

УДК 662.6; 630*181.351

РОСТОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ЕНЕРГОПРОДУКТИВНІСТЬ ТОПОЛЬ І ВЕРБ У КОРОТКОРОТАЦІЙНІЙ ПЛАНТАЦІЇ ЗА ПЕРШИЙ РІК ВЕГЕТАЦІЇ

Н. К. КУЦОКОНЬ¹, Д. Б. РАХМЕТОВ², Л. В. ХУДОЛЄЄВА³, С. О.
РАХМЕТОВА², В. В. ФІЩЕНКО², О. Г. НЕСТЕРЕНКО¹, Н. М. РАШИДОВ¹

¹Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України
Україна, 03142 м. Київ, вул. Заболотного, 148

²Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України
Україна, 01014 м. Київ, вул. Тімірязєвська, 1

³Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, 03056, м. Київ,
пр-т Перемоги, 37
e-mail: kutsokon@gmail.com

В умовах поливного розсадника досліджено ростові та енергетичні характеристики і продуктивність тополь та верб при вирощуванні їх в короткоротаційній плантації за перший рік вегетації. Показано, що клони значно відрізняються як за ростовими (діаметр пагонів (мм), їх висота (см), кількість пагонів на рослину, фітомаса (г), так і енергетичними показниками (теплота згорання (кДж/г), зольність (%), вміст сухої речовини (%)). Зразок верби Житомирська-1 показав найбільш інтенсивний ріст з усіх проаналізованих клонів швидкорослих дерев. Зразки тополі Волосистоплідна, гібрид Канадська × бальзамічна, Келібердинська, Новоберлінська-7 та Івантійвська показали значний приріст щонайменше за двома показниками. За теплотворною здатністю зразки щепи різних клонів тополь та верб переважають стандарти ЄС для пелет (ENplus), проте чимало клонів показали зольність, котра не відповідає стандартам ЄС, що може бути пов'язано з наявністю в деяких зразках значної кількості листків та нездерев'янілих пагонів, які сприяють підвищенню зольності, оскільки для аналізу використовували молоді однорічні рослини. Найвищою продуктивністю характеризуються клони тополі Келібердинська та верби Житомирська-1. Оскільки дослідження виконане на рослинах першого року вегетації, отримані показники енергетичної цінності та продуктивності фітосировини є заниженими, їх слід вважати попередніми оцінками. При використанні живців як садивного матеріалу для закладення плантації важливим критичним фактором першого року є зволоження ґрунту, яке має вирішальний вплив на приживаність дерев.

Ключові слова: короткоротаційні плантації, швидкорослі дерева, *Populus*, *Salix*, біомаса, енергія спалювання, продуктивність

Вступ. Тополі (*Populus*) та верби (*Salix*) – швидкорослі деревні рослини родини *Salicaceae*, що традиційно вирощують на території України впродовж століть. Вони є цінними енергетичними культурами, а створення короткоротаційних плантацій цих дерев – важливий крок до розвитку відновлюваної енергетики. Це сприятиме збереженню капіталу всередині країни та створенню нових робочих місць, особливо в сільських регіонах, і таким чином призведе до покращення соціально-економічної ситуації в Україні та енергонезалежності держави.

Вирощування енергетичних плантацій є раціональним способом використання деградованих угідь, завдяки здатності тополь і верб до фітореMediaції (Hur et al., 2011; Peuke,

2005) та рекультивації ґрунтів, при цьому 60-80% поживних речовин повертаються в землю разом з опалим листям (Гелетуха та ін., 2014). Спалювання деревини цих швидкорослих рослин, порівняно з іншими видами традиційних палив несе менше навантаження на довкілля за рахунок збереження нульового балансу викидів вуглекислого газу, відносно невисокої кількості викидів шкідливих речовин у довкілля і низького рівня зольного залишку (Худолєєва та ін., 2016).

