

MAŁGORZATA WOŹNIAK¹, ANNA GAŁAZKA¹, MAGDALENA FRĄC²

¹Zakład Mikrobiologii Rolniczej
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

²Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
E-mail: mlyszcz@iung.pulawy.pl
agalazka@iung.pulawy.pl
m.frac@ipan.lublin.pl

PAULOWNIA – SZYBKO ROSNĄCE, WIELOFUNKCYJNE DRZEWO BIOENERGETYCZNE*

WSTĘP

Od czasu kryzysu energetycznego w latach 70. XX w., wiele krajów europejskich wykazało zwiększone zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii. Stężenie atmosferyczne kluczowych gazów cieplarnianych stale wzrasta w wyniku działalności człowieka (RAMANATHAN i FENG 2008, SOLOMON i współaut. 2009). Celem Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu (ang. United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w atmosferze do wystarczająco niskiego poziomu, który „zapobiegłby niebezpiecznej, antropogenicznej ingerencji w system klimatyczny” (Dz. U. z 1996 r. Nr 53, poz. 238, SOLOMON i współaut. 2009). Zmiany klimatyczne są więc jednym z głównych wyzwań dla społeczeństwa w nadchodzących dziesięcioleciach. W tym kontekście niektóre organizacje krajowe i międzynarodowe rozwinęły różne strategie w celu promowania zastąpienia paliw kopalnych odnawialnymi źródłami energii. Coraz większa troska o konsekwencje spalania surowców energetycznych w globalnym systemie klimatycznym zwróciła uwagę na leśnictwo krótkotrwałe. Plantacje lasów o krótkiej rotacji (ang. short rotation forestry, SRF) wprowadza się w celu zmniejszenia stężenia dwutlenku węgla w atmosferze oraz jako źródło biomasy dla energetyki

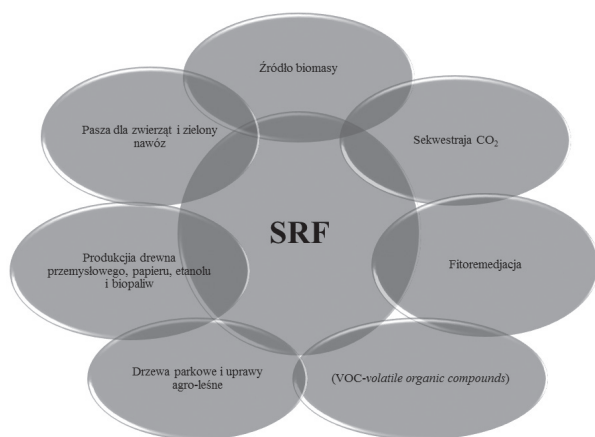
i przemysłu (CALFAPIETRA i współaut. 2010, LUCAS-BORJA i współaut. 2011).

PLANTACJE LASÓW O KRÓTKIEJ ROTACJI

W ostatnim czasie stale rośnie liczba plantacji lasów o krótkiej rotacji (SRF), znanych również jako SRC (ang. short rotation cultures). Obecnie plantacje SRF definiowane są głównie jako uprawy roślin bioenergetycznych. Tradycyjnie wykorzystywane były do produkcji celulozy, papieru, drewna budowlanego lub pasz (WEIH 2004). Cykl rotacji rośliny SRF wynosi mniej niż 10 lat, najczęściej od 3 do 6 lat. Drzewa sadzone są w bardzo dużej gęstości około 10.000 sztuk na hektar. Zazwyczaj im wyższa gęstość nasadzeń, tym krótszy cykl rotacji. Krótkie okresy rotacji sprzyjają przede wszystkim zmniejszeniu wskaźnika śmiertelności tych drzew, a także ułatwiają zbiór plonów (CALFAPIETRA i współaut. 2010). Obecnie najczęściej wykorzystywanymi drzewami na takich plantacjach są gatunki należące do rodzaju: *Populus*, *Salix*, *Betula*, *Alnus*, *Robinia*, *Nothofagus* i *Paulownia* (CALFAPIETRA i współaut. 2010, LUCAS-BORJA i współaut. 2011). Drzewa te charakteryzują się dużą liczbą gatunków i hybryd, co przejawia się występowaniem zróżnicowanych genotypów, pozwalając tym samym na rozmieszczenie plantacji na bardzo różnych szerokościach geograficznych i

Słowa kluczowe: drzewa tlenowe, lasy o krótkiej rotacji *Paulownia*, uprawy rolno-leśne

*Badania finansowane ze środków projektu NCN-Preludium, nr projektu 2016/23/N/NZ9/02157.



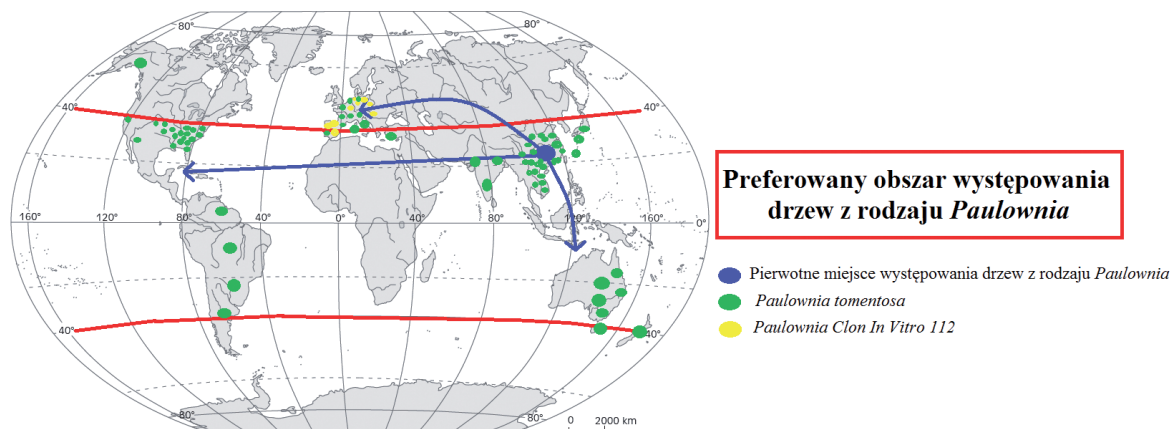
Ryc. 1. Schemat zastosowania plantacji drzew SRF.

