértve az állandó enyhe hőmérsékletet is) eltérő szintű fagyállóságot mutathatnak (Charrier et al., 2013). A fagyállóságot a genetikai tulajdonságok mellett a környezeti tényezők is nagymértékeben befolyásolják, ezért a fajták fagyállóságának alakulása eltérő lehet különböző termőhelyeken és évjáratokban (Pénzes és Szalay, 2003; Szentiványi és Kállayné 2006). További befolyásoló tényező a fák általános kondíciója (Poirier et al., 2010). Az áttelelő szervek fagyállóságának meghatározásához a legpontosabb módszer a mesterséges fagyasztásos vizsgálat (Pedryc, 1999; Miranda et al. 2005; Szalay et al., 2010). A fagytűrés meghatározására leggyakrabban az LT_{50} értékeket használják (Lindén és Palonen, 2000; Szalay et al 2010., Ferguson et al., 2011; Salazar-Gutiérrez et al., 2014).

Magyarország a dió termeszthetőség északi határán helyezkedik el. Bár a dió mediterrán jellegű faj a megfelelő kondícióban lévő fák a téli lehűlés során akár a - 30°C- os hideget is elviselik fagykár nélkül. A jelentős problémát a kora- és késő tavaszi fagyok okozzák, mikor már a kihajtásban lévő növényi részek már (-) 1-2 °C is elfagynak (Szentiványi, 1978).

A vizsgálatokat 2013/2014 nyugalmi időszakában kezdtük. Ezen időszakban a legnagyobb fagytűréssel rendelkező fajtának a 'Tiszacsécsi 83' fajtát találtuk. A további tájszelektált fajták esetében az 'Alsószentiváni 117' fajta fagytűrőnek, a 'Milotai 10' pedig fagyérzékenynek mutatkozott a vizsgálatban szereplő fajtákhoz viszonyítva. A hibridek esetében a legfagytűrőbb az 'Alsószentiváni kései', a 'Milotai kései', 'Milotai bőtermő' végül fagyérzékenyek a csoportból a 'Milotai intenzív' mutatkozott. A 'Pedro' fajta LT_{50} értékei alapján megállapítottuk, hogy a nyugalmi időszak első két hónapjában jelentős eltérések voltak a többi vizsgált fajtához viszonyítva. A vizsgálatok második évében hasonló tendenciát figyeltünk meg. A vizsgálatok harmadik évében jelentősebb változást az 'Alsószentiváni kései' fajta tekintetében mutatkozott meg. Ez a megfigyelés mutatja, hogy egyrészt mekkora jelentősége van magának az évjárathatásnak, másrészt annak, hogy milyen kondícióval rendelkezik a növény a nyugalmi időszak kezdetén. A fajták esetében a külső hőmérséklet csökkenésével párhuzamosan a fagytűrési értékek növekedése, valamint a felmelegedés hatására a fagytűrési értékek csökkenése volt látható. Hazai klíma viszonyok mellett, abban a helyzetben a magyar diófajta szortimentben megtalálható fajták biztonsággal termeszthetőek.

A biokémiai vizsgálatok alkalmával, különböző növényi részekben (levél, háncs, rügy, vessző) a peroxidáz enzim és a polifenoltartalom változását követtük nyomon. Először az összes hazai fajta bekerült a vizsgálatokba, mely során összefüggést tapasztaltunk az enzim aktivitásbeli változása és a fagytűrés között.

A fagytűrő fajták esetében a peroxidáz enzim mennyisége alacsonyabb volt mint fagyérzékenyek fajták esetében. A levelekben és a háncsban is a fagytűrőbb fajtánál kisebb enzimaktivitásbeli értékek mutatkoznak. Fajtahatás figyelhető meg a hibridek és a szülő fajták között, mivel a hibridek értékei mindig köztes értékeket képviselnek.

Egy hosszabb fenológiai fázis, szeptember és március között mért peroxidáz enzimaktivitásának vizsgálatakor mind a rügyben, mind a háncsban egy ciklizáló mozgás volt tapasztalható az edződési folyamat hatására, majd a kihajtáshoz alkalmazkodóan.

A 2015/2016 évi vizsgálatok alapján a rügyekben mért peroxidáz enzim aktivitásbeli változása azt mutatja, hogy szeptember és október között egy emelkedés tapasztalható, a külső hőmérséklet csökkenésével párhuzamosan, ami decemberre éri el a maximumát, amikor a fajták elérik edzettségüket az időjárásnak megfelelően. Januárban és februárban tovább folytatódik a csökkenés. Ilyenkor a növények elérik a hideghatást, ami a rügydifferenciálódáshoz szükséges és lépnek a mélynyugalmi fázisukból kényszernyugalomba. A márciusi értékek növekedése a kihajtáshoz kapcsolódó, amikor még a kora tavaszi fagyok kárt tehetnek az érzékenyebb növényi részekben, így mindenképp a védekezés érdekében emelkedik a peroxidáz enzimaktivitása a fajták esetében.

A májusi levelek kihajtásakor a legfiatalabb levelekben mért enzimaktivitási értékek eltérően alakulnak az eddig idősebb növényi részekben mért enzimaktivitásoktól. A fagytűrő fajták esetén az enzimaktivitás nagyobb a fiatalabb levelenél, mintegy jobban fel vannak készülve egy stresszhelyzetre, mint a kisebb enzimaktivitással rendelkező érzékeny fajták. Feltételezhetően a nagyobb enzimaktivitással rendelkező fajták esetében kisebb lehűlést a fiatal levelek el tudnának viselni, míg a fagyérzékeny fajták esetében az enzimaktivitás csökkenésével párhuzamosan hidegtűrésük is csökkent állapotban van, így nagy valószínűséggel egy hirtelen erősebb lehűlés a fiatal hajtások elfagyásához vezethetne.

A vesszők polifenoltartalmát és redukáló kapacitástást célzó kísérletekben megállapítottuk, hogy az 'Alsószentiváni 117' kiemelkedő polifenol tartalma nagyobb fagytűrést eredményez. A fagyérzékeny 'Milotai 10' kevésbé sikeres a polifenol felhamozásban. Az 'Alsószentiváni kései' lép át a mélynyugalmi állapotból kényszernyugalmi állapotba. A 'Milotai intenzív' érzékenysége kitűnik, szignifikáns különbségeket mutat végig a vizsgálati időszakban. A 'Pedro' értékei inkább középértékeknél találhatóak. Mivel melegebb klímáról származik, a fagyok elviseléséhez nagyobb polifenoltartalom szükséges számára, mint a hazai

klímaviszonyok között szelektált és nemesített fajta esetében, annak ellenére, hogy fagytűrése közel azonos vagy gyengébb.

A vesszők antioxidáns kapacitásának vizsgálatai nem hozták a várt eredményeket, nem tudtunk jó összefüggésket kimutatni a fagytűréssel kapcsolatban.

Összességében megállapítható, hogy az általunk választott, könnyen, gyorsan és viszonylag olcsón kivitelezhető spektrofotometriai mérések, a peroxidáz enzimaktivitásának és az összes polifenoltartalomnak a meghatározása alkalmas módszereknek bizonyultak a különböző fagyérzékenységet mutató diófajták jellemzésére, és a köztük levő kapcsolatok feltárására.

SUMMARY

Walnuts are an extremely useful dietary supplement for people attempting to follow a healthy diet. Among their secondary metabolic products it is the polyphenolic compounds that are able to strengthen the immune system, due to their great antioxidant (reducing) properties. Unfortunately walnut (*Juglans regia* L.) has poor ecological adaptability, so it is vital to choose a suitable growing site for its cultivation if crop safety is to be achieved. The aim of the present work was to investigate the frost tolerance of the walnut cultivars grown in Hungary using methods that can be carried out easily, rapidly and cheaply in laboratories with the most basic equipment.