Селекційні роботи та промислове вирощування тополі та верби особливо активно впроваджувалися протягом ХХ століття (Stout, 1927; Царев, 2010). У 1947 р. ФАО була створена Міжнародна тополева комісія (Poplars in forestry, 1958). У колишньому СРСР дослідженням тополь приділяли значну увагу вчені та практики

(Богданов, 1936; Альбенский, 1946; Яблоков, 1956). В Україні наприкінці 50-х років командою вчених під керівництвом Н. В. Старової (Старова, 1980) роботи з міжвидової гібридизації тополь набули такого масового масштабу, що дістали назву «тополевого буму». Було організовано 12 селекційних пунктів, 17 сортовипробувальних дільниць, відібрано близько 600 перспективних клонів. Багато з них було висаджено в полезахисні насадження і лісові культури (Торосова та ін., 2015), зокрема у південних регіонах України для попередження піщаних буревіїв. Однак ці дослідження передбачали довгоротаційний період вирощування рослин (до 20 років) та використання деревини в лісозаготівельній та паперово-целюлозній промисловостях. Сортівипробуванню тополь та верб на придатність вирощування у плантаціях з коротким ротаційним періодом (3-5 років) для використання сировини як біопалива увага раніше не приділялася і сьогодні ця технологія в Україні розвинена дуже слабо, хоча у світі є широко розповсюдженою. Для ефективного ведення короткоротаційного лісовирощування важливим є правильний підбір високопродуктивних клонів, що характеризуватимуться потужним ростом та матимуть необхідні енергетичні характеристики.

Метою даного дослідження була оцінка ростових параметрів і енергетичної цінності та продуктивності тополь і верб різних клонів за вирощування їх в короткоротаційній плантації.

Матеріали та методи. Випробну дослідну ділянку швидкорослих біоенергетичних дерев, яка включає 19 клонів тополь та 10 клонів верб, було закладено в 2015 році в Національному Ботанічному саду НАН України ім. М.М. Гришка (м. Київ). Передпосадкове удобрення, закладення плантації, полив та агротехнічні роботи на ділянці проводили за загальноприйнятою практикою. Більшість живців було отримано з Українського науково-дослідного Інституту лісового господарства та агролісомеліорації (УкрНДЛГА), які є переважно клонами української селекції. На ділянці висаджували до 30 живців довжиною 20-25 см за схемою 0,5 м × 1,0 м. Полив ділянки протягом весняно-літнього періоду виконували за необхідності, переважно щотижня, оскільки літній сезон був дуже посушливим.

Річний облік проводили в листопаді, після завершення вегетаційного періоду. Вимірювали діаметр пагонів (мм), їх висоту (см) та кількість пагонів на рослину. У кожного клону відбирали до 10 рослин для визначення їх фітомаси (г) та

енергетичних показників деревини: теплоти згорання (кДж/г), зольності (%), вмісту сухої речовини (%). Теплоту згорання та зольність визначали за допомогою калориметра С200 (КА, Німеччина). Вміст абсолютно сухої речовини визначали шляхом висушування зразків за температури 105°C до постійної маси. Розрахунок продуктивності короткоротаційних плантацій (на 1 Га) проводили виходячи із середньої продуктивності біомаси рослин, густоти їх насадження (0,5 м × 1,0 м), кількості рослин на 1 Га (20000).

Результати вимірювань заносили до електронних таблиць і опрацьовували з використанням пакету аналізу MS Excel. Статистичну обробку проводили за загально визначеними методиками (Лакин, 1980, Урбах, 1964). Клони з найвищими і найнижчими ростовими показниками визначали відносно середніх значень, достовірність відхилень оцінювали за t-критерієм Стьюдента при $p < 0,05$.

Результати та їх обговорення. Ростові параметри швидкорослих дерев на дослідній ділянці. На ділянці в ботанічному саду НАН України тополі та верби показали практично 100% приживаність та, в більшості, – інтенсивну ростову активність. Незважаючи на відносно загущену висадку живців, в сприятливих умовах поливу рослини забезпечили значний приріст, хоча весняно-літній сезон загалом виявився вкрай несприятливим внаслідок малої кількості опадів на фоні значно підвищеної температури повітря. За даними (Інформаційний щорічник ..., 2016) в 2015 р. у Києві річна кількість опадів складала 452 мм (70% норми), а середня річна температура становила +10,5°C при середній багаторічній нормі у 1981-2010 рр. – +8,4°C). Крім того, влітку на фоні майже сухої погоди по всій території країни зросла кількість жарких днів з температурою понад +30°C.

В кінці вегетаційного періоду висота рослин різних клонів значно варіювала і становила від 74 до 219 см у тополь та від 131 до 238 см у верб. Діаметр пагонів тополь сягав 8 – 19 мм, верб – 4 – 17 мм (рис. 1, 2; табл. 1).

Найбільш активний ріст рослин за висотою спостерігали у клонів тополь: Канадська × Бальзамічна, Новоберлінська-7, Івантіївська, Волосистоплідна, за діаметром пагонів – Келібердинська, Волосистоплідна, Ноктюрн, Канадська × Бальзамічна (табл. 1).