w zróżnicowanych warunkach klimatycznych (CEULEMANS i DERAEDT 1999, CALFAPIETRA i współaut. 2010). W krajach charakteryzujących się nadwyżką gruntów rolnych przeważają uprawy lasów o krótkiej rotacji. Na podstawie dostępnej literatury można stwierdzić, że w przyszłości plantacje SRF staną się w skali globalnej najważniejszym źródłem biomasy dla energetyki. Poza rosnącym zainteresowaniem SRF jako odnawialnym źródłem energii, należy zwrócić uwagę także na fakt, iż plantacje te odgrywają kluczową rolę w procesie sekwestracji CO₂ w atmosferze (CALFAPIETRA i współaut. 2010). Rośliny SRF zyskują coraz większe zainteresowanie ze względu na ich potencjał fitoremedjacji, np. ścieków przemysłowych (ARONSSON i PERTTU 2001) i gleb (LAUREYSENS i współaut. 2004, 2005) (Ryc. 1). Niestety, oprócz korzyści wynikających z utworzenia milionów hektarów tych plantacji, istnieje ryzyko uwalniania do atmosfery lotnych związków organicznych

(ang. volatile organic compounds, VOC), emitowanych w dużych ilościach przez większość gatunków powszechnie stosowanych na plantacjach SRF. Lotne związki zawierające węglowodory odgrywają kluczową rolę w tworzeniu ozonu troposferycznego (MILLER i współaut. 2001).

PLANTACJE DRZEW PAULOWNIA

Obecnie w literaturze i środkach masowego przekazu pojawia się coraz więcej informacji na temat drzew z rodzaju *Paulownia*. Paulownia jest znana także pod wieloma innymi nazwami m.in.: drzewo cesarskie, drzewo królewskie, drzewo kiri czy drzewo Fenix (ICKA i współaut. 2016). Nazwa *Paulownia* została nadana przez szwajcarskiego botanika Thunberga (ZHU i współaut. 1986) na cześć królowej Anny Pawłownej z Holandii (1795–1865), córki cara Pawła I z Rosji (WOODS 2008). Paulownia jest szybko rosnącym drzewem liściastym, które należy do rodziny Paulowniaceae. Rodzaj *Paulownia* obejmuje od 6 do 17 gatunków (w zależności od założeń taksonomicznych). Najważniejsze gatunki to: *P. australis* (T. Gong), *P. catalpifolia* (T. Gong ex D.Y. Hong), *P. elongata* (S.Y. Hu), *P. fargesii* (Franch.), *P. fortunei* (Seem.) Hemsl., *P. kawakamii* (T. Itô) i *P. tomentosa* (Steud) (YADAV i współaut. 2013, ICKA i współaut. 2016). Gatunki z rodzaju *Paulownia* uważane są za jedne z najszybciej rozwijających się drzew liściastych na świecie. Drzewo to pochodzi z Azji, a dokładniej z Chin, gdzie jest uprawiane już od ponad 2000 lat (LYONS 1993, LIU i współaut. 2013, YADAV i współaut. 2013, TU i współaut. 2016). Stwierdzono również, że różne gatunki drzew *Paulownia* występują naturalnie w wielu innych krajach Azji, takich jak: Japonia, Korea, Tajwan i Indie, jak również



Ryc. 2. Strefa występowania na świecie gatunków z rodzaju *Paulownia* (wg CABI 2018, <http://naszregion-nysa.blogspot.com/2013/09/obiekty-geograficzne-na-mapie-swiata-cz1.html>).

w Europie, Ameryce i Australii (LIU i współaut. 2013) (Ryc. 2). Przez dziesięciolecia japońscy rzemieślnicy wykorzystali drewno paulowni do wyrobu mebli ceremonialnych, instrumentów muzycznych, dekoracji czy produkcji kontenerów do wysyłki. Drzewo to trafiło do Stanów Zjednoczonych w 1800 r. jako opakowanie na delikatne naczynia porcelanowe. Po rozpakowaniu małe nasiona zostały rozproszone przez wiatr we wschodnich regionach Stanów Zjednoczonych. Uprawa paulowni do produkcji drewna w Stanach Zjednoczonych zyskuje na znaczeniu ze względu na silny popyt w Japonii i innych krajach. Całkowite zużycie drewna paulowni ciągle wzrasta. Przykładowo, w ciągu ostatnich lat w Japonii ilość importowanego drewna paulowni wzrosła z 16 do 60% (EL-SHOWK i EL-SHOWK 2003, YADAV i współaut. 2013).

OPIS BOTANICZNY

Młode okazy drzew z rodzaju *Paulownia* mają szarobrazową gładką korę z widocznymi bruzdami. Gdy drzewo rośnie, stopniowo zaczynają pojawiać się pionowe pęknięcia. Drzewa te charakteryzują się występowaniem korony w kształcie parasola. U większości gatunków *Paulownia* pędy rozgałęziają się pseudodychotomicznie. Liście młodych drzew są duże, mogą osiągać nawet 80 cm szerokości. Mają one duże ogonki, ząbkowany brzeg i ułożone są naprzeciwlegle lub skrętolegle. Natomiast liście dojrzałych drzew są mniejsze a brzeg blaszki liściowej jest gładki lub falisty. Dolna strona liści pokryta jest gęstą warstwą włosków gruczołowych. Drzewa z rodzaju *Paulownia* posiadają kwiatostan typu wierzchotki, złożony z 2 do 5 szypułkowych kwiatów. Kwiaty wyróżnia wyrazisty zapach i jasnofioletowa barwa (ZHU i współaut. 1986, EL-SHOWK i EL-SHOWK 2003, ICKA i współaut. 2016). Gatunki z rodzaju *Paulownia* charakteryzują się posiadaniem dobrze rozwiniętego systemu korzeniowego, złożonego najczęściej z kilku dużych, dychotomicznie rozgałęzionych korzeni. System korzeniowy sięga do głębokości 8 m i pobiera składniki pokarmowe z całego profilu glebowego. Około 80% korzeni absorpcyjnych rozmieszczonych jest 40 cm poniżej powierzchni gleby. Przykładowo, w glebach piaszczystych 76% absorpcyjnego systemu korzeniowego znajduje się na głębokości od 40 do 100 cm. Rozwój systemu korzeniowego jest ściśle uzależniony od poziomu wód podziemnych, właściwości fizycznych i struktury gleby oraz dostępności składników odżywczych (EL-SHOWK i EL-SHOWK 2003, ICKA i współaut. 2016).