Winter and spring frosts often cause substantial yield losses in fruit production. Among the overwintering organs of deciduous trees, the generative organs (flower buds, mixed buds) are the most frost-sensitive during the winter dormancy period, so it is these that suffer the most frequent damage. Frost resistance is greatly influenced not only by genetic traits, but also by environmental factors, so the actual level of resistance may differ from one growing site and one year to the other (Pénzes and Szalay, 2003; Szentiványi and Kállayné, 2006). The most exact method for the determination of the frost resistance of overwintering organs is the use of artificial freezing tests (Pedryc, 1999; Miranda et al., 2005; Szalay et al., 2010). In most cases the LT_{50} index is used for the determination of frost tolerance (Lindén and Palonen, 2000; Szalay et al., 2010; Ferguson et al., 2011; Salazar-Gutiérrez et al., 2014). The most serious problems are caused by early and late spring frosts, when plant organs in the bursting stage may be frost-killed even at temperatures of minus 1–2°C (Szentiványi, 1978).

In the course of artificial freezing tests, the mixed buds of the tested cultivars were found to have the best frost tolerance in January in all three winter dormancy periods. As the LT_{50} values of the cultivars did not differ significantly between years, it was concluded that the trees had reached the maximum level of frost resistance that was genetically possible, though further years of study will be required to provide convincing proof of this. Differences between the cultivars as regards the winter frost resistance of the mixed buds were analysed on the basis of the January data. The January results of the three-year series of experiments allowed the cultivars to be ranked in three homogeneous groups in terms of frost sensitivity. The comparison showed cultivar ‘Pedro’ to be frost-sensitive; ‘Milotai kései’, ‘Milotai 10’, ‘Milotai

bőtermő' and 'Milotai intenzív' were classified as moderately frost-tolerant, while 'Alsószentiváni 117', 'Alsószentiváni kései' and 'Tiszacsécsi 83' proved to be frost-tolerant.

In the course of biochemical analysis, cultivars with better frost tolerance exhibited lower enzyme activity in the leaves and phloem. A genotype effect could be observed between the hybrids and the parental cultivars, as the hybrids always had intermediate values. Measurements on the activity of the peroxidase enzyme over a long phenological phase, from September to March, detected cyclic movement in both the buds and phloem in response to the hardening process and later in the bud break stage. The higher values registered in March correlated with bud break, when early spring frosts may damage more sensitive plant organs. Higher peroxidase enzyme activity is therefore important for frost protection. The enzyme activity values measured in the youngest leaves during leaf burst in May differed from those recorded previously for older plant organs. It is hypothesised that the young leaves of cultivars with greater enzyme activity would be capable of surviving mild chilling, while in the case of frost-sensitive cultivars the drop in enzyme activity is accompanied by reduced cold tolerance, so a sudden drop in temperature is more likely to cause frost damage in young shoots.

In experiments aimed at determining the polyphenol content and reducing capacity of the shoots it was found that the outstanding polyphenol content of 'Alsószentiváni 117' resulted in greater frost tolerance, while the frost-sensitive cultivar 'Milotai 10' accumulated less polyphenol and the values recorded for 'Pedro' were medium. As this cultivar was bred in a warmer climate, it requires higher polyphenol content if it is to survive frosts than cultivars selected and bred under Hungarian conditions, despite the fact that its frost tolerance is almost the same or poorer. Investigations on the antioxidant capacity of the shoots did not produce the expected results, as it was not possible to demonstrate clear correlations between these values and the frost tolerance of the cultivars. All in all, it can be stated that spectrophotometric measurements and the determination of peroxidase enzyme activity and total polyphenol content, chosen as they can be easily, rapidly and relatively cheaply performed, are suitable methods for the characterisation of walnut cultivars with different levels of frost sensitivity and for detecting correlations between the various parameters.

MELLÉKLETEK

M1. Irodalomjegyzék

1. AITKEN, S. N., ADAMS, W.T., SCHERMANN, N., FUCHIGAMI, L.H. (1996): Family variation for fall cold hardiness in two Washington populations of coastal Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii var. menziesii (Mirb.) Franco). For Ecol Manage (80) 187–195. p.
2. AMARAL, J. S., SEABRA, R.M., ANDRADE, P.B., VALENTÃO, P., PEREIRA, J.A., FERRERES, F.(2004): Phenolic profile in the quality control of walnut (Juglans regia L.) leaves. Food Chemistry (88) 373-379. p.
3. AMÉGLIO, T., DECOURTEIX, M., ALVES, G., VALENTIN, V., SAKR, S., JULIEN,J.L.,PÉTEL, G., GUILLIOT, A., LACO, A. (2004): Temperature effects on xylem sap osmolarity in walnut trees: evidence for a vitalistic model of winter embolism repair. Tree Physiol (24) 785–793. p.
4. ANDREWS, P.K., PROEBSTING, E.L., GROSS, D.C., (1983): Differential thermal analysis and freezing injury of deacclimating peach and sweet cherry reproductive organs. J. Am. Soc. Hort. Sci. (108) 755±759. p.
5. ARADHYA, M., WOESTE, K., VELASCO, D. (2010): Genetic diversity, structure and differentiation in cultivated walnut (*Juglans regia* L.). Acta Horticulturae (861) 127–132. p.
6. ARRANZ, S., PÉREZ-JIMÉNEZ, J., SAURA-CALIXTO, F. (2008): Antioxidant capacity of walnut (Juglans regia L.): contribution of oil and defatted matter. European Food Reaearch and Technology (227) 425-431. p.
7. ARONSSON, A. (1975): Influence of photo- and thermoperiod on the initial stages of frost hardening and dehardening of phytotron-grown seedlings of scots pine (Pinus sylvestris L.) and Norway spruce (Picea abies L. Karst.) Stud For Suec (128) 1–20.p.
8. ASHWORTH, E.N., WISNIEWSKI, M.E., (1991): Response of fruit tree tissues to freezing temperatures. Hort. Sci. (104) 444-449.p.
9. ASLAMARZ, A. A., VAHDATI, K., RAHEMI M. (2010a): Supercooling and cold- hardiness of acclimated and deacclimated buds and stems of Persian walnut culitvars and selections. Horticultural Science. 45 (11): 1662-1667. p.

10. ASLAMARZ, A. A., VAHDATI, K., RAHEMI M. (2010b): Cold- hardiness evaluaton of Persian walnut by thermal analysis and freezing technique. VIth International Walnut Symposium. ISHS. Acta Horticulturae 861: 269-272.p.
11. BALDOCCHI, D., WONG, S. (2008): Accumulated winter chill is decreasing in the fruit growing regions of California. Clim Chang (87) 153–166. p.
12. BENZIE, I. F. F., STRAIN, J. J. (1966): The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of ’Antioxidant Power”: The FRAP Assay. Analytical Biochemistry, 239 (1) 70-76. p.
13. BENZIE, I. F. F. (2000): Evolution of antioxidant defence mechanisms. *European Journal of Nutrition,* (39) 53-61.p.
14. BÍRÓ, GY., LINDNER, K. (1999): Tápanyagtáblázat, Táplálkozástan és tápanyag-összetétel. Medicina Könyvkiadó Rt. Budapest. 143.p., 195.p., 214.p.
15. BORCHERS, A. T., HYSON, D. A. (2003): Nutrition value of fruit. 185-194 p. – In: Baugher, T. A., Singha, S. (eds.): Concise encyclopedia of temperature tree fruit. Binghampton: The Haworth Press
16. BOTU, I., BOTU, M., ACHIM, G. (2001): Cultura nucului in exploatatii nucicole moderne. Phoenix, Brasov. 54-55. p.
17. BRAVO, L.A, ULLOA, N., ZUNIGA, G.E., CASANOVA, A., CORCUERA, L.J. AND ALBERDI, M. (2001): Cold resistance in Antarctic angiosperms. Physiol. Plant. (111) 55-65.p.
18. BRUNETON, J. (1993): Pharmacogosie, phytochimie, plantes medicinales. Paris: Tec.&Doc.- Lavoisier. 348.p.
19. BÖDDI, B. (2002): Szénhidrát-anyagcsere és légzés. 265-347 p.- In : Láng F. (szerk): Növényélettan. A növényi anyagcsere 1-2. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó.
20. BUJDOSÓ, G. (2002): Dióültetvényt pollenadóval telepítsünk! Kertészet és Szőlészet. 44(51) 8.p.
21. BUJDOSÓ, G. (2004): Előnyben a helyi fajták. Kertészet és Szőlészet. 53 (51- 52) p. 12.-13.
22. BUJDOSÓ, G. (2009): szóbeli közlés
23. BUJDOSÓ G. (2013): International breeding trends and the most important new cultivars of nuts In: É. Németh Zámboriné, Sz. Sárosi, L. Horváth (eds.): Modern Horticulture. Corvinus University of Budapest, Faculty of Horticultural Science, 2013. (digital book, ISBN: 978-963-503-552-6)

