

Nyugat-Magyarországi Egyetem
Környezeti Erőforrás-gazdálkodási és védelmi
Kooperációs Kutatási Központ
Ökoenergetikai Kutatási Főirány

**A Paulownia-fafajok alkalmazásának
jelenlegi helyzete és jövőbeni lehetőségei**

(A hazai és nemzetközi kutatási eredmények összehasonlítása)

Készítette:
Dr. Vityi Andrea
Prof. Dr. Marosvölgyi Béla

Sopron, 2012.

1. Bevezető

A nagylevelű császárfa (vagy közismert nevén Kínai császárfa (*Paulownia tomentosa*)) felhasználhatóság szempontjából a világ egyik legsokoldalúbb fajtája. Széleskörű hasznosítási spektruma az ipari felhasználástól (bútor-és épületfa, papíripari alapanyag, energia célú biomassa, stb.) a méhészeti és gyógyszeripari hasznosításon át (kéreg, levél, virágzat) a díszítő funkcióig (parkfa, művészi fafaragványok alapanyaga) terjed.

A *Paulownia* családon belül 6 (más források szerint 17) faj található. Közülük a természetbe is bevont legismertebb fajok a *P. tomentosa* (nálunk ismert neve: császárfa), a *P. elongata*, a *P. fortunei*, és a *P. catalpifolia*. Összeállításunk ezen fajok jelenlegi szerepéről, hasznosításukról, és magyarországi alkalmazásuk helyzetéről illetve lehetőségeiről szól. Az anyagot a rendelkezésünkre álló kutatási eredmények és szakirodalmi források alapján készítettük.

2. A császárfáról

Kína szubtrópusi területein őshonos. Betelepítése legtöbbször kertészeti céllal történt. (web 1) Európában először a francia kertekben jelent meg, az 1800-as években. A Discover Life Global Mapper adatbázisa szerint a *P. tomentosa* az alábbi földrajzi helyeken található meg (1. kép) A World Agroforestry Centre adatai alapján idegen betelepülő fajként tartják számon Argentínában, Ausztriában, Belgiumban, Brazíliában, Franciaországban, Németországban, Görögországban, Írországban, Olaszországban, Japánban, Koreában, Hollandiában, Paraguayban, Portugáliában, az Egyesült Királyságban, és az USA-ban. (web 3)

(Megj: Ha a teljes *Paulownia* nemzetséget nézzük, azt mondhatjuk, hogy képviselői gyakorlatilag világszerte megtalálhatók, hiszen olyan országok kutatói is beszámolnak *Paulownia*-val kapcsolatos termesztési tapasztalatokról, amelyek a térképen nincsenek megjelölve (pl. Kenya, Kanada, Kelet európai országok, stb.))



1. kép: A *Paulownia tomentosa* elterjedése

(Forrás: Global Biodiversity Information Facility database (web 2), utolsó frissítés: 2006.)

A császárfa a tatógatófélék családjának tagja (*Scrophulariaceae*), 10-12 méter magasra növény, terebélyes koronát nevelő növény. Fiatalon rendkívül erőteljes növekedésű, kedvező fény- és nedvességi viszonyok között egy év alatt 3-4 méternyit is nőhet. A fa kifejezetten meleg- és napfényigényes, védett fekvésben, esetleg nagyobb belső udvarokban vagy délies kitétséggű területeken, nem túl száraz, tápdús és jó vízáteresztő, laza talajon érzi jól magát. Nálunk a növény fiatalon kissé fagyérzékenynek számít.

Több helyütt a szakirodalomban invazív fajként tüntetik fel, de ebben a kérdésben erősen megoszlanak a vélemények. Tény, hogy a császárfű szerepel az invazív fajok globális listáján (web 4).¹ Ugyanakkor az Amerikai Erdészeti Szolgálat adatbázisa szerint Európában kevésbé érvényesül invazív jellege, mint Észak-Amerikában. (web 1). Ebből, és az "invazív faj" definíciójából² kiindulva talán érdemes a császárfű invazív jellegének érvényesülését földrajzi hely függvényében vizsgálni, hiszen a mérsékelt éghajlatú területeken ez a faj eddig sehol nem tudott tömegesen elszaporodni. (A növényeknél az inváziót segítő legfontosabb tulajdonságok közé tartozik többek között a jó terjedőképesség. (Iván, 2011.))

3. A *Paulownia* szaporítása

A szakirodalom szerint a *P. tomentosa* magról, gyökérdugványról (egyek források szerint hajtásdugványról is³) jól szaporítható, kedvező körülmények között 10 éves korában elérheti a 30-40 cm törzsátmérőt, 10-12 m magasságot, és 0,2-0,6 m³ fahozamot. (Ideális termőhelyi körülmények között növekedése még ennél is gyorsabb lehet.) (Yang, 2004)

Bár létezik hatékony módszer a *P. tomentosa* mikroszaporítására (Al-Tinawi, I. A. et al., 2010) (Gyuleva, V., 2008), és gyökérdugványokról is felnevelhetők az utódnövények, a palánta-előállítást ma még leggyakrabban magvetéssel végzik. (web 5) A *P. elongata* szaporítóanyagot viszont jellemzően mikroszaporítással állítják elő.

3.1. Szelektált *P. tomentosa* kísérleti palánták előállítására vonatkozó javaslatok

A fajszi *P. tomentosa* kísérlet során alkalmazott szelektált császárfű fajtavál további kísérleti ültetvények létrehozását tervezzük. A korábbi kísérletek során olyan szaporítóanyagot sikerült szelektálnunk, melyből a hazai klimatikus viszonyok között már palántakorban fagyrezisztens növények állíthatók elő. A magról való szaporítás egyedileg kifejlesztett módszerével 80%-os túlélési rátát értünk el⁴. (2. kép)



2. kép:
Magról vetett
P. tomentosa palánták
2006. tavaszán

A további kísérleti ültetvények létrehozásához szükséges palántaszámot tehát ezzel a módszerrel biztosítani lehet. Mivel az anyaállomány még nem fordult termőre, az esetlegesen szükségessé váló további szaporítóanyagot a szelektált anyanövényről kell nyerni. A magokat késő ősszel érdemes begyűjteni, mielőtt a toktermések felnyílnak. A magoncokat tavasszal (március-április) javasolt elvetni, mert így gyorsabb a fejlődésük. A vetést célszerű ültetőpoharakba végezni, a már kipróbált földkeverék és vetési módszer alkalmazásával.