Серед зразків верб найбільшу висоту пагонів виявлено у клонів Лісова пісня та Житомирська-1, діаметру – у клонів Вінницька, Печальна, Житомирська-1.

За кількістю основних пагонів на рослину



Рис. 1. Рослини верб різних клонів: 1- Олімпійський вогонь, 2 – Мавка, 3 – Лукаш, 4 – Лісова пісня, 5 – Прибережна, 6 – Печальна, 7 – Верб на біомасу, 8 – Вінницька, 9 – Житомирська-1, 10 – Житомирська-2.

Fig. 1. Plants of different willow clones: 1 – Olimpiysky vagon, 2 – Mavka, 3 – Lukash, 4 – Lisova pisnya, 5 – Pryberezna, 6 – Pechalna, 7 – Verba na biomasu, 8 – Vinnytska, 9 – Zhytomyrska-1, 10 – Zhytomyrska-2.



Рис. 2. Рослини тополь різних клонів: 1 – Келібердинська, 2 – Роганська, 3 – Дельтоподібна, 4 – Тронко, 5 – Робуста-16, 6 – Лубенська, 7 – Болле, 8 – Івантійвська, 9 – Львівська, 10 – Мобільна, 11 – Стрілоподібна, 12 – Канадська х бальзамічна, 13 – Китаяська х пірамідална, 14 – Слава України, 15 – Волосистоплідна, 16 – Перспективна, 17, 20 – Градизька, 18 – Ноктюрн, 19 – Гулівер, 21 – Новоберлінська-3, 22 – Новоберлінська-7.



Fig. 2. Plants of different poplar clones: 1 – Keliberdyska, 2 – Roganska, 3 – Deltopodibna, 4 – Tronko, 5 – Robusta-16, 6 – Lubenska, 7 – Bolle, 8 – Ivantiivska, 9 – Lvivska, 10 – Mobilna, 11 – Strilopodibna, 12 – Canadensis x balsamic, 13 – Chinese x pyramidalis, 14 – Slava Ukrainy, 15 – Volosystoplidna, 16 – Perspektivna, 17, 20 – Gradizka, 18 – Nokturn, 19 – Gulliver, 21 – Novoberlinska-3, 22 – Novoberlinska -7.

найкращі результати показали верби, зокрема, клони Олімпійський вогонь, Житомирська-1, Житомирська-2, Лукаш та Печальна, у яких середня кількість пагонів на рослину була в межах від 2,0 до 2,3). Інтенсивне пагоноутворення спостерігали і у зразка тополі Келібердинська (2,2±0,1).

Як свідчать наведені дані, зразок верби Житомирська-1 характеризується потужним ростом із великою кількістю пагонів, що значно підвищує біопродуктивність цього клону, який є результатом селекційного відбору НБС імені М.М. Гришка НАН України.

У більшості клонів тополь середня кількість пагонів на рослину була незначною, меншою ніж 1,5 (див. табл. 1). У деяких клонів тополь (Дельтоподібна і Тронко) кількість пагонів на рослину була вище середнього, що є важливою ознакою для плантаційного вирощування, завдяки чому збільшується загальна маса фітосировини. Цей показник суттєвий для визначення продуктивності швидкорослих дерев, поряд з високорослістю та діаметром пагонів. чи інтенсивним ростом пагона у товщину. Загалом, для більшості клонів верб (див. табл.1) характерне інтенсивне пагоноутворення.

Таблиця 1.
Ростові показники клонів тополь і верб першого року вегетації за вирощування їх в короткоротаційній плантації

Table 1.
Growth parameters of poplars and willows on the first vegetation year under planting them in short rotation