24. BUJDOSÓ, G., VÉGVÁRI, GY., HAJNAL, V., FICZEK, G., TÓTH, M. (2014): Phenolic Profile of the Kernel of Selected Persian Walnut (*Juglans regia* L.) Cultivars. *Not Bot Horti Agrobo,* 42(1), 24-29. p.
25. BUJDOSÓ, G., GANDEV, S., IZSÉPI F., SZÜGYI- BARTHA K., VÉGVÁRI, GY. (2019): Detection and quantification of some phenolic compounds in kernel of selected Hungarian and Bugarian Persian walnut cultivars. European Journal of Horticultural Science (ISSN: 1611-4426) (eISSN: 1611-4434): Eur. J.Hortic.Sci. 84 (2) 85-90 | DOI: 10.17660/eJHS.2019/84.2.4 (IF_{2019}=0,726) (Q2)
26. BUJDOSÓ, G., FODOR, A., VÉGH, A. (2020): BD6 walnut. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 8, 1393-1394.p. https://doi.org/10.21273/HORTSCI15148-20
27. CADENAS E. (1989): Biochemistry of oxigen-toxicity. *Annual Review of Biochemistry,* (58) 79-110. p.
28. CHARRIER, G., BONHOMME, M., LACOINTE, A., AMÉGLIO, T. (2011): Are budburst dates, dormancy and cold acclimation in walnut trees (Juglans regia L.) under mainly genotypic or environmental control? International Journal of Biometeorology, 55(6), 763–774.p., doi:10.1007/s00484-011-0470-1
29. CHARRIER, G., POIRIER, M., BONHOMME, M., LACOINTE, A., AMÉGLIO, T. (2013): Frost hardiness in walnut trees (Juglans regia L.): How to link physiology and modelling? Tree Physiology, 33 (11) 1229–1241.p. https://doi.org/10.1093/treephys/tpt090
30. CHARRIER, G., LACOINTE, A., AMÉGLIO, T. (2018): Dynamic Modeling of Carbon Metabolism During the Dormant Period Accurately Predicts the Changes in Frost Hardiness in Walnut Trees Juglans regia L. Front. Plant Sci. (9) 1746.p., doi: 10.3389/fpls.2018.01746
31. CHRISTOPOULOS, M. V., TSANTILI, E. (2012): Storage of fresh walnuts (Juglans regia L.)-low temperature and phenolic compounds. Postharvest Biol. Technol. (73) 80-88.p.
32. CHU, Y., SUN, J., WU, X., LIU, R. H. (2002): Antioxidant and antiproliferative activities of common vegetables. Journal of Agricultural and Food Chemistry, (50) 6910–6916.p.
33. COSMULESCU, S., TRANDAFIR, I. (2011a): Variation of phenols content in walnut (*Juglans regia* L.). *South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment* 1(2),25-33.p.

34. COSMULESCU, S., TRANDAFIR, I. (2011b): Seasonal variation of total phenols in leaves of walnut (*Juglans regia* L.). *J Med Plants Res* 5(19) 4938-4942. p.
35. CRAMER, G.R., URANO, K., DELROT, S., PEZOTTI, M., SHINOZAKI, K. (2011): Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. BMC Plant Biology 11, (163) 2011. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-163
36. CREPINSEK, Z., SOLAR, M., STAMPAR, F., SOLAR, A. (2009): Shifts in walnut (Juglans regia L.) phenology due to increasing temperatures in Slovenia. J Hort Sci Biotech (84) 59–64.p.
37. CUSHMAN, J.C., BOHNERT, H. J., (2000): Genomic approaches top lant stress tolerance. Current Opinion in Plant Biology, 3 (2) 117-124. p.
38. DAVIES, K. J. A. (2000): Oxidative stress, antioxidant defenses, and damage removal, repair,and replacement systems. *Iubmb Life*, (50) 279-289.p.
39. DJURIC, Z., DEPPER, J. B., UHLEY, V., SMITH, D., LABABIDI, S., MARTINO, S. HEILBRUN, L. K. (1998): Oxidative DNA damage levels in blood from women at high risk for breast cancer are associated with dietary intakes of meats, vegetables, and fruits. *Journal of the American Dietetic Association,* (98) 524-528.p.
40. DORNYAY, B. (1937): A dió őshonossága a Balaton vidékén. Balatoni Kurir. Tapolca
41. ESCOBAR, M.A., LESLIE, C.A., MCGRANAHAN, G.H., DANDEKAR, A.M. (2002): Silencing crown gall disease in walnut (Juglans regia L.) Plant Sci 163:591-597.p.
42. FADY, B., DUCCY, F., ALETA, N., BECQUEY, J., DIAZ VAZQUEZ, R., FERNANDEZ LOPEZ, F., JAY-ALLEMAND, C., LEFÈVRE, F., NINOT, A., PANETSOS, K., PARIS, P., PISANELLI, A., RUMPF, H. (2003): Walnut demonstrates strong genetic variability for adaptive and wood quality traits in a network of juvenile field tests across Europe. New For (25) 211–225.p.
43. FAROKHZAD, A., NOBAKHT, S., ALAHVERAN, A., SARKHOSH, A., MOHSENIAZAR, M. (2018): Biochemical changes in terminal buds of three different walnut (Juglans regia L.) genotypes during dormancy break. Biochemical Systematics and Ecology, (76) 52–57. p. doi:10.1016/j.bse.2017.12.002