1 Ugyanakkor a nemzetség többi tagjának invazív jellegéről nem állnak rendelkezésre (bizonyítható) adatok (web 25)

2 Invazív faj: az idegen eredetű, adott területen meghonosodott és *tömegesen* elszaporodott faj. A magyar nyelvű szakirodalomban sokszor találkozhatunk még az azonos értelmű özőnfaj kifejezéssel is. (Iván, 2011.)

3 A NYME KKK magyarországi kísérletei a *P. tomentosa* szárdugványról való szaporíthatóságát nem támasztják alá: az egymástól független, mind termőhelyi és klimatikus viszonyokat, mind a szaporítás módszerét tekintve egymástól eltérő kísérletek azt mutatják, hogy az ily módon szaporított növény életben maradási esélye rendkívül kicsi. (Vityi- Marosvölgyi, 2011.)

4 A *P. tomentosa* mikroszaporítása, szárdugványozása saját kísérleteinkben nem járt sikerrel.

A tavaszi fagyok elmúltáig temperált viszonyokra van szükség a magoncok neveléséhez. Figyelni kell a talaj nyirkosan tartására, szükség esetén a magoncok árnyékolására. Tavasz végén, 4-6 leveles állapotban ültetőkonténerekbe, egyenkénti szétültetés szükséges, innentől a növénykéek már szabad ég alatt – de még védett helyen – fejlődhetnek tovább, az őszi kiültetésig. (Átültetésüknél óvatosan kell eljárni, mert gyökerei törékenyek.) A szétültetést követően érdemes egy alkalommal gombaölő szerrel permetezni, egyéb preventív növényvédelmi intézkedésre nincs szükség.

4. A Paulownia termesztése és hasznosítása

A Paulowniát Kínában már 3000 éve termesztik és használják. Amerikába az 1800-as években jutott el, ahol gyors növekedése miatt a jövő fájának titulálták, ennek ellenére máig nem alkalmazzák elterjedten ültetvényekben. (web 6). Az 1980-90-es évek óta világszerte növekvő érdeklődés kíséri, amely gyors növekedésének ill. tápanyagfelvételének (C4-es növény⁵), valamint jó társíthatóságának köszönhető. E tulajdonsága miatt akár háztáji gazdaságban is termesztethető, energiafa vagy ipari fa előállítás céljára, csökkentve ezáltal az import-függőséget. (AFBI, 2008)

4.1. Ipari célú termesztése

Fáját előszeretettel használják az építőiparban (épületfa, ajtógyártás), a papíriparban, bútór, szerszám, és hangszer gyártás céljára. Ipari felhasználásra már 3 éves korától alkalmas, de leggyakrabban 8-13 éves korban termelik ki, építőipari és bútoripari felhasználás céljára. (3. kép)

Fája sokféleképpen hasznosítható, mert könnyű⁶ (web 27), csomómentes, jól hajlítható, rugalmas, jól festhető. (Új energianövény Magyarországon. Agrárágazat, 2012.) Vékony kéreggel rendelkezik, és gyorsan szárad⁷, ezért jól feldolgozható. Száradás közben a Paulownia fája stabil marad és az átlagoshoz képest kisebb zsugorodás illetve nyúlás tapasztalható. (web 27) Gyors természetes száradása előnyt jelenthet azokkal a fafajokkal szemben, amelyek szárítása jelentős energiaigényű (pl. fűzek). (AFBI, 2008)

Jól megmunkálható és szép erezettségű fája miatt Japánban kedvelt és tradicionális bútorfá, ezért itt a jó minőségű Paulownia rönk nagyon értékes árunak számít. Emellett kiváló alapanyag hangszer gyártásához. Piaca azonban a rosszabb minőségű faanyagok is van, mivel ez is számos területen hasznosítható. Például Japán kutatók vizsgálatai szerint a rosszabb minőségű Paulownia versenyképes alapanyaga lehet a faforgácsoló gyártásnak. (Kalaycioglu, 2005). A Paulownia fája az átlagosnál kb. 40%-kal könnyebb, ezért a papíripar számára is ígéretes alapanyag. Kedvező tulajdonságai miatt alkalmazzák hő-ill. elektromos szigetelő anyagként is. (AFBI, 2008)



3. kép:
Fatermesztési célú
Paulownia ültetvény, Pó-
síkság
(Forrás: Marosvölgyi)

5 A C4-es típusú fotoszintézis a szén-dioxid megkötésének elsősorban a trópusi fűfélékben (például cukornád, kukorica) de más növényekben is előforduló, a Calvin-ciklustól eltérő útja. Ez a módszer meleg, jól megvilágított környezetben hatékonyabb a C3 típusú fotoszintézisnél. (web 7., 8., 9.)

6 A Paulowniának rendkívül tartós és könnyű fája van, súlya a tölgy súlyának egyharmada, a fenyő súlyának fele. (web 10)

7 30-60 nap alatt légszárazzá válik (web 11) nedvességtartalma szárítókamencében 24 óra alatt vetemedés nélkül csökken 10-12%-ra.(web 10)

4.2. Biomassza ill. bioenergia célú termesztése

Ágai jól használhatók háztartási tüzelőanyagként; egy 10 éves egyed 350-400 kg áganyagot termel. (AFBI, 2008). Termesztése összességében kevés ráfordítást igényel. (El-Showk - El-Showk, 2003) A legtöbb telepített ültetvény célja jó minőségű rönkfa előállítás, de az utóbbi években rövid vágásfordulójú ültetvényekben is alkalmazzák. Biomassza célú termesztésnél nagyobb sűrűségben telepítik, mely *P. elongata* esetében ajánlottan 1680 tő/ha (több éves termelői tapasztalat alapján), igazodva az alkalmazott betakarítási technológiához. (AFBI, 2008) Az egyre növekvő energia célú biomassza igény kielégítését Magyarországon is potenciálisan segítheti a Paulownia ültetvények alkalmazása.