Większość roślin prowadzi fotosyntezę typu C3. Różne gatunki paulowni należą do tych mniej licznych taksonów, które charakteryzują się występowaniem szlaku C4. Drzewa te pochłaniają znaczne ilości dwutlenku węgla (nawet 10 razy więcej niż drzewa z fotosyntezą typu C3), w związku z tym uwalniają duże ilości tlenu. Jednohektarowa plantacja paulowni może absorbować nawet 1250 ton dwutlenku węgla w ciągu roku. Drzewo pochłania około 22 kg CO₂ i wydziela 6 kg O₂ w ciągu roku, co pozwala na oczyszczanie tysięcy metrów sześciennych powietrza (ICKA i współaut. 2016). Kolejną zaletą przeprowadzania fotosyntezy typu C4 jest lepsza efektywność gospodarowania wodą i większa tolerancja na zanieczyszczenia powietrza przez SO₂, H₂S czy NO₂ (ZHU i współaut. 1986, WOODS 2008).

Paulownia jest w zasadzie rośliną mało podatną na choroby i szkodniki. Jednak drzewa te mogą być narażone na deformacje związane z powstawaniem gęstych, mocno rozgałęzionych, miotlastych skupień młodych pędów, zwanych czarcimi miotłami (ang. witches' broom), które spowodowane są przez porażenie rośliny fitoplazmami (drobnoustroje mykoplazmatyczne) (FAN i współaut. 2016). *Candidatus Phytoplasma australiense* przyniósł wiele szkód gospodarczych w produkcji paulowni w Chinach i innych częściach świata (BAYLISS i współaut. 2005). Inną chorobą występującą głównie na sadzonkach drzew paulowni jest antraknoza powodowana przez patogeny grzybowe. Infekcja objawia się poprzez brunatnienie liści i powstawanie drobnych żółtozielonych plam na ich powierzchni. Skupiska czerwonych konidiów grzyba pojawiają się na liściach w warunkach dużej wilgotności (EL-SHOWK i EL-SHOWK 2003).

WYMAGANIA UPRAWOWE

Drzewa z rodzaju *Paulownia* mają niewyłącznie zdolności adaptacji do różnych czynników glebowych i klimatycznych. Występują na różnych typach gleb: na piaskach, glinach, a nawet na glebach zdegradowanych (RAHMAN i współaut. 2013, POPOVIĆ i współaut. 2015). Jednak najlepiej rosną na przepuszczalnych glebach luźnych, których wartość pH waha się od 5 do 8 (EL-SHOWK i EL-SHOWK 2003, POPOVIĆ i współaut. 2015). Spotykane są na glebach silnie zasolonych i ubogich w składniki odżywcze, ponieważ posiadają zdolność do selektywnej absorpcji jonów wapnia (Ca²⁺) i magnezu (Mg²⁺) (EL-SHOWK i EL-SHOWK 2003). Gatunki z rodzaju *Paulownia* występują na wysokości do 2.400 metrów nad poziomem morza na obszarach do 40° szerokości geograficznej (po-

Tabela 1. Wymagania uprawowe drzew z rodzaju *Paulownia* (wg ZHU i współaut. 1986, EL-SHOWK i EL-SHOWK 2003, LUCAS-BORJA i współaut. 2011, POPOVA i BAYKOV 2013, YADAV i współaut. 2013, POPOVIĆ i współaut. 2015, ICKA i współaut. 2016).

Parametr	Wartość
Temperatura powietrza	od -18 do +35°C (optymalnie od 24°C do 29°C)
Opady	500–2000 mm
Wysokość n.p.m.	do 2400 m (preferowana od 750 do 800 m)
pH gleby	5,0–8,0
Całkowita porowatość	>50%
Zasolenie	< 1%

między 40° N i 40° S), gdzie roczna suma opadów waha się od 500 mm do ponad 2 000 mm, a temperatura powietrza wynosi od około -18°C do +35°C (optymalne warunki dla wzrostu to temperatura od 24°C do 29°C) (Tabela 1) (EL-SHOWK i EL-SHOWK 2003, LUCAS-BORJA i współaut. 2011, POPOVA i BAYKOV 2013, YADAV i współaut. 2013).

Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na wzrost i jakość włókien drzew *Paulownia* są fizyczne i chemiczne właściwości gleby, m.in. wartość pH i zawartość składników odżywczych (KHALIL i współaut. 2015, POPOVIĆ i współaut. 2015). Drzewa te charakteryzują się wysoką produkcją biomasy i szybkim tempem wzrostu. W przeciągu 5-7 lat mogą dorastać do 15–20 m wysokości i produkować rocznie 150 t/ha biomasy (LUCAS-BORJA i współaut. 2011, TZVETKOVA i współaut. 2013). Zdolność do regeneracji to kolejna z najważniejszych cech gatunków drzew *Paulownia*. Po ścięciu lub spaleniu części nadziemnej z korzeni odrasta nawet kilka pędów. W sprzyjających warunkach w ciągu jednego roku można zaobserwować przyrost pędu od 2 do 4 metrów (ZHU i współaut. 1986).

ZASTOSOWANIE

Wszystkie gatunki drzew *Paulownia* wykorzystywane są do produkcji drewna przemysłowego, papieru i etanolu (LIU i współaut. 2013, POPOVA i BAYKOV 2013). Ze względu na wysoką produkcję biomasy drzewa te mogą być doskonałym źródłem surowca do produkcji biopaliw, chociaż ich potencjał nie jest do końca zbadany. Są szeroko stosowane jako drzewa parkowe i uprawy rolno-leśne, m.in. *Paulownia elongata*, *Paulownia tomentosa*, *Paulownia fortunei* (LIU i współaut. 2013, POPOVA i BAYKOV 2013, YADAV i współaut. 2013). Kwiaty są bogatym

Tabela 2. Skład chemiczny liści drzew *Paulownia* (wg EL-SHOWK i EL-SHOWK 2003, ICKA i współaut. 2016).