44. FAUST, M. (1989): Physiology of Temperate Zone Fruit Trees. John Wiley and Sons, New York. 338 p.
45. FELDMAN, E. B. (2002): The Scientific Evidence for a Beneficial Health Relationship Between Walnuts and Coronary Heart Disease. LSRO Report, Journal of Nutrition, (132) 1062-1101.p.
46. FEREIDOON SHAHIDI, M. N.(2004): "Phenolics in Food and Nutraceuticals." 575. Boca Raton
47. FERGUSON J.C., TARARA J.M., MILLS L.J., GROVE G.G., KELLER M. (2011): Dynamic thermal time model of cold hardiness for dormant grapevine buds.AnnBot,107(3):389-396.p.
48. FIGUEROA, F., MARHUENDA, J., GIRONÉS-VILAPLANA, A., VILLAÑO, D., VILLAÑO, A., MULERO, J., CERDÁ, B., ZAFRILLA, P., (2017): "SOIL AND CLIMATE DETERMINE ANTIOXIDANT CAPACITY OF WALNUTS". Emirates Journal of Food and Agriculture, 29 (7) 557-61.p., doi:https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-10-1390.
49. FLINN, C.L., ASHWORTH, E.N., (1995): The relationship between carbohydrates and flower bud hardiness among three Forsythia taxa. J. Am. Soc. Hort. Sci. (120) 607-613.p.
50. FRAIRE-VELÁZQUEZ, S., BALDERAS-HERNÁNDEZ, V. E. (2013): Abiotic stress in plants and metabolic responses. (In): Abiotic Stress, Plant responses and applications in Agriculture (szerk): Kourosh Vahdati, Chales Leslie. 25- 48.p. https://dx.doi.org/10.5772/54859
51. FRIEDRICH, G. (1956): Der Obstbau. Neumann Verlag, Leipzig
52. FRUTOS D., LÓPEZ G. (2012): Search for Juglans regia genotypes resistant/tolereant to *Xanthomonos arboricola* pv. *juglandis* in the framework of Cost Action 873. Journal of Plant Pathology. 1 (94): 1.37-1.46 p.
53. FUKUDA, T., ITO, H.–YOSHIDA, T. 2003. Antioxidative polyphenols from walnuts (Juglans regia L), Phytochemistry 63, p. 795-801
54. FUKUDA, T., ITO, H., YOSHIDA, T. (2004): Effect of the walnut polyphenol fraction on oxidative stress in Type 2 diabetes mice. Biofactors. (21) 251-254.p.
55. FUKUDA T., ITO H., HATANO T., YOSHIDA T. (2006): Walnut polyphenols: their structures and functions. *Journal of the Pharmaceutical Society of Japan* 126, 32-35. p.

56. GAUTHIER M.M., JACOBS D. F. (2011): Walnut (*Juglans* spp.) ecophysiology in response to environmental stresses and potential acclimation to climate change. CropBiotechUpdate.
57. GERMAIN, E., PRUNET, J. P., GARCIN, A. (1999): Le Noyer. Monográfia. Ctifl, Franciaország.
58. GRACE, S. C., LOGAN, B. A. (2000): Energy dissipation and radical scavenging by the plant phenylpropanoid pathway. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. (3559) 1499-1510.p.
59. GREER, D.H., ROBINSON, L.A., HALL, A.J., KLAGES, K., DONNISON, H. (2000): Frost hardening of Pinus radiata seedlings. Effect of temperature on relative growth rate, carbon balance and carbohydrate concentration. Tree Physiol (20) 107–114.
60. GUÀRDIA, M., SAVÉ, R., DÍAZ, R., VILANOVA, A., ALETÀ, N. (2013): Genotype and environment: two factors related to autumn cold hardiness on Persian walnut (Juglans regia L.); Annals of Forest Science (70) 791–800.p. DOI 10.1007/s13595-013-0328-2
61. GUY, C.L., (1990): Cold acclimation and freezing stress tolerance: role of protein metabolism. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. (41) 187-223.p.
62. HALLIWELL, B., GUTTERIDGE, J. M. C. (1995): The definition and measurement of antioxidants in biological-systems. *Free Radical Biology and Medicine*, (18) 125-126.p.
63. HAMER, P.J.C., (1983): Evaporative cooling of apple buds: the effect of timing of water application on bud development and frost resistance of the cv Cox's Orange Pippin. J. Hort. Sci. (58) 153-159.p.
64. HAMINIUK, C. W. I., MACIEL, G. M., PLATA- OVIEDO, M. S. V., PERALTA, R. M. (2012): Phenolic compounds in fruits- an overview. Internation Journal of Food Science & Technology. 847) 2023- 2044.p.
65. HARSÁNYI, J., MÁDY, R-NÉ. (szerk.) 2005. Szőlő- és gyümölcsfajták leíró jegyzéke 2004/2005. OMMI Sokszorosító Üzeme, Budapest. 130.p.
66. HASSANI,D.,MOZAFFARI,M.R.,SOLEIMANI,A.,DASTJERDI,R.,REZAEE, KESHAVARZI,M.,VAHDATI, K., FAHADAN,A., ATEFI A. (2020): Four New Persian Walnut Cultivars of Iran: Persia, Caspian, Chaldoran, and Alvand. American Society for Horticultural Science. (55) 7 DOI**:** https://doi.org/10.21273/HORTSCI15044-20

67. HAVSTEEN, B. H., (2002): The biochemistry and medical significance of flavonoids. Pharmacology & Therapeutics. (96) 67-202.p.
68. HEAD, G.C., (1959): Some effects of temperature on the frost resistance of apple ¯owers. J. Hort. Sci. (34) 1-6.p.
69. HEGEDŰS, A., S., BÁNYAI, É., (2012): A szabadgyök reakciók felismerése a biológia, orvostudomány nagy felfedezése. In: Bányai É., Hegedűs A. (szerk.): Természtes antioxidáns forrásunk: a gyümölcs. Debreceni Egyetem, AGTC, Kertészettudományi Intézet. 23-45 p.
70. HEINONEN, I. M., MEYER, A. S., FRANKEL, E. N. (1998): Antioxidant activity of berry phenolics on human low-density lipoprotein and liposome oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* (46) 4107-4112.p.
71. HEMERY, G., SAVILL, P.S., THAKUR, A. (2005): Height growth and flushing in common walnut (*Juglans regia* L.): 5-year results from provenance trials in Great Britain. F*orestry* (78) 121–133. p. DOI: 10.1093/forestry/cpi012
72. HEMERY, G.E., CLARK, J.R., ALDINGER, E., CLAESSENS, H., MALVOLTI, M.E., O'CONNOR, E., RAFTOYANNIS, Y., SAVILL, P.S., BRUS, R. (2010): Growing scattered broadleaved tree species in Europe in a changing climate: a review of risks and opportunities. For (83) 65–81.p.
73. HRIČOVSKY, I. (szerk.) (2000): Pomologia. I. kötet
74. JAKOPIČ, J., VEBERIČ, R., ŠTAMPAR, F. (2009): Extraction of phenolic compounds from green walnut fruits in different solvents. *Acta Agric. Slov.*, 93(1) 11-15.p. DOI:10.2478/v10014-009-0002-4
75. JEFFERY, E.H., BROWN, A.F., KURILICH, A.C., KECK, A.S., MATUSHESKI, N., KLEIN,B.P.,JUVIK, J.A. (2003): Variation in content of bioactive components in broccoli. *Journal of Food Composition and Analysis*. 16(3) 323-330.p.
76. KARIMI, R., ERSHADI, A., ESNA-ASHARI, M., BOOJAR, M. M. A. (2014): Seasonal changes in soluble proteins, total phenol and malondialdehyde content and their relationship with cold hardiness of some grapevine cultivars. *Journal of Crops Improvement*, 16 (4) 999- 1013. p.
77. KÁLLAYNÉ, T (2004): Szóbeli közlés
78. KÁLLAYNÉ, T. (2014): Gyümölcsösök termőhelye. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 248 o. ISBN 978-963-286-699-4