4.3. Paulownia a mezőgazdasági köztes termesztésben - agroerdészeti aspektusok

A Paulownia alkalmazása köztesnövényként jellemzően iparifa/mezőgazdasági haszonnövény kombinációban, ritkábban más (pl. energia) célú vegyes kultúrában történik.

A kínai mezőgazdaságban például köztes növényként közel 1,3 millió hektáron termesztik a Paulowniát. Ennek oka az, hogy Kínában szűkös földvagyonnal gazdálkodnak, és így egyszerre valósulhat meg az élelmszer-termelés és az ipari fa előállítás. Búzával elegyítve 300-500 tő/ha sűrűségben telepítik. (Wang - Shogren, 1991), (AFBI, 2008) A búza-császárfa vegyes kultúrákban nincs versengés a tápanyagért, így a Paulownia kedvezően hat a búzára. Kukoricával társítva viszont az ellenkezője igaz. A legújabb szakirodalom szerint vesszős kölessel (*Panicum virgatum*⁸) is társítják, így létrehozható egy többcélú, kombinált - egyszerre lágyszárú és fásszárú - energiaültetvény. (AFBI, 2008) Egyes kutatási eredmények szerint a Paulowniával társított vegyes kultúrák mind ökológiai aspektusból, mind hozameredmények szempontjából előnyösebbek a monokultúráknál, mivel érvényesül a társított haszonnövények egymásra gyakorolt kedvező hatása (jobb talajvízháztartás, kedvezőbb mikroklíma, stb.). ((Wang - Shogren, 1991), (AFBI, 2008)

Mások (kínai és afrikai források) arról számolnak be, hogy a Paulownia koronája az árnyékhatás miatt a búzaérést negatívan befolyásolhatja, vagyis az alkalmazott ültetési sűrűség hatással van a társított mezőgazdasági kultúra hozamára. (AFBI, 2008). (Muthuri et al., 2005) Emellett Kelet-Kínai kutatási eredmények azt igazolják, hogy a császárfával való köztetermesztés hozamra gyakorolt hatása függ a hozzá társított kultúrától is: eltérő előjelű hatásról számolnak be kukorica, bab, és gyömbér esetében. (AFBI, 2008).

Egy újabb kutatás, mely az utóbbi 20 év Paulowniával társított kultúráit vizsgálta, arra a megállapításra jutott, hogy a társítás mindkét növény esetében mind a hozamot, mind a minőséget javította. (AFBI, 2008)

Mindenesetre a következő kérdésekben még további kutatásokat tartanak szükségesnek:

- a termesztési technológia (vetési/ültetési szerkezet) fejlesztése,
- a termesztés-technológia hatása a terméshozamra,
- a gazdasági/társadalmi előnyök felmérése,
- a Paulownia gyökérzetének hatása a köztes kultúrára,
- a köztetermesztés agro-ökológiai hatásai.

4.4. A Paulownia energetikai célú hasznosítása

Mivel kutatásunk egyik fő célja a császárfa energetikai hasznosíthatóságának vizsgálata, ennek érdekében

- felkutattuk az ezzel (is) foglalkozó szakirodalmi és egyéb forrásokat
- a talált adatokat összehasonlítottuk és összegeztük
- kísérleti császárfa ültetvényünkről származó mintával méréseket végeztünk
- saját méréseinket összehasonlítottuk a szakirodalmi adatokkal
- javaslatokat fogalmaztunk meg a császárfa hazai energetikai hasznosíthatóságával kapcsolatban.

Első lépésben tehát feltérképeztük és összehasonlítottuk a Paulownia energetikai tulajdonságairól fellelhető szakirodalmi adatokat. A KKK Sopron kutatási projektjéhez kapcsolódóan telepített kísérleti ültetvényekről származó mintán végzett faanyag-vizsgálatok eredményei - összhangban a különböző forrásból származó

8 A *Panicum virgatum*, egy szívós növény, amelyet az Egyesült Államok bioüzemanyag-ipara használ fel. (web 12)

adatokkal - azt mutatják, hogy a császárfű alkalmas energetikai hasznosításra.

A Paulownia számos módon hasznosítható energia céljára (AFBI, 2008):

- Direkt égetéssel háztartási vagy közösségi fűtőberendezésekben
- Elektromos energia előállításánál gőztermelésre
- Pirolízis-gáz előállítására
- Etanol előállítására (a Brelford savas hidrolízis eljárást alkalmazva) (web 14)
- Energetikai tömörítvények (pl. pellet) előállítására

4.4.1. Energetikai tömörítvények

A Paulowniából nyert pellet tulajdonságairól kevés adat áll rendelkezésre, egy amerikai kutatásról szóló beszámoló szerint a belőle gyártott pellet az átlagosnál jóval nagyobb energiasűrűségű (ugyan ezt számszerű adattal nem támasztották alá). Az említett kutatás során a császárfű egyéves hajtásaiból készítettek pelletet. (web 15)

Jelenleg Bulgáriában is tesztelik a fajtát pelletgyártás céljából. 2007-ben 1000 ha területen létesítettek ezzel a céllal Paulownia-ültetvényt. A 10 éves futamidejű projekt alatt a területet 8000 ha-ra tervezik bővíteni. Eredményeket egyelőre nem publikáltak. (web 16)

4.4.2. Etanol előállítás

A Paulownia kiváló alapanyag a cellulóz alapú etanolgyártáshoz, ahol a kiindulási anyagok kommunális, mezőgazdasági és erdészeti hulladékok.