Składnik	Zawartość procentowa (%)
Materia organiczna	91,4
Białka	22,6
N	2,8-3,0
K	0,4
P	0,6
Ca	2,1
Fe	0,6
Zn	0,9
Wartość energetyczna	15–18 MJ/kg

źródłem wysokiej jakości miodu. Natomiast liście paulowni charakteryzują się wysoką zawartością białek (około 20%), tłuszczów, cukrów, azotu, fosforu i potasu. Zawartość azotu w liściach jest porównywalna do tej w roślinach strączkowych i wynosi około 2,8-3,0% (Tabela 2). Innymi ważnymi pierwiastkami występującymi w liściach drzew *Paulownia* są wapń, żelazo i cynk. Ze względu na swój bogaty skład chemiczny liście tych drzew są stosowane jako pasza dla zwierząt np. królików, świń i przeżuwaczy, a także jako zielony nawóz, który wzbogaca glebę w materię organiczną (POPOVA i BAYKOV 2013, YADAV i współaut. 2013, WOŹNIAK i współaut. 2018).

Drzewa z rodzaju *Paulownia* znalazły także zastosowanie w tradycyjnej medycynie chińskiej. Ekstrakty z tkanek paulowni są skuteczne w leczeniu różnych dolegliwości, m.in. zapalenie oskrzeli. Liczne badania fitochemiczne potwierdzają, że gatunki *Paulownia* wytwarzają wiele metabolitów wtórnych, wśród których najważniejsze są związki polifenolowe wykazujące silne właściwości przeciwutleniające (AYAN i współaut. 2003, SMEJKAL i współaut. 2007, YADAV i współaut. 2013). Drzewa z rodzaju *Paulownia* wykorzystywane są również do kontroli zanieczyszczeń powietrza i gleby. Badania TZVETKOVA i współaut. (2013) potwierdzają, że paulownia ma zdolność do fitoremediacji gleb skażonych metalami ciężkimi.

W literaturze występuje wiele przykładów badań dotyczących rodzaju *Paulownia*. MADEJÓN i współaut. (2014) analizowali możliwość wykorzystania tych szybko rosnących drzew do poprawy jakości gleby i ustabilizowania poziomu pierwiastków śladowych w glebach zanieczyszczonych. Wyniki tych badań wskazują, że uprawa paulowni, wraz z dodatkiem substancji organicznych, powoduje wzrost pH w glebach kwaśnych, przy czym nie zaobserwowano wpływu na gle-

by obojętne. Wzbogacenie uprawy paulowni nawozami organicznymi przyczyniło się do wzrostu materii organicznej, a w konsekwencji żyzności gleby. Pozytywne wyniki otrzymano również w uprawach bez dodatku stymulatorów organicznych. W czasie prowadzonych badań oceniono, że *Paulownia* ma pozytywny wpływ na ogólne właściwości biochemiczne gleb. Ponadto stwierdzono, że może być wykorzystana do poprawy jakości gleb zanieczyszczonych i zdegradowanych. POPOVA i BAYKOV (2013) przeprowadzili badania mające na celu określenie aktywności antybakteryjnej *in vitro* świeżych liści *Paulownia elongata* i uzyskanej z nich kiszonki w odniesieniu do patogenów występujących w paszach dla zwierząt. W doświadczeniu zastosowano 18 chorobotwórczych szczepów bakteryjnych należących do gatunków *Salmonella enterica*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Paenibacillus alvei* i *Candida albicans*. Wodne ekstrakty liści *P. elongata* i ich kiszonki wykazały *in vitro* działanie przeciwbakteryjne przeciwko tym mikroorganizmom. Działanie hamujące jest lepiej widoczne w stosunku do bakterii Gram-ujemnych.

PAULOWNIA TOMENTOSA

Paulownia omszona (*P. tomentosa*) to jeden z najczęściej uprawianych gatunków z rodzaju *Paulownia*. Spotykana głównie w cieplejszych częściach Europy jako drzewo ozdobne. Ten gatunek paulowni, podobnie jak inne, pochodzi z zachodnich i centralnych Chin. Od wieków uprawiany jest także w innych krajach Azji. W latach 30. XIX w. gatunek ten pojawił się w środkowej i południowej Europie, gdzie przez sadzonki dostarczyła go holenderska firma East India Company. Kilka lat później sprowadzono go do Ameryki Północnej. W latach 50. XX w. w Brazylii, Paragwaju, Argentynie i Australii stopniowo zaczęły powstawać pierwsze plantacje tych drzew (CABI 2018) (Ryc. 3, 4).

Istnieją obawy odnośnie inwazyjności gatunku *Paulownia tomentosa*, bowiem jako gatunek obcy może stanowić jedno z największych zagrożeń ekologicznych i ekonomicznych. Należy zwrócić uwagę, że gatunki nierodzące mogą działać jako wektory nowych chorób, wpływać negatywnie na ekosystemy naturalne i globalną różnorodność biologiczną, a także wyjaławiać glebę. W ciągu ostatnich lat nastąpiło znaczne rozprzestrzenianie się paulowni omszonej. W USA *P. tomentosa* uważana jest jako drzewo inwazyjne. Znajduje się w pierwszej dziesiątce inwazyjnych roślin pochodzenia azjatyckiego (REMALEY 1998, DING i współ. 2006). *P. tomentosa* znajduje się na europejskiej i



Ryc. 3. *Paulownia tomentosa* przy Obserwatorium Astronomicznym, w Ogrodzie Botanicznym Uniwersytetu Warszawskiego. Kwiaty pojawiają się co roku, ale z różną obfitością (część wymarza zimą); pod drzewem nie zauważa się siewek i młodych okazów (fot. Barbara Sudnik-Wójcikowska).