79. KERR, W.L., CLARK, C.J., MCCARTHY, M.J. AND DE ROPP, J.S. (1997): Freezing effects in fruit tissue of kiwifruit observed by magnetic resonance imaging. Scientia. Hort. (69) 169- 179.p.
80. KHANIZADEH, S., BUSZARD, D., FANOUS, M.A., ZARKADAS, C.G., (1989) Effect of crop load on seasonal variation in chemical composition and spring frost hardiness of apple flower buds. Can. J. Plant Sci. 869) 1277-1284.p.
81. KLEMENT, Z. (1963): Method For the Rapid Detection of the Pathogenicity of Phytopathogenic Pseudomonas. Nature. (199) 299-300.p.
82. KLEMENT, Z. (2004): A baktériummal fertőzött növény védekezési mechanizmusai. Magyar Tudomány, (10) 1108.
83. LANG, G.A., EARLY, J.D., MARTIN, G.C., DARNELL, R.L., (1987): Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. Hortic. Sci. (22) 371-377.p.
84. LESLIE, C.A., MCGRANAHAN, G.H., DANDEKAR, A.M., URATSU, S.L., VAIL, P.V., TEBBETS, J.S. (2001): Development and field testing of walnuts expressing the crylA(c) gene for Lepidopteran insect resistance. Acta Hortic. 544:195-199.p.
85. LEVITT, J. (1980): Responses of Plants to Environmental Stress, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses. Academic Press.
86. LICHTENTHALER, H. K. (1996): Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. Journal of Plant Physiology. (148) 4-14.p.
87. LINDÉN L., PALONEN P. (2000): Relating freeze-induced electrolyte leakage measurements to lethal temperature in red raspberry. J Amer Soc Hort Sci, 125 (4) 429- 435. p. http://journal.ashspublications.org/content/125/4/429.abstract
88. LOTFI, N., VAHDATI, K., HASSANI, D., KHOLDEBARIN, B., AMIRI, R. (2010): Peroxidase, guaiacol peroxidase and ascorbate peroxidase activity accumulation in leaves and roots of walnut trees in response to drgought stress. Acta Horticulturae, (861) 309–316.p. doi:10.17660/actahortic.2010.861.42
89. LOVERA M., ARQUERO O., SERRANO N., TRAPERO A., (2008): Walnut blight (*Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis*): Factors that influence the disease. Cost 873, WG and Management Committee Meeting, Athens, Greece.
90. LUEDELING, E., ZHANG, M., MCGRANAHAN, G., LESLIE, C. (2009a): Validation of winter chill models using historic records of walnut phenology. Agric For Meteorol (149) 1854–1864.p.

91. LUEDELING, E., GEBAUER, J., BUERKERT, A. (2009b): Climate change effects on winter chill for tree crops with chilling requirements on the Arabian Peninsula. Clim Chang (96) 219–237.p.
92. LUGASI, A., BLÁZOVICS, A. (2004): Az egészséges táplálkozás tudományos alapjai, 4 Számú útmutató az egészség megőrzéséhez. *PXP Nyomda*, (Budapest).
93. LUORANEN, J., REPO, T., LAPPI, J. (2004): Assessment of the frost hardiness of shoots of silver birch (Betula pendula) seedlings with and without controlled exposure to freezing. Can J For Res (34) 1108–1118.p.
94. MAHMODZADEH, O., IMANI, A., (2011): Effect of some of anti-frost on morphology, anatomy and proline of selective almond cultivars flower buds. IJNRS (2) 35-40.p.
95. MAKAY, M. (2013): Szóbeli közlés. Érd- Elvira major.
96. MANACH, C., SCALBERT, A., MORAND, C., REMESY, C., JIMENEZ, L. (2004): Polyphenols: food sources and bioavailability. The American Journal of Clinical Nutrition. (79) 727-747.p.
97. MAROSI, S., SOMOGYI, S. (szerk.) (1990): Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajz- tudományi Kutató Intézet, Budapest.
98. MCGRANAHAN, G.H., LESLIE, C.A., WOESTE, K.E. (1997): Backcrossing breeding walnuts for resistance to the cherry leafroll virus. Acta Hortic. (442) 121-127.p.
99. MCGRANAHAN, G.H., AND LESLIE, C.A. (2004):'Robert Livermore', a Persian walnut cultivar with a red seedcoat. HortScience (39) 1772.
100. MCGRANAHAN, G.H., LESLIE, C.A. (2009): Breeding of walnuts (Juglans regia) in, P.M. Priyadarshan (szerk.), Breeding Plantation Tree Crops: Temperate Species. Springer Science Business Media 249-272. p.
101. McKenna, J.R., Epstein, L. (2003): Susceptibility of *Juglans* species and interspecific hybrids to *Agrobacterium tubefaciens*. HortScience. 3(38): 435-439
102. MENZEL, A., SPARKS, T.H., ESTRELLA, N., KOCH. E., AASA, A., AHAS, R., ALMKUBLER, K., BISSOLLI, P., BRASLAVSKA, O., BRIEDE, A., CHMIELEWSKI, F.M., CREPINSEK, Z., CURNEL. Y., DAHL, A., DEFILA, C., DONNELLY, A., FILELLA, Y., JATCZA, K., MAGE, F., MESTRE, A., PENUELASJ PIRINEN, P., REMISOVA, V., SCHEIFINGER, H., STRIZ, M., SUSNIK, A., VANVLIET, A.J.H., WIELGOLASKI, F.E., ZACH, S., ZUST, A.

(2006): European phenological response to climate change matches the warming pattern. Global Change Biol (12) 1969–1976.p.

103. MIDDLETON JR., E., (1998): Effect of plant flavonoids on immune and inflammatory cell function. Advances in Experimental Medicine and Biology (439) 175–182.p.
104. MICHALAK, A. (2006): Phenolic compounds and their antioxidant activity inplants growing under heavy metal stress. Polish Journal of Environment Studies. (15) 523-530.p.
105. MOHÁCSY, M. MAGYAR, GY. (1936): Dió-, mandula-, mogyoró és gesztenyetermesztés. „Pátria" Irodalmi Vállalat és Nyomdai Részvénytársaság, Budapest.
106. MOHÁCSY, M., PORPÁCZY, A. (1951): Dió, mandula, mogyoró, gesztenye. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest Marosi–Somogyi
107. MORAN, J., BECANA, M., ITURBE – ORMAETXE, I., FRECHILLA, S., KLUCAS, R., APARICIO- TEJO, P. (1994): Drougth induces oxidative stress in pea plants. Planta. 194 (3) 346- 352. p.
108. MORIN, X., AMÉGLIO, T., AHAS, R., KURZ-BESSON, C., LANTA, V., LEBOURGEOIS, F., MIGLIETTA, F., CHUINE, I. (2007): Variation in cold hardiness and carbohydrate concentration from dormancy induction to bud burst among provenances of three European oak species. Tree Physiol (27) 817–825.p.
109. NEKRASSOWA, V. L. (1927): The genus Juglans in Turkestan. Bulletin of Applied Botany, of Genetics and Plant-Breeding, (18) 303-360. p.
110. NÉMETH, SZ. (2012): A virágrügy- és gyümölcsfejlődés fenológiai, morfológiai és biokémiai jellemzése fontosabb kajszifajták esetében. Doktori értekezés
111. OSMOND, C.B., SMITH, D.S., GUI-YING, B., SHARKEY, T.D. (1987). Oecologia . 72 (4) 542-549. p.
112. ÖZAKTAN H., ERDAL M., AKKOPRU A., ASLAN E. (2007): Evaluation of susceptibility of some walnut cultivars to *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis* by immature nut test. Cost 873, WG3/WG4 Joint Meeting, Murcia, Spain.
113. ÖZAKTAN H., ERDAL M., AKKOPRU A., ASLAN E., (2008): Evaluation of susceptibility of some walnut cultivars to *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis* by immature nut test Cost873, WG and Management Committee Meeting, Athens, Greece.