Tekintélyes méretű leveleiben a növény magas karbon-abszorpciós rátájának köszönhetően kiemelkedően magas az energiataralom. A legalább három éves császárfű ültetvény melléktermékeként keletkező levélanyag kiváló alapanyaga az etanol-gyártásnak. Kutatási tapasztalatok igazolják, hogy a Paulownia leveléből gázosítással, termokémiai extrakcióval, savas hidrolízissel és pirolízissel egyaránt megoldható az etanol előállítása. (web 17)

A World Paulownia Europe Ltd. szerint a császárfűből történő etanol előállításnak számos előnye van: (web 14)

- termesztése kevés kezelést igényel (nem kell évente vetni, trágyázni, permetezni, stb.)
- igény szerinti betakarítás
- gyorsan növő és évekig megújuló alapanyag forrás (telepítéstől akár 2 éven belül hozzáférhető, utána igény szerint)
- a Brelford savas hidrolízis eljárás alkalmazásával biztonságos és hatékony az etanol előállítás, melyhez erdészeti hulladékfától az ültetvénykezelés melléktermékéig minden felhasználható (forrás: World Ethanol Institute)
- a császárfű alapú etanol-előállítás magasabb energiahatékonyságú a gabonaalapúhoz képest.

Vesszős kölessel (*Panicum virgatum*) köztetermesztésben társítva a császárfűt a hektáronkénti etanol kihozatal tovább növelhető, a két növény egymásra gyakorolt kedvező szimbiotikus hatása miatt. Ugyanezen szakirodalmi forrás szerint a cellulóz alapú etanol használata jóval nagyobb mértékben (85%-kal) csökkenti az üvegházgázokat, mint a cukor fermentálásával nyert etanol (mely 18-29%-os üvegházgáz csökkentést jelent) a motorbenzinhez képest. (web 18)

Az Amerikai Tudományos Akadémia National Academy of Sciences (USA)) tanulmánya szerint, az etanol előállítás teljes ciklusát tekintve (alapanyag előállítástól a gépjárművekbe tölthető vagy eltűzelhető etanolig),

a nem élelmiszer célú ültetvényekről – így a Paulownia ültetvényről - származó biomassa a benzinnel és a gabonával összehasonlítva a legkedvezőbb környezeti és egészségügyi költség/haszon aránnyal jellemezhető. (web 17)

4.5. A szelektált kísérleti császárfa hasznosíthatósága energetikai szempontból

2006 őszén Fajszon (Dél-alföld) kísérleti császárfa (*Paulownia tomentosa*) energia-ültetvény létesült, a Nyugat-Magyarországi Egyetem Környezeti Erőforrás-gazdálkodási és védelmi Kooperációs Kutatási Központ Ökoenergetikai Kutatási Főirány és a fajszi Kék Duna Mezőgazdasági Szövetkezet együttműködésében. A több mint 1000 darab kiültetett palánta szelektált kísérleti maganyagból származott. Az egyedeket duplasoros elrendezésben ültettük, figyelembe véve a későbbiekben felmerülő betakarítási igényeket. (3-6. képek)



3. kép:
P. tomentosa kísérleti energia-ültetvény
Fajsz, 2007. március
(Forrás:
Vityi-Marosvölgyi, 2011)



4. kép:
Megindulnak a szabadföldben áttelelt palánták
P. tomentosa kísérleti energia-ültetvény
Fajsz, 2007. március
(Forrás:
Vityi-Marosvölgyi, 2011)



5. kép:
A császárfa egyedek magassága közel egy év múlva elérte a 2 métert
P. tomentosa kísérleti energia-ültetvény
Fajsz, 2007. május
(Forrás:
Vityi-Marosvölgyi, 2011)



6. kép:
Az évente visszavágott négy éves ültetvény képe
(a mérce 2,5 m hosszú)
P. tomentosa kísérleti energia-ültetvény
Fajsz, 2011. augusztus
(Forrás:
Vityi-Marosvölgyi, 2011)

A növény növekedési és egyéb paramétereinek eltérő termőhelyi és klimatikus viszonyok melletti vizsgálata céljából 2006-ban a szelektált szaporítóanyagból Sopron melletti kísérleti telephelyen is létesült ültetvény, a fajszitól eltérő, újratelepítéssel üzemeltetve. (7-8 kép)



7. kép:
4 éves fa D1.3 kereszt-
metszeti képe
P. tomentosa kísérleti
energia-ültetvény
(újraterelítési ültet-
vényben)
(Forrás:
Vityi-Marosvölgyi,
2011)



8. kép:
P. tomentosa (egy törzs-
ből) előállított energia-
fa-rakat képe
(Forrás:
Vityi-Marosvölgyi,
2011)

A fajszi kísérleti Nagylevelű császárfű (*P. tomentosa*) ültetvényen az alkalmazott ültetési rend és egy- ill. két éves vágásforduló mellett magas éves hozamokat mértünk (55-56 t/ha). A szelektált kísérleti császárfűből származó energiafű kedvező tüzeléstechnikai jellemzőkkel bír (1. sz. táblázat).

1. sz. táblázat: A fajszi szelektált <i>P.tomentosa</i> egyéves hajtásainak mechanikai és tüzeléstechnikai paraméterei			
	fa	kéreg	átlag*
Sűrűség (g/cm ³ , légszáraz)	0,35		
Nedvességtartalom** (m/m%, légszáraz)	11,80	10,90	11,61
Hamutartalom** (m/m%)	0,92	3,05	1,37
Fűtőérték** (MJ/kg, légszáraz)	16,66	17,40	16,82
Fűtőérték ** (MJ/kg, abszolút száraz)	18,92	19,67	19,10
* az egyéves hajtásokra jellemző átlagosan 21%-os kéreg-aránnyal számolva			
** Forrás: Papp, V. (2012)			

A kedvező hozam- és energetikai paraméterek (más szakirodalmi forrásokkal is összhangban) azt mutatják, hogy mind az egyéves vágásfordulóval nevelt fajszi ültetvényénél, mind a Sopron melletti kísérleti telephelyen, több éves vágásfordulójú, újraterelítési ültetvényben nevelt fák kiválóan hasznosíthatóak biomassza alapú energiatermelési célokra.