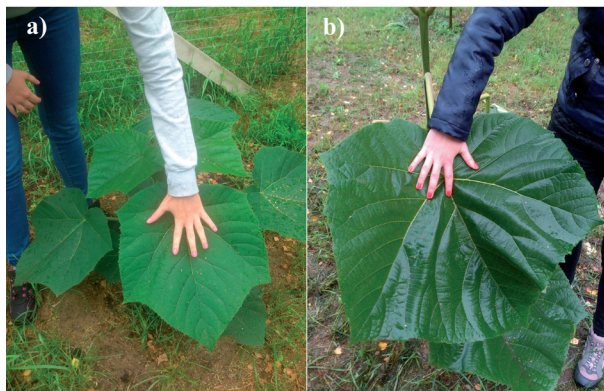
Ryc. 4. Niezwykle dekoracyjne kwiaty *Paulownia tomentosa* (fot. Barbara Sudnik-Wójcikowska).

światowej liście gatunków inwazyjnych (DAISIE 2018, GISD 2018). Status ten nadano paulowni także w Austrii, zaś w Czechach gatunek został objęty kontrolą z powodu możliwości ujawnienia się jego właściwości inwazyjnych (ESSL 2007, PERGL i współ.

2016); *Paulownia tomentosa* jest wyjątkowo odporna na czynniki stresowe, m.in. wysokie letnie temperatury i niską dostępność wody w okresach suszy. W USA gatunki te często spotykane są w lukach lasów spowodowanych np. przez huragany. *Paulownia omszona* jest również gatunkiem pionierskim na skrajach lasów i wzdłuż poboczy. Z danych wynika, że w Parku Narodowym Great Smoky Mountains niszczy ona siedliska skalne i zastępuje rodzime gatunki sosny (LANGDON i JOHNSON 1994, ESSL 2007). Preferencje siedliskowe w USA wskazują, że *P. tomentosa* może dalej rozprzestrzeniać się w Europie Środkowej czemu może towarzyszyć przejście na naturalne siedliska, np. leśne polany (ESSL 2007). Przyszłemu rozprzestrzenianiu tego gatunku poza jego obszar występowania mogą sprzyjać przewidywane zmiany klimatyczne. W związku z tym nie tylko gatunek *P. tomentosa*, ale także inne gatunki tego drzewa, powinny być ściśle monitorowane. Jednocześnie należy zwrócić uwagę na czynniki sprzyjające i ograniczające zwiększanie obecnego zasięgu występowania paulowni omszonej w celu ochrony naturalnych ekosystemów.

PAULOWNIA CLON IN VITRO 112

Szczególnie dużym zainteresowaniem cieszy się mieszaniec *Paulownia Clon in Vitro 112* (Ryc. 5, 6), którego nazwa handlowa to „Oxytree”, „BIO TREE”, „DRZEWO TLENOWE” (<http://oxytree.pl/>, <http://www.biotree.pl/>, <http://bsco2.pl/drzewa-tlenowe/>). *Paulownia Clon in Vitro 112* to drzewo, które powstało w warunkach laboratoryjnych w wyniku skrzyżowania i klonowania dwóch gatunków *Paulownia eleganta* i *P. fortunei*. Odmiana *Paulownia Clon In Vitro 112* została wyhodowana w laboratorium In Vitro S.L. z Sant Feliu de Llobregat w okolicy Bar-



Ryc. 5. Liście młodych okazów *Paulownia Clon in Vitro 112* w okresie a) 3 miesięcy i b) 6 miesięcy od posadzenia (fot. Wojciech Woźniak).



Ryc. 6. Półroczne drzewo *Paulownia Clon in Vitro 112* na plantacji w miejscowości Podkaminsos (fot. Wojciech Woźniak).

celony w Hiszpanii (numer identyfikacyjny szkółki ES-09-08-0016). Katedra Leśnictwa i Genetyki Uniwersytetu Castilla-La Mancha (Hiszpania) potwierdziła, że ta odmiana jest najlepszym klonem paulowni (RZEPIŃSKI i PILAREK 2016; <http://oxytree.pl/co-to-jest-oxytree/>). *Paulownia Clon In Vitro 112* wyhodowana przez hiszpańskich naukowców wykazuje charakterystyczne cechy w porównaniu do innych odmian tego gatunku. Szczególną uwagę należy zwrócić na wysoką odporność na ekstremalne temperatury w zakresie od -25°C do $+45^{\circ}\text{C}$ (dla przypomnienia: inne gatunki tolerują od -18°C do $+35^{\circ}\text{C}$). Ponadto *Paulownia Clon In Vitro 112* cechuje się szybszym tempem wzrostu i większą wydajnością. Klon ten osiąga wysokość 15–20 m, uzyskując przy tym średnicę pnia 25–30 cm już od 3 roku. Gatunek ten uznawany jest jako odpowiedni do produkcji biomasy i do rekultywacji gruntów (ICKA i współaut. 2016).

Pierwsze plantacje drzew *Paulownia Clon in Vitro 112* powstały w 2014 r. Tysiące sadzonek trafiło m.in. do Rumunii, Bułgarii, Czech i Polski. Według Carbon Solutions Global łączna powierzchnia plantacji wynosi 460 ha i stale rośnie. W Polsce, poza prywatnymi plantacjami, występują kilkuhek-

tarowe plantacje testowe, m.in. plantacja doświadczalna w Pawłowicach, która prowadzona jest pod nadzorem Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Głównym celem prowadzenia tych plantacji są badania dotyczące adaptacji *Paulownia Clon in Vitro 112* do polskich warunków klimatycznych. Istnieje bowiem obawy odnośnie wysokich wymagań termicznych części nadziemnej rośliny, głównie w fazie juwenilnej (JABŁOŃSKI 2016). Pojawiają się pierwsze ekspertyzy dotyczące plantacji drzew *P. eleganta* x *P. fortunei* w Polsce. Badania przeprowadzone przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) dowiodły, że typ gleby pochodzącej z 1-roczonej i 2-letniej plantacji Oxytree nie wpływa na kiełkowanie nasion i początkową fazę wzrostu pszenicy ozimej, rzepaku ozimego i kukurydzy. Ponadto, w związku ze stale rosnącym zainteresowaniem tymi drzewami, w kraju organizowane są spotkania naukowe poświęcone różnym zagadnieniom związanym z drzewami *Paulownia*, np. I Warsztaty Naukowe „Oxytree – drzewo przyszłości” (<https://drive.google.com/file/d/0B8fshEY-agmJIUnptNGdUcXhkNW8/view>, <http://drzewowoxy.pl/aktualnosci/warsztaty-naukowe/>).