114. PALOCSAY, R., VERESS, I., ANTAL, D., MÓZES, P.- KESZI-HARMATH, E. 1957. Héjasok és bogyósgyümölcsűek termesztése és nemesítése. Mezőgazdasági és Erdészeti Állami Könyvkiadó, Bukarest.
115. PALONEN, P., BUSZARD, D., (1997): Current state of cold hardiness research on fruit crops. Can. J. Plant Sci. (77) 399-420.p.
116. PARMESAN, C., YOHE, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature (421) 37–42.p.
117. PEDRYC A., KORBULY J., SZABÓ Z. (1999): Artificial frost treatment methods of stone fruits. Acta Hortic, 488 377-380. p. 10.17660/ActaHortic.1999.488.60
118. PEDRYC, A. (2003): A kajszi ökológiai igényei. In Pénzes B.- Szalay L. (szerk.): Kajszi. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 62-69.p.
119. PÉNZES B., SZALAY L. (2003): Kajszi. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 400. p.
120. PEPÓ, P. (2011): Növénynemesítés, Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem
121. PEREIRA, L. F., GOODWIN, P. H., ERICKSON, L.E. (2000): Peroxidase activity during susceptible and resistant inertactions between caasava (Manihot esculenta) and Xanthomonas axonopodis pv. manihotis and Xanthomonas cassavae. Journal of Phytopathology. (148) 575-577.p.
122. PEREIRA, J.A., OLIVEIRA, I., SOUSA, A., VALENTÃO, P., ANDRANDE, P.B., FERREIRA, I.C.F.R., FERRERES, F., BENTO, A., SEABRA, R., ESTEVINHO, L. (2007): Walnut (Juglans regia L.) leaves: Phenolic compounds antibacterial activity and antioxidant potential of different cultivars. Food and Chemical Toxicology (45) 2287-2295.p.
123. PEREIRA, J.A., OLIVEIRA, I., SOUSA, A., FERREIRA, I.C.F.R., BENTO, A., ESTEVINHO, L. (2008): Bioactive properties and chemical composition of six walnut (Juglans regia L.) cultivars. Food and Chemical Toxicology (46) 2103-2111.p.
124. PIUS, P., KRISHNAMURTHY, K.V., NELSON, R. (1998): Changes in saccharide metabolism induced by infection of Camellia sinensis by Exobasidium vexans, Biologia Plantarum, 41 (1) 127-132.p.
125. POGOSYAN, K.S., SAKAI, A. (1969): Freezing resistance in grape vines. Low Temp Sci Ser B (27) 125–142.p.

126. POIRIER, M., LACOINTE, A., AMÉGLIO, T. (2010): A semi-physiological model of cold hardening and dehardening in walnut stem. Tree Physiology, 30 (12), 1555–1569.p.
127. POSPIŠIL, J., DRAGOVIĆ-UZELAC, V., DELONGA, K., LEVAJ, B. (2002): Phenolic composition and sugar content in apricot juice cocktail produced from semi-products. *2nd Slovenian European Congress on Food and Nutrition, Ljubljana. Book of abstract*, 183 p.
128. PRICE, A. H., ARTHERTON, N. M., HENDRY, G. A. F. (1989): Plants Under Drought- Stress Generate Activated Oxygen. Free Radical Research, 8 (1) 61-66. p.
129. PROEBSTING, E.L., MILLS, H.H., (1978): A synoptic analysis of peach and cherry flower bud hardiness. J. Am. Soc. Hort. Sci. (103) 842-845.p.
130. PULIDO, R., BRAVO, L., SAURA-CALIXTO, F., (2000): Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/ antioxidant power assay. Journal of Agricultural and Food Chemistry (48) 3396–3402.p.
131. PURI, G.S., MEHER-HOMJI, V.M., GUPTA, R.K., PURI, S. (1983): Forest Ecology, Vol. 1: Phytogeography and forest conservation. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co.. 518 p.
132. RAMOS, D.E. (Ed.) (1998). Walnut Production Manual. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 3373. 319 pp.
133. RICE-EVANS, C.A., MILLER, N.J., PAGANGA, G. (1997): Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trend sin Plant Science*. 2(4) 152-159.p.
134. ROVIRA M., MORAGREGA C., ALETÀ N. (2007): Susceptibility study to *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis*, of immature fruits in two 'full-sib' walnut progenies. Cost 873, WG3/WG4 Joint Meeting, Murcia, Spain.
135. RUIZ-GARCÍA L., FRUTOS D., LÓPEZ G., FUENTES A. (2009): Molecular characterization of walnut and evaluation of *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis* damages in Murcia, Spain. Annual Cost 873 Meeting, Cetara, Italy.
136. DE RIJKE, E., OUT, P. ET AL. (2006): Analytical separation and detection methods for flavonoids. Journal of Chromatography A. 1112(1-2) 31-63.p.
137. ROBARDS, K., ANTOLOVICH, M. (1997): Analytical chemistry of fruit bioflavonoids - A review. Analyst. 122(2) 11-34.p.

138. RODRIGO, J. (2000): Spring frosts in deciduous fruit trees - morphological damage and flower hardiness. Scientia Horticulturae (85) 155-173.p.
139. SALAZAR-GUTIÉRREZ M.R., CHAVES B., ANOTHAI J., WHITING M., HOOGENBOOM G. (2014): Variation in cold hardiness of sweet cherry flower buds through different phenological stages. Sci Hortic-Amsterdam, 172 161-167. p. doi:10.1016/j.scienta.2014.04.002
140. SÁRDI, É. (1994): A formaldehid és egyes generátorainak tanulmányozása *Fusarium oxiosporum f. sp. niveum*-mal fertőzött görögdinnye növényeken. Kandidátusi értekezés. 127.p.
141. SÁRDI, É. (2006): A növények betegségellenállósága és az endogén transzmetilezési folyamatok kapcsolata. MTA doktori értekezés.
142. SÁRDI, É., STEFANOVITS- BÁNYAI, É. (2006): Relationship between peroxidase activity and the amount of fully-N-methylated compounds in bean plants infected by *Pseudomonas savastanoi* pv. *phaselicola*. Acta Physiologiae Plantarum, 28 (2) 523-528.p.
143. SAKAI, A., YOSHIDA, S. (1968): The role of sugars and related compounds in variation of freezing resistance. Cryobiology (5) 160–174.p.
144. SAKAI, A., LARCHER, W.(1987):Frost survival of Plants:Responses and Adaptation to Freezing Stress.Springer Verlag. Berlin.321 p.ISBN 3-540-17332-3
145. SANGHERA, G.S., WANI, S.H., HUSSAIN, W., SINGH, N.B., (2011): Engineering cold stress tolerance in crop plants. Curr. Genomics 12, 30.
146. SELYE, H. (1936): A syndrome produced by various noxious agents. Nature. (138) 32-34.p.
147. SELYE, H. (1964): From Dream to Discovery. New York: McGraw- Hill
148. SHAHIDI, F., NACZK, M. (1995): Food phenolics. Sources, chemistry, effects, applications. Lancaster, USA. Technomic Publishing Company, Inc. 319.p.
149. SHANNOON, L. M., KAY, E., LEW, J. W. (1966): Peroxidase Isozymes from Horseradish Roots. Journal Biological Chemistry. 241 (9) 2166-2172.p.
150. SIBBET, G.S., COATES, W.W, EDSTROM, J. (1998): Orchard Planning, Design, and Planting. In Ramos, D. E. (ed.) Walnut production manual. University of California, USA. 90-98.p.
151. SILVA, B.M., ANDRADE, P.B., VALENTA˜O, P., FERRERES, F., SEABRA, R.M., FERREIRA, M.A., (2004): Quince (Cydonia oblonga Miller) fruit (pulp,

peel, and seed) and jam: antioxidant activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry (52) 4705–4712.p.