4.6. A Paulownia egyéb hasznosítása

4.6.1. Környezetvédelmi szerep 1. - Remediáció, kármentesítés

Mélyreható gyökérrendszere és gyors növekedése miatt a császárfű a többi fafajhoz képest több ásványi anyagot vesz fel, ezért bioremediációs célokra is használható. Az elmúlt 20 évben számos tanulmány beszámolt arról, hogy a császárfű kimagaslóan jól alkalmazható állati eredetű szerves hulladék ártalmatlanítására, hulladéklerakók és nehézfémekkel, olajjal erősen szennyezett talajok kármentesítésére. (Utóbbi esetben a többi teszt fafaj – fűz, nyár - elpusztult) Vitalitása és széleskörű remediációs alkalmazhatósága mellett további előnye, hogy a talaj mélyebb rétegeiből is kivonja a szennyező anyagokat, és elősegíti a talaj mikroorganizmu-

sainak működését. (web 19), (AFBI, 2008)

4.6.2. Környezetvédelmi szerep 2. – Co2 emisszió csökkentés

A császárfa C4-es növényként gyorsabb és hatékonyabb szerves anyag előállító, mint a legtöbb növény. Ebből arra következtethetünk, hogy légköri szén-dioxidból is nagyobb mennyiséget vesz fel. Egyelőre kevés adat áll rendelkezésre a császárfa szén-dioxid kibocsátás csökkentő szerepéről, de fellelhető néhány szakirodalmi forrás (World Paulownia Institute és web 20), amelyek arról számolnak be, hogy ez a faj kiváló karbonmegkötő képességű.

4.6.3. A császárfa levele és virága

Levele kiváló állati takarmány, ha azonban nem kerül le a termőterületről, akkor az őszi lombhullást követően az össze nem gyűjtött levélzet kiváló szerves- és ásványi anyag forrás a talaj számára. (Wang - Shogren, 1991) Komposztba is vegyíthető. (AFBI, 2008)

Virága jó mézelő, méze különlegesnek számít. A császárfa levelét és különösen virágát különböző gyógyászati célokra is felhasználják, Kínában ennek már több ezer éves hagyománya van. (Grycová, 2010)

5. Paulownia fajok összehasonlítása hazai termesztetőség és hasznosíthatóság szempontjából

A szakirodalmi leírások részletes tanulmányozása során kirajzolódik, hogy a Paulownia nemzetség tagjai egyes tulajdonságaikban egymástól eltérnek. Ezek a fajon belüli eltérések (pl. termőhelyi igények, rezisztencia, növekedési jellemzők és hasznosíthatóság) alkalmazhatóság illetve a hasznosítási cél szempontjából meghatározóak lehetnek, ezért a faj kiválasztása előtt érdemes ezek alapján mérlegelni és dönteni.

5.1. Rezisztencia

A legalapvetőbb eltérés a nemzetségen belül a levegő hőmérsékletével szembeni érzékenység. A *P. tomentosa* jóval rezisztensebb a téli fagyra, mint a *P. fortunei* vagy a *P. elongata*. Utóbbiakat csak olyan termőhelyre érdemes telepíteni, ahol télen a hőmérséklet ritkán süllyed $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá. (Clatterbuck–Hodges, 2004) Ezért a *P. elongata*-t és a *P. fortunei*-t az USA-ban csak a melegebb klímájú területekre telepítik. A hidegebb telű mérsékelt éghajlatú területekre a legmegfelelőbb a *P. tomentosa*. (Kays et al., 1998)

Az alábbi táblázatban összefoglaltam a Paulownia nemzetség egyes tagjaira vonatkozó fagyűrési paramétereiket:

2. sz. táblázat: A Kínában élő Paulownia-fajok számára elviselhető legalacsonyabb téli hőmérséklet	
	Legalacsonyabb téli hőmérséklet
<i>P. tomentosa</i>	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$
<i>P. elongata</i>	$-15\text{ }^{\circ}\text{C}$
<i>P. fortunei</i>	$-10\text{ }^{\circ}\text{C}$
Forrás: Chinese Academy of Forestry, 1986	

Ugyanakkor Prof. Peter Liebhard (BOKU) szerint a *Paulownia tomentosa* Steud. klónok erőteljesebb fiatalkori növekedést mutatnak és kevésbé érzékenyek a fagyra, a talajnedvességre, és a betegségekre, mint a magról szaporított társaik. (Liebhard, 2010) Ezt a megállapítást egy másik kutatási eredmény is alátámasztja: Észak-Karolinában a *Paulownia elongata*, *Paulownia fortunei* és *Paulownia*X “Henan 19”-t vizsgálva, a túlélési arány nagyobb volt a klónozott (mikroszaporított) egyedek esetében a magról szaporítottakhoz viszonyítva. (AFBI, 2008)

A *Paulownia tomentosa*-val végzett hazai kísérletünk ugyanakkor éppen ellenkező eredményt mutatnak: a mikroszaporított kultúrában a palántaveszteség jóval magasabb volt, mint a magról szaporított és félévesen szabadföldbe helyezett palánták esetében, ahol az egyéves ültetvényre vonatkozó kb. 15%-os kiveszési arány is jórészt a szomszédos mezőgazdasági növénykultúra kezelése során elszenvedett súlyos mechanikai sérüléseknek köszönhető. Emellett a kísérleteinkhez szelektált maganyagból előállított palánták erős fagyrezisztenciát mutattak, szabadföldben, tővesztés nélkül vészelték át a néha -15-20 °C-os téli hideget. (Vityi – Marosvölgyi, 2011)

5.2. Növekedés és felhasználhatóság

A *Paulownia* nemzetségen belül az egyes fajok a növekedéssel összefüggő paraméterekben is (pl. növekedés üteme, növekedési görbe, azonos korban mért magasság, mellmagassági törzsátmérő, lombkorona nagysága, a fa erezettsége) jelentős különbségeket mutatnak. [Guo, 1990; Gyuleva, 2008;] Ezek az eltérések lényegesek lehetnek a termesztés és a felhasználás szempontjából.