Pomimo wielu pozytywnych właściwości przedstawionych w literaturze światowej, w Polsce istnieją obawy odnośnie zakładania plantacji drzew *Paulownia*. Komisja PROPs ds. Roślin (Państwowa Rada Ochrony Przyrody; http://prop.info.pl/wp-content/uploads/2016/03/KOR-16-01_Paulownia_opinia.pdf), w wydanej opinii dotyczącej dopuszczalności tworzenia na terenie Polski plantacji rośliny Oxytree (*Paulownia Clon In Vitro 112*) i jej możliwego wpływu na środowisko naturalne, zwróciła uwagę, że „szerokie propagowanie i sadzenie obcego dla flory Polski gatunku drzewa o biologii mało poznanej w warunkach polskich jest przedsięwzięciem obarczonym ryzykiem, zarówno w sensie przyrodniczym jak i ekonomicznym”. Komisja zaznaczyła jednocześnie, że miarodajna ocena ryzyka przyrodniczego uprawy tej rośliny na terenie Polski, szans na powodzenie upraw w poszczególnych regionach oraz ich ekonomicznej opłacalności, wymagałyby przeprowadzenia doświadczenia przez niezależną jednostką naukowo-badawczą. W źródłach internetowych również istnieje wiele artykułów popularnonaukowych związanych z obawami dotyczącymi zakładania nowych plantacji drzewek tlenowych, np. „Drzewo doskonałe czy zagrożenie? Tysiące sadzonek rosną, pytania zostają bez odpowiedzi” (<http://www.tvn24.pl/wiadomosci-z-kraju,3/oxytree-w-polsce-zalety-iniebezpieczenstwa,674382.html>), „Drzewa szybko rosnące. *Paulownia* to nowy hit inwestycyjny czy kolejna pułapka na naiwnych?” ([\[money.pl/gospodarka/wiadomosci/artukul/drzewa-szybko-rosnace-paulownia-inwestycja,119,0,2103159.html\]\(http://www.money.pl/gospodarka/wiadomosci/artukul/drzewa-szybko-rosnace-paulownia-inwestycja,119,0,2103159.html\)\), „Grozi nam nowy barszcz Sosnowskiego? Za pomocą *in vitro* powstało Oxytree. Na pierwszy rzut oka – drzewo idealne...” \(JODŁOWSKA 2016\).](http://www.</p></div><div data-bbox=)

PODSUMOWANIE

Powyższy przegląd literatury przedstawia najważniejsze zagadnienia związane z szybko rosnącymi drzewami ze szczególnym uwzględnieniem drzew z rodzaju *Paulownia*. Pomimo tego, że w literaturze światowej opisano już wiele interdyscyplinarnych badań nad drzewami *Paulownia*, to wciąż wiele zagadnień pozostaje niewyjaśnionych. Zwiększenie liczby upraw drzew szybko rosnących przyczynia się redukcji emisji CO₂ do atmosfery i do zabezpieczenia paliw kopalnych (LUCAS-BORJA i współaut. 2011). Plantacje leśne o krótkiej rotacji uważane są za przyjazne dla środowiska. Przykładem takich plantacji są uprawy robinii akacjowej (*Robinia pseudoacacia* L.) i topoli (*Populus* spp.), które jak wykazali NII-ANNANG i współaut. (2009) pozytywnie wpływają na właściwości mikrobiologiczne gleby oraz wzrost zawartości węgla organicznego i azotu. Jednak wraz z tymi korzystnymi efektami, wprowadzenie szybko rosnących gatunków drzew generuje również konsekwencje negatywne. Badania wykazały, że szybko rosnące gatunki pobierają więcej składników odżywczych niż tradycyjne uprawy, co może prowadzić do wyjałowienia i zubożenia gleby (SZOTT i współaut. 1991). Ponadto, przygotowanie gleby, systemy nawożenia czy stosowanie maszyn mogą powodować postępującą utratę jakości gleby i niekorzystnie wpływać na środowisko glebowe (TRASAR-CEPEDA i współaut. 2008). Aspekt ten jest szczególnie ważny w kontekście tak szeroko obecnie omawianej bioróżnorodności gleb i ich ochrony przed utratą jakości. Dlatego ważne jest dobre poznanie biologii i warunków uprawy *Paulownia* i innych drzew szybko rosnących, aby zapobiec ich niekorzystnemu oddziaływaniu na środowisko naturalne.

Streszczenie

Plantacje lasów o krótkiej rotacji są obiecującym narzędziem zmniejszenia stężenia dwutlenku węgla w atmosferze zaś otrzymywana z nich biomasa jest surowcem wykorzystywanym na cele energetyczne. *Paulownia* to jedno z najbardziej rozpowszechnionych rodzajów drzew występujących na plantacjach lasów o krótkiej rotacji. Jest to szybko rosnące drzewo liściaste rodzime dla Chin i Azji Wschodniej. Gatunki drzew z rodzaju *Paulownia* są dobrze przystosowane do szerokich zmian czynników glebowych i klimatycznych, rosną nawet na glebach uznanych za marginalne. Wszystkie gatunki wykorzystywane są do produkcji drewna

przemysłowego, papieru, etanolu i biopaliw. Są szeroko stosowane jako drzewa parkowe i uprawy rolno-leśne. Liście paulowni charakteryzujące się wysoką zawartością białek, tłuszczów i cukrów, często wykorzystywane są jako pasza dla zwierząt i zielony nawóz. Dużym zainteresowaniem cieszy się krzyżówka *Paulownia Clon In Vitro 112*, którego nazwa handlowa to „Oxytree”, „BIO TREE”, „DRZEWO TLENOWE”. Przedstawione informacje świadczą o tym, iż paulownia jest niezwykle interesującym obiektem badań uwzględniających podejście interdyscyplinarne, obejmujące takie dziedziny nauki jak: rolnictwo, biologia, biochemia, fizyka i chemia. Niniejsza publikacja zawiera przegląd najważniejszych zagadnień dotyczących drzew z rodzaju *Paulownia*: występowanie, opis botaniczny, wymagania uprawowe i ich ogólne zastosowanie.