152. SINGLETON, V.L., ROSSI, J.A. (1965): Colorymetry of total phenolics with hosphomolybdic-phosphotunstic acid reagents Am. J. Enol Vitic (16) 144-158.p.
153. SOLAR, A., COLARIČ, M., HUDINA, M., ŠTAMPAR, F. (2006): Phenolic Content of Walnut Fruit as Affected by Cultivar and Developmental Stage. *Acta Hort. (7*05) 231-240. p.
154. SOLAR A., JAKOPIC J., MIKULIC-PETKOVSˇEK M., VEBERIC R., DREO T., ZADRAVEC P., SˇTAMPAR F. (2008): Validation of polyphenol contents as biochemical markers for walnut blight (*Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis*) resistance. Cost 873, WG and Management Committee Meeting, Athens, Greece.
155. SOLAR A., DREO T., MICULIC-POTROVSEJ M., LIZOCAR A., SUSTARSIC M., VEBERIC R., MATICIC L., RAVNICAR M., STAMPAR F. (2009): Phenolic compounds as potential markers for walnut blight resistance. Annual Cost 873 Meeting, Cetara, Italy.
156. STIRM, J. (2006): Bericht über die ungarischen Walnusssorten (kézirat)
157. SUNG, D.Y., KAPLAN, F., LEE, K.J., GUY, C.L., (2003): Acquired tolerance to temperature extremes. Trends Plant Sci. (8) 179-187.p.
158. SURÁNYI D., MOLNÁR L. (2011): A fajták téli és tavaszi fagytűrése.
159. SZALAY, L., (2003): A kajszi ökológiai igényei. In Pénzes B.- Szalay L. (szerk.): Kajszi. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 43-50.p.
160. SZALAY, L., TIMON, B., NÉMETH, SZ., PAPP, J., TÓTH, M. (2010): Hardening and dehardening of peach flower buds. Horticultural Science. 45 (5) 761-765. p.
161. SZALAY, L., LADÁNYI, M., HAJNAL, V., PEDRYC, A., TÓTH, M. (2016): Changing of the flower bud frost hardiness in three Hungarian apricot cultivars. Horticultural Science (Prague). 43 (3) 134-141. p. doi: 10.17221/161/2015-HORTSCI
162. SZALAY, L., MOLNÁR, Á., KOVÁCS, SZ. (2017): Frost hardiness of flower buds of three plum (*Prunus domestica* L.) cultivars. Scientia Horticulturae. (214): 228-232.p. doi: 10.1016/j.scienta.2016.11.039

163. SZALAY, L., BAKOS, J., TÓSAKI, Á., KELETA, B. T., FROEMEL-HAJNAL, V., KARSAI, I. (2021): A 15- year long assessment of cold hardiness of apricot flower buds and flowers during the blooming period. Scientia Horticulturae, 290.
164. SZENTIVÁNYI, P. (1958): Magyar diófajták tulajdonságainak variációs elemzése és a fajták minősítési rendszere. A Kertészeti Kutató Intézet Évkönyve. 3-45.p.
165. SZENTIVÁNYI, P. (1976): Dió. In. Pejovics, B., Horn, E., Szentiványi, P.: Dió, Mandula, Mogyoró, Gesztenye. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
166. SZENTIVÁNYI, P. (1978): A gesztenye- és diótermesztés délnyugat Dunántúlon, a fiatal gesztenye- és dióültetvények agrotechnikája. In Vig, P. (szerk): Újabb kutatási eredmények a gyümölcstermesztésben. Gyümölcs- és Dísznövénytermesztési Kutató Intézet, Budapest.
167. SZENTIVÁNYI, P. (1980): Dió. In: Nyéki J. (szerk.): Gyümölcsfajták virágzásbiológiája és termékenyülése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 281-290.p.
168. SZENTIVÁNYI, P. (1989): Effect of fertility auto-regulation on productivity of walnut. In Acta Horticulturae, First International Symposium on Walnut Production. MTESz Nyomda, Budapest. 251-252.p.
169. SZENTIVÁNYI P. (1998): Dió, [Persian walnut] in: Soltész M. (ed): Gyümölcsfajta-ismeret és –használat [Knowing and usage of the fruit cultivars]. Mezőgazda Kiadó [Publisher], Budapest. 336. p.
170. SZENTIVÁNYI, P. (2001): Dió In Brózik, S.–Kállay, T.-né (szerk.): Csonthéjas és héjas gyümölcsfajták. Mezőgazda Kiadó. 108-113.p.
171. SZENTIVÁNYI, P., KÁLLAY, T-NÉ. (2006): Dió. Mezőgazda Kiadó. 62-72. p.
172. SZIGETI, Z. (2007): Növényélettan. In: Láng F. (szerk) A növényi anyagcsere 1-2. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó. 950-1019.p.
173. SZEWCZUK,A.,GUDAROWSKA,E.,DEREŃ,D. (2007):The estimation of frost damage of some peach and sweet cherry cultivars after winter2005/2006. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research. (15) 55-63.
174. SZILÁDY, Z. (1934): A Maros-melléki diósvölgyek. Bot. Közl. 38-41.p.
175. SZÜGYINÉ BARTHA K., BUJDOSÓ G., HAJNAL V., SZALAY L. (2015): A dió fagytűrése. Agrofórum, 58. extra: 74-75 p.
176. SZÜGYINÉ BARTHA K., FROEMEL- HAJNAL V., SZALAY L., STEFANOVITSNÉ DR. BÁNYAI É., BUJDOSÓ G., (2018): Hazai nemesítésű diófajták fagytűrésének értékelése, Kertgazdaság 51(1) 25-31 p.

177. TERPÓ (szerk.) (1976):Juglandaceae. Növényrendszertan az ökonómbotanika alapjaival. II. vol. 472. p.
178. TERPÓ, A. A. (szerk.) (1987): Növényrendszertan az ökobotanika alapjaival. II. kötet. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
179. TIAN J., WU Y., WANG Y., HAN F. (2009): Development and prospects of the walnut industry in China. Acta Hortic. 861. 31-38. p.
180. TÓTH, M. (2004): Dió. In: Papp J. (szerk.): A gyümölcsök termesztése. Mezőgazdakiadó. Budapest. 321- 323.p.
181. TREUTTER D. (2001): Biosynthesis of phenolic compounds and its regulation in apple. *Plant Growth Regulation* 34, 71-89.p. DOI:10.1023/A:1013378702940
182. TROMP J. (2005): Frost and plant hardiness. 74-83. p. In: Tromp, J., Webster, A.D., Wertheim, S.J. (Szerk.): Fundamentals of Temperate Zone Tree Fruit Production. Leiden: Backhuys Publishers, 400. p.
183. TSENG, T.-H., KAO, E.-S., CHU, C.-Y., CHOU, F.-P., LIN WU, H.-W., WANG, C.-J., (1997): Protective effects of dried flower extracts of Hibiscus sabdariffa L. against oxidative stress in rat primary hepatocytes. Food and Chemical Toxicology (35) 1159–1164.p.
184. TSIANTOS J., VAGELAS I.K., RUMBOS C.I., CHATZAKI A., ROUSKAS D., GRAVANIS F.T. (2008): Evaluation of resistance of cultivated walnut varieties and selections to *Xanthomonas arboricola* pv. .*juglandis* in Greece. Cost 873, WG and Management Committee Meeting, Athens, Greece.
185. TURCANU, I. (2004): Cerintele nucului fata de factorii de mediu. [In: Turcanu, I., Comanici, I. (eds.): Nucul.] Tipografia Centrala, Chisinau. 80-82.p.
186. TYIHÁK, E., ROZSNYAI, ZS., TIMON, B. (1989): A formaldehid természetes főgenerátorainak vizsgálata kajszi- és őszibarack leveleiben. Növényvédelmi Tudományos Napok, 1989. febr. 21-22, Budapest.
187. UGHINI, V., ROVERSI, A. (1990): Preliminary investigation on leaf mineral composition of 6 walnut varieties, Acta Hort. 284. p.
188. VAHDAT, K., McKENNA, J.R., DANDEKAR, A.M., LESLIE, C.A., URATSU, S.L., HACKETT, W.P., NEGRI, P., McGRANAHAN, G.H. (2002): Rooting and other characteristics of a transgenic walnut hybrid (*Juglans hindsii* and *J. regia*) rootstock expressing rolABC. J. Amer. Soc. Hort. Sci. (127) 724–728.p.