Mint említettük, a *Paulownia*t jellemzően a Föld melegebb éghajlatú területein (főleg Kína és USA kiterjedt ültetvényein) termesztették, ahol a *P. elongata* használata terjedt el. Emiatt ezzel a fafajjal sok tapasztalatot szereztek már, míg a mérsékelt klímát is toleráló *P. tomentosával* kapcsolatban elenyésző mennyiségű tudományos ill. üzemi adat áll rendelkezésre.

A Kína melegebb éghajlatú területein létesített ültetvényeken elsősorban a *P. elongata*-t termesztik, mert az ottani körülmények között gyorsabb növekedésű és magasabb törzset fejleszt, mint a *P. tomentosa*. Kínában a *Paulownia* ültetvényes termesztése már több évtizedes múltra tekint vissza. Ám ma már nem csupán Kínában termesztik nagyüzemi szinten a *Paulownia*t. A *P. elongata*-t például a World *Paulownia* Institute (WPI) világszerte használja. A vállalat mikroszaporítással állítja elő a palántákat, melyekből például az Egyesült Királyságban vagy Spanyolországban telepítenek ültetvényeket. Erdészeti ültetvények céljára jelenleg elsősorban a *P. elongata*-t használják, de alkalmazható a *P. catalpifolia* és a *P. tomentosa* is (AFBI, 2008). A *Paulownia*t elterjedten használják még az USA-ban, és ma már Európában is találhatók ültetvények (igaz egyelőre kevés és többnyire kísérleti jellegű, a kapcsolódó kutatások is csak az utóbbi évtizedre korlátozódnak).

Optimális körülmények között a *P. elongata* törzsátmérőben 8-13 éves kora között produkálja a legintenzívebb növekedést, ezt követően a növekedési görbe hanyatlik. A tudományos szakirodalom szerint 13 éves korban a *P. elongata* mellmagassági törzsátmérője 44,3 cm, tövenként 0,805 m³ törzstérfogattal. Ennek a hozamnak a 90%-a a növény első éveiben realizálódik. (Az összehasonlító tanulmányok arra mutatnak rá, hogy azonos korban a *P. fortunei* 18-36%-kal magasabb, de mellmagasságban ugyanakkora átmérőjű, mint a *P. elongata*. (Gyuleva, 2008)

Ültetvény létesítéséről nem érdemes piaci kereslet felmérése nélkül dönteni. Márpedig az ültetvényről kitermelt *Paulownia* rönk minőségétől függően a piaci lehetőségek és a piaci árak erősen differenciálódnak. Jó példa erre az Amerikai Egyesült Államok. Az USA-ban termesztett *Paulownia* legnagyobb piaca Japán, amely csak kiváló minőségű faanyagot vesz át. Ehhez az ültetvényeken kizárólag lassú növekedésű, magas minőségű faanyagot adó fafajt használhatnak, a gyors növekedésű, alacsonyabb rönkminőségű faanyagot az USA-ból nem tudják exportálni. Az ültetvények kezelésénél szigorú szabályokat kell betartani ahhoz, hogy a megfelelő minőségű faanyag biztosítható legyen. Az amerikai *Paulownia* termelők megpróbálták kiépíteni a hazai császárfapiacot is, tekintettel a fafaj kiváló szilárdság/súly arányára és jó megmunkálhatóságára, azonban ez a törekvésük mindeddig sikertelennek bizonyult. (Clatterbuck–Hodges, 2004) A fafelhasználást

befolyásoló kulturális különbségek és hagyományok piaci hatása itt jól érzékelhető.

A *P. elongata* hibrid változata már hazánkban is megjelent, „Smaragdfa” néven. Az Agrárágazat c. folyóiratban megjelent cikk szerint a „*Paulownia elongata* amerikai szelekció eredményeként létrehozott hibrid faj, amely fagyűrűs jóval nagyobb mint az alapfajé. Bár gyökérdugványokról is jól szaporítható, in vitro módon (mikroszaporítással) szaporítják.” „Magyarországon az első, 2 ha-os ültetvényt 2011 júniusában Tompa és Kelebia között telepítették, és 2012-ben további kb. 20 ha telepítését tervezik Magyarország több pontján, de elsősorban a Homokhátság területén. (Új energianövény Magyarországon. Agrárágazat, 2012. február) 2012 májusában Fajszi község (Dél-Alföld) határában és Kópházán is létesül egy kísérleti Smaragdfa ültetvény, egyenként közel 0,5 ha területen. Kísérleti telepítés folyik Halmaj határában is.

Mivel hazánkban a *P. elongata*-val végzett (többéves vágásfordulójú) telepítések még nagyon fiatalok, a magyarországi klimatikus viszonyok ill. az adott termőhelyi sajátosságok mellett nyerhető faanyag vizsgálati célokra nem áll rendelkezésre, ezért összehasonlításukat a fajszi szelekció eredményeivel nem tudtuk elvégezni. (Részben ezt a célt szolgálja az *elongata* hibridekkel Fajszi határában létesülő kísérleti ültetvény.)

6. Következtetések, javaslatok

A szakirodalmi adatok, és az eddig elvégzett hazai vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a *Paulownia* egy alapvetően igénytelen, nagy hozammal és viszonylag könnyen termesztendő, kedvező tüzeléstechnikai paraméterekkel rendelkező fafaj. Az egyre növekvő energia célú biomassza igény kielégítését, valamint a remediációra szoruló területek megfelelő kezelését és hasznosítását Magyarországon is potenciálisan segítheti a *Paulownia* ültetvények alkalmazása. Alkalmazásának konkrét hazai lehetőségeit, előnyeit és kockázatait érdemes lenne részletes vizsgálattal feltárni.