LITERATURA

- ARONSSON P., PERTTU K., 2001. *Willow vegetation filters for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production*. Forest. Chron. 77, 293-299.
- AYAN S., SADLAM I., SIVACIÖDLU A., 2003. *Paulownia Sieb. & Zucc: a new exotic genus for multi-purpose uses in Kastamonu-Turkey*. Decision Support for Multiple Purpose Forestry 4, 23-25.
- BAYLISS K. L., SAQIB M., DELL B., JONES M. G. K., HARDY G. E. ST J., 2005. *First record of 'Candidatus Phytoplasma australiense' in Paulownia trees*. Austral. Plant Pathol. 34, 123-124.
- CABI (Cookies on Invasive Species Compendium). *Paulownia tomentosa* – <https://www.cabi.org/isc/datasheet/39100#ED0951B9-B2AB-48DE-849E-86ADB0021087>.
- CALFAPIETRA C., GIELEN B., KARNOSKY D., CEULEMANS R., SCARASCIA-MUGNOZZA G., 2010. *Response and potential of agroforestry crops under global change*. Environ. Pollut. 158, 1095-1104.
- CEULEMANS R., DERAEDT W., 1999. *Production physiology and growth potential of poplar under short-rotation forestry culture*. Forest Ecol. Manage. 121, 9-24.
- DAISIE (Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe), 2018. <http://www.europe-aliens.org/speciesFactsheet.do?speciesId=18222>.
- DING J., REARDON R., WU Y., ZHENG H., FU W., 2006. *Biological control of invasive plants through collaboration between China and the United States of America: a perspective*. Biol. Invasions 8, 1439-1450.
- EL-SHOWK S., EL-SHOWK N., 2003. *The Paulownia tree an alternative for sustainable forestry*. The Farm, <http://cropdevelopment.org/docs/PaulowniaBooklet.pdf>.
- ESSL F., 2007. *From ornamental to detrimental? The incipient invasion of Central Europe by Paulownia tomentosa*. Preslia 79, 377-389.
- FAN G., NIU S., ZHAO Z., DENG M., X, E., WANG Y., YANG L., 2016. *Identification of microRNAs and their targets in Paulownia fortunei plants free from phytoplasma pathogen after methyl methane sulfonate treatment*. Biochimie 127, 271-280.
- GISD (Global Invasive Species Database), 2018. <http://www.iucngisd.org/gisd/search.php>.
- ICKA P., DAMO R., ICKA E., 2016. *Paulownia tomentosa, a Fast Growing Timber*. The Annals of "Valahia" University of Targoviste-Agriculture, doi: 10.1515/agr-2016-0003.
- JABŁOŃSKI D., 2016. *Oxytree: Drewno do przerobu w tartaku w 6 lat od posadzenia drzewa*. <http://www.drewno.pl/artykuly/10535,oxytree-drewno-do-przerobu-w-tartaku-w-6-lat-od-posadzenia-drzewa.html>.
- JODŁOWSKA K., 2016. *Grozi nam nowy barszcz Sosnowskiego? Za pomocą in vitro powstało Oxytree. Na pierwszy rzut oka – drzewo idealne...*. <http://ladnydom.pl/Ogrody/7,116527,20662986,szansa-dla-ludzkosci-czy-kolejna-pulapka-dla-naiwnych-paulownia.html>.
- KHALIL H. P. S. A., HOSSAIN S., ROSAMAH E., AZLI N. A., SADDON N., DAVOUDPOURA Y., ISLAM N., DUNGANI R., 2015. *The role of soil properties and its interaction towards quality plant fiber: A review*. Renew. Sustain. Energy Rev. 43, 1006-1015.
- LANGDON K. R., JOHNSON K. D., 1994. *Additional notes on invasiveness of Paulownia tomentosa in natural areas*. Nat. Areas J. 14, 139-140.
- LAUREYSENS I., BOGAERT J., BLUST R., CEULEMANS R., 2004. *Biomass production of 17 poplar clones in a short-rotation coppice culture on a waste disposal site and its relation to soil characteristics*. Forest Ecol. Manage. 187, 295-309.
- LAUREYSENS I., DE TEMMERMAN L., HASTIR, T., VAN GYSEL M., CEULEMANS R., 2005. *Clonal variation in heavy metal accumulation and biomass production in a poplar coppice culture. II. Vertical distribution and phytoextraction potential*. Environ. Pollut. 133, 541-551.
- LIU R., DONG Y., FAN G., ZHAO Z., DENG M. i współaut., 2013. *Discovery of Genes Related to Witches Broom Disease in Paulownia tomentosa x Paulownia fortunei by a De Novo Assembled Transcriptome*. PLoS One 8, e80238.
- LUCAS-BORJA M. E., WIC-BAENAB C., MORENO J. L., DADIA T., GARCIA C., ANDRES-ABELLANA M., 2011. *Microbial activity in soils under fast-growing Paulownia (Paulownia elongata x fortunei) plantations in Mediterranean areas*. Appl. Soil Ecol. 51, 42-51.
- LYONS A., 1993. *Paulownia*. [W:] *Agroforestry - Trees for Productive Farming*. RACE D. (red.) Agmedia, East Melbourne, Victoria, 149-154.
- MADEJÓN P., XIONG J., CABRERA F., MADEJÓN E., 2014. *Quality of trace element contaminated soils amended with compost under fast growing tree Paulownia fortunei plantation*. J. Environ. Manage. 144, 176-185.
- MILLER B., OSCHINSKY C., ZIMMER W., 2001. *First isolation of an isoprene synthase gene from poplar and successful expression of the gene in Escherichia coli*. Planta 213, 483-487.
- NIU-ANNANG S. A., GRUNEWALD H., FREESE D., HUTTL R. F., DILLY O., 2009. *Microbial activity and soil quality in alley cropping systems after 9 years of recultivation of quaternary deposits in eastern Germany*. Biol. Fertil. Soils 45, 531-538.
- PERGL J., SÁDLO J., PETRUSEK A., LAŠTŮVKA Z., MUSIL J., PERGLOVÁ I., ŠANDA R., ŠEFROVÁ H., ŠÍMA J., VOHRALIK V., PYSEK P., 2016. *Black, Grey and Watch Lists of alien species in the Czech Republic based on environmental impacts and management strategy*. NeoBiota 28, 1-37.
- POPOVA T. P., BAYKOV B. D., 2013. *Antimicrobial activity of aqueous extracts of leaves and silage from Paulownia elongata*. Am. J. Biol. Chem. Pharmaceut. Sci. 1, 8-15.
- POPOVIĆ J., SUZANA M., MILORAD V., DRAGICA V., 2015. *Impact of soil to dimensions of mechanical fibres of a juvenile wood of Paulownia*