189. VALLS, J., MILLAN, S. ET AL. (2009): Advanced separation methods of food anthocyanins, isoflavones and flavanols. Journal of Chromatography A. 1216(43) 7143-7172.p.
190. VAN HELLEMONT, J. (1986): Compendium de phytotherapie. Bruxelles: Association Pharmaceutique Belge (18) 214-216.p.
191. VINSON, J.A., SU, X., ZUBIK, L., BOSE, P. (2001): Phenol antioxidant quantity andquality in foods: fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. (49) 5315-5321.p.
192. VAVILOV, N. I. (1928): Geographische Genzentren unserer Kulturpflanzen. Ztschr. für Abstammung u. Vererbungslehre.
193. VAVILOV, N. I. (1951): The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants.31–34. p. In: F. VERDOON (Szerk.): *Chronica botanica, an internationalcollection of studies in method and history of biology and agriculture*, (13) 366 p.
194. VEISZ, O. (2005): A növények abiotikus stressztűrése és a biztonságos termesztés. Magyar Tudomány. 166 (7) 833-836. p.
195. VERHAEGHE, A. (2011): France walnut cultivars (manuscript)
196. VÉGH, A., TENORIO-BAIGORRIA, I., BORSOS, G., BUJDOSÓ, G., IZSÉPI, F., PALKOVICS L. (2015). Bacterial bark canker diseases on walnut in Hungary. 1st EUFRIN Shell Fruit Species Working Group Meeting. Book of Abstracts. 19. p.
197. VÉGH, A., BORSOS, G., TENORIO-BAIGORRIA, I., BUJDOSÓ, G., IZSÉPI, F., PALKOVICS L., 2016. Bark canker disease on walnut in Hungary. Acta Hortic.. (1149) 47-52.p. https://doi.org/ 10.17660/ActaHortic.2016.1149.9.
198. WEISER, C.J. (1970): Cold resistance and acclimation in woody plants. In: Larsen RP (ed) Cold hardiness, dormancy and freeze protection of fruit crops. Pullman, WA, 403– 410.p.
199. WESTWOOD, M.N., (1993): Plant Efficiency: Growth and Yield Measurements. Temperate Zone Pomology. WH Freeman and Company, San Francisco, 275.p.
200. WICHTL, M., ANTON, R. (1999): Plantes therapeutiques. Paris: Tec.&Doc. 291–293.p.
201. WISNIEWSKI, M., WOLF, T., FUCHIGAMI, L., (1997): Biochemical and biophysical mechanisms of cold hardiness in woody plants. Proceedings for the

Fourth International Symposium on Cool Climate Enology and Viticulture, II. July 1996, 14-22.p.

202. WU G.L., MENG H.J., HAO Y.Y., LIU Q.L., WANG D., TIAN J.B. (2009): Thirty years of breeding walnut in China. Acta Hortic. 861. 109-118. p.
203. WU, G.L., MENG, H.J., HAO, Y.Y., LIU, Q.L., WANG, D. AND TIAN, J.B. (2010). Thirty years of breeding walnut in China. Acta Hortic. 861, 109-118 DOI:10.17660/ActaHortic.2010.861.14
204. XIN, Z., BROWSE, J., (2000): Cold comfort farm: the acclimation of plants to freezing temperatures. Plant Cell Environ. (23) 893-902.p.
205. ZAHOV, T. (1943): Orechite v Kasanlaskia i Zlotiskija rajoni. Különlenyomat a Bolgár Mezőgazda Kutató és Kísérleti Intézetek évkönyvéből. Szófia.
206. ZATOKOVY, F. T., SATINA, J., SATINA G. (2009): Ukrainian walnut cultivars. (kézirat)
207. ZHU, J.K., HASEGAWA, P. M., BRESSAN, R. A., BOHNERT, H. J. (1997): Molecular Aspects of Osmotic Stress in Plants. Critical Reviews in Plant Sciences, 16 (3) 253- 277. p.
208. ZIMMERMANN, B. F., GALENSA, R. (2007): One for all- all for one: proof of authenticity and tracingoffoods with flavonoids - Analysis of proanthocyanidins in barley and malt. European Food Research and Technology. 224(3) 385-393.p.
209. ZOHARY D., HOPF M. (1993): Domestication of Plants in the Old World. Clarendon Press.Oxford. 249 p.
210. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC- 2019.08.06.
211. http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP 2019.08.07.
212. https://www.ksh.hu/gyumolcsos_ultetvenyek_osszeirasa_2017 - 2021.09.19.

M.2. Fagytűrési táblázatok

Melléklet 1. táblázat 2013/2014 nyugalmi időszakában, a vizsgálati hónapokban választott kezelési hőmérsékletei a mesterséges fagyasztásos kísérleteknek

	Kezelési hőmérsékletek (°C)		
2013.10.13.	-12	-14	-17
2013.11.11.	-17	-21	-23
2013.12.03.	-23	-25	-27
2014.01.08.	-24	-26	-28
2014.02.11.	-17	-19	-21
2014.03.10.	-15	-17	-19

Melléklet 2. táblázat 2014/2015 nyugalmi időszakában, a vizsgálati hónapokban választott kezelési hőmérsékletei a mesterséges fagyasztásos kísérleteknek

	Kezelési hőmérsékletek (°C)		
2014.10.13.	-12	-14	-16
2014.11.03.	-16	-18	-20
2014.12.09.	-18	-20	-22
2015.01.09.	-22	-24	-26
2015.02.16.	-18	-20	-22
2015.03.02.	-15	-18	-21

Melléklet 3. táblázat 2015/2016 nyugalmi időszakában, a vizsgálati hónapokban választott kezelési hőmérsékletei a mesterséges fagyasztásos kísérleteknek

	Kezelési hőmérsékletek (°C)		
2015.10.05.	-10	-12	-14
2015.11.02.	-14	-16	-18
2015.12.07.	-20	-22	-24
2016.01.05.	-24	-26	-28
2016.02.08.	-23	-25	-27
2016.03.04.	-23	-25	-28

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Először is köszönetet szeretnék mondani Stefanovitsné Bányai Évának, témavezetőmnek, akinek céltudatos munkájának köszönhetően elvégezhettük a biokémiai vizsgálatokat, valamint akinek szorgalma és támogatása nélkülözhetetlen volt a doktori dolgozat elkészülésében,

Szeretnék másik témavezetőmnek Bujdosó Gézának is köszönetet mondani, hogy hozzá járult a dolgozat elkészüléséhez, és akinek a dióról szerezett tudásomat köszönhetem.

Továbbá köszönet illeti Froemel Hajnal Veronikát és Szalay Lászlót, akiknek az iránymutatása pótolhatatlan segítséget nyújtottak a fagytűrési vizsgálatok során,

Köszönet illeti a Gyümölcstermesztési Tanszék munkatársait, valamint a Biokémiai Tanszék munkatársait, legfőképpen Rédei Rékát, aki a mérések szakmailag pontos kivitelezésében segített,

Köszönöm a Gyümölcs Kutató Intézet egykori vezetésének, Kállay Tamásnénak és Szenci Győzőnek, hogy elindítottak ezen az úton, köszönöm a szakmai iránymutatást és segítséget.

Köszönet illeti az Érd Elvira majori telephely minden fizikai dolgozóját, valamint Tóthné Nagy Apolloniát és Makay Miklóst, hogy segítették a mintagyűjtést és a hőmérsékleti adatok feldolgozását.

Köszönöm az Intézet jelenkori vezetőségének és munkatársainak is a támogatását. Kiváltképp köszönet illeti Izsépi Ferencet, akivel minden hónapban Lengyeltótiból gyűjtöttük a mintákat, és ezúton köszönöm a Juglans Hungária Kft vezetőségének is az együtt működést.

Nagyon köszönöm a támogatást Családomnak, kiváltképp Férjemnek és Lányaimnak.

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal az "Új, kései fakadási idővel és oldalrügyön termő képességgel rendelkező fajták előállítása" (projekt azonosító: 123311) c. magyar – iráni projekt keretében támogatta.