Egy ilyen vizsgálat elvégzésének alapvető feltétele, hogy jól ismerjük a fafaj adott (klimatikus, termőhelyi) viszonyok között érvényesülő tulajdonságait, a termesztetőségével és hasznosításával kapcsolatos paramétereket (kezelési igények, rezisztencia, növekedés, vitalitás, szaporodás/szaporíthatóság, gyakorlati felhasználhatóság, stb.). Ezekről a paraméterekről magyarországi viszonylatban kevés megbízható tapasztalat áll rendelkezésre, mivel nagyüzemi termesztése még nem kezdődött el. Csupán kísérleti jellegű ültetvények létesültek, ezek maximum 5-6 éves termesztési tapasztalattal szolgálnak (ami a faj itthoni ipari célú tesztelésére – tekintettel a 8-13 éves vágásérettségre – kevés, energia-célú hasznosíthatósága szempontjából viszont már ad értékelhető eredményeket).

Mivel a *Paulownia* nemzetség egyes fajai között számszerűleg kismértékű, ám termesztetőség és felhasználhatóság szempontjából lényeges különbségeket tapasztaltak, a fajták hazai alkalmazásra történő kiválasztása előtt érdemes ezeket az eltéréseket figyelembe venni. A már létező illetve a jelenleg telepítés alatt álló *P. tomentosa* ill. *P. elongata* („Smaragdfa”) kísérleti ültetvények már elvégzett és a továbbiakban javasolt részletesebb vizsgálata ebben a döntéshozatali folyamatban is segítséget nyújthat.

A Magyarországon kísérleti jelleggel termesztett *P. tomentosa* energetikai paraméterei gyakorlatilag megegyeznek a szakirodalomban közölt értékekkel.

A fentiek alapján a továbbiakban a hazai kísérleti *Paulownia* ültetvényeken a következő vizsgálatok elvégzését tartjuk célszerűnek:

- Az egyes fajok hazai körülmények között mérhető termesztési és hasznosíthatósági paramétereinek vizsgálata és összevetése
- Az eltérő szaporítási módszerrel létrehozott - klónozott illetve magról szaporított – egyedek hazai körülmények között realizálódó termesztési és hasznosíthatósági paramétereinek vizsgálata és összevetése

- A kísérleti ültetvények anyagával további energetikai vizsgálatok elvégzése (pl. laboratóriumi/üzemi tüzeléstechnikai tesztek, energetikai tömörítvények előállítás és bevizsgálása)
- A Paulownia lehetséges erdészeti/agroerdészeti illetve mezőgazdasági szerepe Magyarországon.
- A Magyarországon előállított császárfa szerepe az ipari szektorban: felhasználhatósága, értékesíthetősége, potenciális (hazai és külföldi) piaca.
- A Paulownia energetikai illetve ipari célú termesztésének gazdasági, társadalmi, környezetvédelmi/környezetgazdálkodási hatásai (előnyök és kockázatok mérlegelése).
- A környezetvédelmi aspektusok közül külön ki kell emelni annak vizsgálatát, hogy a Paulownia invazív jellege érvényesül-e a hazai klimatikus viszonyok között, tekintettel arra, hogy a faj hazai alkalmazhatóságát ez alapvetően befolyásolja, és a császárfa ezen tulajdonságára vonatkozó nemzetközi vélemények ill. tapasztalatok - mondhatni a fa földrajzi helyétől függően - eltérőek.

Javasoljuk illetve tervezzük további kísérleti *P. tomentosa*, valamint *P. elongata* (és hibridjei) ültetvények létesítését, a fenti vizsgálatok elvégzése, illetve további hazai tapasztalatok szerzése céljából. Mivel eddig a Paulowniát jellemzően a Föld melegebb éghajlatú területein (elsősorban Kína és USA kiterjedt ültetvényein) termesztették, ahol a *P. elongata* használata terjedt el, ezzel a fajjal sok tapasztalatot szereztek már, míg a mérsékelt klímát alaptulajdonságként toleráló *P. tomentosával* kapcsolatban elenyésző mennyiségű tudományos ill. üzemi adat áll rendelkezésre. Ezért szeretnénk kiemelni a *P. tomentosa* kísérleti ültetvények szerepét, melyeknek létesítéséhez a Fajszon szelektált, hazai viszonyok között tesztelt szaporítóanyagból a jelen tanulmányban közölt módszerrel előállított palánták felhasználását javasoljuk.

7. Irodalomjegyzék

7.1. Nyomtatott és elektronikus formátumú publikációk

- [1]. AFBI (2008): Paulownia as a novel biomass crop for Northern Ireland? A review of current knowledge. Occasional publication No. 7. Agri-Food and Biosciences Institute, Hillsborough, 2008.
- [2]. Akyildiz, M. H. - Kol, H. S. (2010): Some technological properties and uses of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood. *Journal of Environmental Biology* 31 p. 351-355, May 2010. Triveni Enterprises, Lucknow, India
- [3]. Ates, S. et al. (2008): Characterization and evaluation of Paulownia elongata as a raw material for paper production. *African Journal of Biotechnology* Vol. 7 (22), pp. 4153-4158, 19 November, 2008.
- [4]. Al-Tinawi, I. A. et al. (2010): Development of In vitro Propagation System for Paulownia tomentosa L. Using Tissue Culture Techniques. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 6 (4), 2010
- [5]. Clatterbuck, W. K. -Hodges, D. G. (2004): Tree Crops for Marginal Farmland - Paulownia. The University of Tennessee.
- [6]. Cuiping, L. et al. (2004): Chemical elemental characteristics of biomass fuels in China. *Biomass and Bioenergy*. 27: 2, p.119-130.
- [7]. El-Showk, S. - El-Showk, N. (2003): The Paulownia tree – An alternative for sustainable forestry.
- [8]. Grycová, L. (2010): Application of NMR to study structures of natural compounds. PhD Thesis. Masaryk University, Brno
- [9]. Guo, X.,Y. et al. (1990): Final Technical Report of Paulownia Projekt (PHASE II). The Chinese Academy of Forestry. Beijing, China.
- [10]. Gyuleva, V. (2008): Project “Establishment of geographical plantations of Paulownia elongata hybrids in Bulgaria” – contract No 37 with State Agency of Forests (2007–2010). *BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES - NEWS*. No 12 (64), Year VI, 2008.
- [11]. Iván, J. (2011): Invazív fajok szerepe a biodiverzitás fennmaradásában. Szakdolgozat. Budapest.