- elongata* S.Y.HU. [W:] *Proceedings: International conference Reforestation Challenges*. IVETID V., STANKOVID D. (red.). Belgrade, Serbia, Reforesta, 175-184.
- RAHMAN A., RAHMAN F., RAHMATULLAH M., 2013. *In vitro* regeneration of *Paulownia tomentosa* Steud. plants through the induction of adventitious shoots in explants derived from selected mature trees, by studying the effect of different plant growth regulators. *Am.-Euras. J. Sustain. Agricult.* 7, 259-268.
- RAMANATHAN V., FENG Y., 2008. *On avoiding dangerous anthropogenic interference with the climate system: formidable challenges*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 14245-14250.
- REMALEY T., 1998. *Plant conservation alliance fact sheet: princess tree*. <http://www.nps.gov/plants/alien/fact/pato1.htm>.
- RZEPINSKI W., PILAREK B., 2016. *Alternatywą drzewo tlenowe*. *Agroporady* 10, 40.
- SMEJKAL K., HOLUBOVA P., ZIMA A., MUSELIK J., DVORSKA M., 2007. *Antiradical activity of Paulownia tomentosa (Scrophulariaceae) extracts*. *Molecules* 12, 1210-1219.
- SOLOMON S., PLATTNER G.K., KNUTTIC R., FRIEDLINGSTEIN P., 2009. *Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106, 1704-1709.
- SZOTT L. T., PALM C. A., SANCHE P. A., 1991. *Agroforestry on acid soils of the humid tropics*. *Adv. Agronomy* 45, 275-300.
- TRASAR-CEPEDA C., LEIRO M.C., GIL-SOTRES F., 2008. *Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality*. *Soil Biol. Biochem.* 40, 2146-2155.
- TU J., WANG B., MCGROUTHER K., WANG H., MA T., QIAO J., WU L., 2017. *Soil quality assessment under different Paulownia fortunei plantations in mid-subtropical China*. *J. Soils Sediments* 17, 2371-2382.
- TZVETKOVA N., MILADINOVA K., IVANOVA K., GEORGIEVA T., GENEVA M., MARKOVSKA Y., 2013. *Possibility for using of two Paulownia lines as a tool for remediation of heavy metal contaminated soil*. *J. Environ. Biol.* 36, 145-151.
- WEIH M., 2004. *Intensive short rotation forestry in boreal climates: present and future perspectives*. *Canad. J. Forest Res.* 34, 1369-1378.
- WOODS V. B., 2008. *Paulownia as a novel biomass crop for Northern Ireland? A review of current knowledge*. *Occasional Publ.* 7. Agri-Food and Biosciences Institute, Hillsborough.
- WOŹNIAK M., GAŁAZKA A., GRZADZIEL J., FRĄC M., 2018. *Microbial diversity of Paulownia spp. leaves – A new source of green manure*. *BioResearch* 13, 4807-4819.
- YADAV N. K., VAIDYA B. N., HENDERSON K., LEE J., STEWART W. M., DHEKNEY S. A., JOSHEE N., 2013. *A Review of Paulownia biotechnology: A short rotation, fast growing multipurpose bioenergy tree*. *Am. J. Plant Sci.* 4, 2070-2082.
- ZHU Z. H., CHAO C. J., LU X. Y., XIONG Y. G., 1986. *Paulownia in China: cultivation and utilization*. *International Development Research Centre, Ottawa, Canada*.

KOSMOS Vol. 67, 4, 781-789, 2018

MALGORZATA WOŹNIAK¹, ANNA GAŁAZKA¹, MAGDALENA FRĄC²

¹Department of Agricultural Microbiology, Institute of Soil Science and Plant Cultivation - State Research Institute, 8 Czarotoryskich Str., 24-100 Puławy, ²Institute of Agrophysics PAS, 4 Doświadczalna Str., 20-290 Lublin, E-mail: mlyszcz@iung.pulawy.pl, agalazka@iung.pulawy.pl, m.frac@ipan.lublin.pl

PAULOWNIA – FAST-GROWING, MULTI-FUNCTIONAL BIOENERGY TREES

Summary

Short-rotation tree plantations are considered as a promising tool for decreasing the concentration of carbon dioxide in the atmosphere. On the other hand, biomass thus provided is used as the raw material for energy purposes. *Paulownia*, native for China and east Asia, are some of the most widespread types of trees occurring in short rotation plantations. The trees from this genus are extremely adaptive to a wide range of climate and soil factors, they grow even on soils recognized as marginal. All the species of *Paulownia* trees are used for the production of industrial wood, paper, ethanol and biofuels. They are widely used as park trees and agro-forestry plantations. *Paulownia* leaves are characterized by a high content of proteins, fats and sugars. They are also often used as green fertilizer and animal feed. The hybrid *Paulownia Clon in Vitro 112*, the commercial name of which is „Oxytree”, „BIO TREE” and „DRZEWO TLENOWE”, has gained a large interest. The presented information shows that *Paulownia* spp. variety is an extremely interesting object of interdisciplinary studies involving biology, biochemistry, physics and chemistry. This paper provides an overview of the most important issues of *Paulownia* tree: occurrence, botanical description, cultivation requirements, and its general application.

Keywords: agro-forestry plantations, oxygen trees, *Paulownia*, short rotation forestry