- [12]. Kalaycioglu, H. et al. (2005): Some of the properties of particleboard made from Paulownia. *Journal of Wood Science*, 51: 410-414.
- [13]. Kays, J. et al., (1998): How to Produce and Market Paulownia. *Cooperative Extension Bulletin* 319. University of Maryland.
- [14]. Liebhard, P. (2010) : Short Rotation Coppice –Interaction with Ecosystems. University of Natural Resources and Applied Life Sciences Vienna. Előadásanyag.
- [15]. Litwińczuk, W. – Bochnia, E (2012): Developmtn of Royal Paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) in vitro shoot cultures – under the influence of different saccharides. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 11(2) 2012, p. 3-13
- [16]. Muthuri, C. W. et al. (2005): Tree and crop productivity in *Grevillea*, *Alnus* and Paulownia-based agroforestry systems in semi-arid Kenya. *Forest Ecology and Management*, 212: 23-39.
- [17]. Papp, V. (2012): Paulownia energetikai vizsgálata. NyME kutatási jelentés, Sopron
- [18]. Senelwa K.- Sims R. E. H. (1999): Fuel characteristics of short rotation forest biomass. *Biomass and Bioenergy* 17. p. 127-140
- [19]. Új energianövény Magyarországon: a Kínai Császárfa. *Agrárágazat* 2012. február.
- [20]. Vityi, A. – Marosvölgyi, B. (2011.): Hazai eredetű császárfa mint energianövény. *Környezeti Kutatások. Környezeti Erőforrás-gazdálkodási és védelmi Kooperációs Kutatási Központ Nonprofit Kft. Sopron, 2012.*
- [21]. Wang, Q. – Shogren, J. F. (1991): Characteristics of the Crop-Paulownia System in China. Working Paper 91-WP 84
- [22]. Yang, X. (2004): Paulownia Agroforestry Systems in China. Poster. *Proceedings of the International Ecoagriculture Conference and Practitioners' Fair. vol. 2: Conference abstracts. Nairobi, 2004.*

7.2. Egyéb internetes források (web)

- 1) Amerikai Egyesült Államok Erdészeti Szolgálat. US Forest Service. <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/pautom/all.html>
- 2) Pickering, J et.al (2006): Map of Paulownia tomentosa www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Paulownia+tomentosa&guide=POPA_USGA&cl=US/GA/Clarke/State_Botanical_Garden
- 3) AgroForestryTree Database. Paulownia Imperialis - Geographical distribution. <http://www.worldagroforestry.org/sea/products/afdbases/af/asp/SpeciesInfo.asp?SpID=1265>
- 4) Global Invasive Species Database. <http://www.issg.org/database>
- 5) A császárfa - Paluwnia tomentosa. <http://disznoveny.uni-corvinus.hu/index.php?id=19698>
- 6) Paulownia worldwide. www.paulowniatrees.com.au/History.htm
- 7) Biology Online. www.biology-online.org/dictionary/C4-plant
- 8) Biology Online. www.biology-online.org/dictionary/C4_carbon_fixation_pathway
- 9) Wikipedia - Fotoszintézis. hu.wikipedia.org/wiki/Fotoszintézis
- 10) <http://prestigeplantations.com/timber.html>
- 11) El-Showk, S. and El-Showk, N. 2003. The Paulownia tree – An alternative for sustainable forestry. The Farm. <http://www.cropdevelopment.org/paulownia/Brochure.pdf>
- 12) Switchgrass as an Alternative Energy Crop. www.switchgrass.nl/summary.html
- 13) Biomasse aus Paulowniaplantagen. http://paulownia.de/index.php?option=com_content&task=view&id=32&Itemid=44
- 14) Worldpaulownia-eu.com. <http://www.worldpaulownia-eu.com/usesforpaulownia.html>
- 15) „Super Paulownia Plantation & Wood Pellet Production Plant” World Trade Center Utah. Előadásanyag. www.shi-corp/en/news/img/090210_01/0210_le.pdf
- 16) „Project for the production of biomass fuel pellets in Bulgaria near the city of Tran Dnevnik - Feb. 20, 2007”. NewEurope online - The European Political Newspaper. <http://www.neurope.eu/article/ferry-group-plans-invest-bulgaria>

- 17) Paulownia Trees. <http://www.biomasswithplants.com>
- 18) <http://prestigeplantations.com/biomass.html>
- 19) Paulownia for Remediation and Reclamation. World Paulownia Institute LLC. www.worldpaulownia.com/html/remediation.html
- 20) Propagation Techniques for Paulownia. NEDA Knowledge Emporium. <http://www.neda.gov.ph/Knowledge-Emporium/details.asp?DataID=427>
- 21) The Hybrid Paulownia. <http://www.mftree.com/emission.html>
- 22) Lawrence, J. S. (2009 - 2011): Paulownia Biomass Production. TGG. www.toadgully.com.au
- 23) Lawrence, J. S. (2009): Simple comparison characteristics for 3 biomass crops. TGG ~ the paulownia propagation people. www.toadgully.com.au
- 24) Lawrence, J. S. (2009): Paulownia woody biomass analysis. TGG ~ the paulownia propagation people. www.toadgully.com.au
- 25) Paulownia elongata Risk Assessment. www.hear.org/pier/wra/pacific/paulownia_elongata_htmlwra.htm
- 26) AgroForestryTree Database. A tree species reference and selection guide - Paulownia Imperialis. Species identity. <http://www.worldagroforestry.org/sea/Products/AFDbases/af/asp/SpeciesInfo.asp?SpID=18037>
- 27) <http://prestigeplantations.com/timber.html>