Клон/гібрид	Висота пагонів, см, H±SE	Діаметр пагонів, мм, D±SE	Кількість основних пагонів, N±SE
Верби (Salix)			
Олімпійський вогонь	131,0 ± 7,0***	5,5 ± 0,4***	2,3 ± 0,3
Лукаш	139,5 ± 5,3***	4,1 ± 0,2***	2,0 ± 0,3
Прибережна	157,5 ± 6,0*	7,8 ± 0,6	1,6 ± 0,2
Мавка	162,0 ± 5,5*	5,1 ± 0,5***	1,3 ± 0,2
Верба на біомасу	172,0 ± 4,4	7,6 ± 0,5*	1,9 ± 0,2
Печальна	177,5 ± 9,0	14,5 ± 0,9***	2,0 ± 0,1
Вінницька	180,5 ± 9,1	11,2 ± 0,9*	1,2 ± 0,2
Житомирська 2	189,4 ± 9,1	9,6 ± 1,1	2,2 ± 0,1
Лісова пісня	199,0 ± 6,4**	6,9 ± 0,5**	1,4 ± 0,2
Житомирська 1	238,0 ± 7,0***	17,2 ± 0,5***	2,2 ± 0,1
Середнє	174,5 ± 3,6	8,9 ± 0,5	1,8 ± 0,1
Тополі (Populus)			
Болле	74,4 ± 12,7***	7,6 ± 0,8***	1,1 ± 0,1
Градиська	114,2 ± 16,1*	8,8 ± 1,7	1,0 ± 0,0
Дельтоподібна	128,4 ± 21,7	13,0 ± 1,3	1,8 ± 0,3
Китайська х пірамідальна	139,0 ± 8,0**	11,5 ± 1,2	1,2 ± 0,1
Робуста-16	154,4 ± 6,7*	11,8 ± 0,8	1,5 ± 0,3
Тронко	154,8 ± 7,3*	12,8 ± 1,1	1,7 ± 0,2
Мобільна	165,5 ± 6,5	13,2 ± 0,6	1,1 ± 0,1
Лубенська	165,8 ± 11,1	11,7 ± 0,8	1,5 ± 0,2
Стрілоподібна	166,5 ± 7,3	13,9 ± 0,8	1,3 ± 0,2
Гулівер	183,5 ± 10,9	10,2 ± 1,4	1,1 ± 0,1
Слава України	185,5 ± 11,0	12,4 ± 1,5	1,4 ± 0,2
Перспективна	188,0 ± 9,3	15,2 ± 2,1	1,1 ± 0,1
Келібердинська	188,4 ± 9,0	15,3 ± 0,5**	2,2 ± 0,1
Ноктюрн	192,0 ± 11,7	17,0 ± 0,8***	1,2 ± 0,1
Новоберлінська-3	193,0 ± 10,3	11,2 ± 1,2	1,0 ± 0,0
Канадська х бальзамічна	205,7 ± 3,5***	18,9 ± 1,0***	1,3 ± 0,2
Новоберлінська-7	214,0 ± 12,9*	12,7 ± 1,5	1,2 ± 0,1
Івантійська	214,3 ± 8,4***	14,1 ± 0,9	1,6 ± 0,2
Волосистоплідна	218,8 ± 14,8*	15,1 ± 0,9*	1,1 ± 0,1
Середнє	173,7 ± 3,4	13,0 ± 0,3	1,3 ± 0,04

Примітки: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$. Відхилення статистично значимі в t-тесті порівняно із середнім рівнем.

Note: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$. Differences are statistically significant in t-test comparing to average levels.

Проте, незважаючи на це, зразки тополі також характеризуються високими регенераційними властивостями і здатні формувати відростки після зрізання надземної біомаси.

Найбільший річний приріст біомаси, від 100 до 155 г за середнім пагоном, спостерігали у

варіантів тополь Стрілоподібна, Новоберлінська-3, Канадська × бальзамічна, Тронко, Келібердинська та у верби Житомирська-1. Клони тополі Болле, Градиська та верби На біомасу і Лукаш показали низький приріст біомаси, від 20 до 40 г на середній пагін.

Таким чином, за ростовими показниками зразок верби Житомирська-1 показав найбільш інтенсивний ріст з усіх проаналізованих клонів швидкорослих дерев. У варіантів тополі Волосистоплідна, Канадська × бальзамічна, Келібердинська, Новоберлінська-7 та Івантійська виявлено значний приріст за щонайменше двома показниками. До перспективних можна віднести клони тополь Новоберлінська-3, Ноктюрн, Перспективна, Слава України, Гулівер, Стрілоподібна та верб Житомирська-2, Вінницька і Печальна. Тополі Болле і Градізька та верби Олімпійський вогонь, Лукаш і Мавка показали слабкий ріст (див. табл. 1, рис. 1, 2).

Біоенергетичний потенціал різних клонів тополь та верб за перший рік вегетації. Результати калориметричних вимірювань показали, що теплота згорання досліджених зразків деревини різних клонів тополь і верб становила 17,9–18,4 МДж/кг на абсолютну суху масу. Вміст сухої речовини в біомасі становить 42–67 %, залишок золи – 0,9–4,7 % (табл. 2).

Найвищу теплоту згорання серед клонів верб показали зразки Мавка, На біомасу та Житомирська-2, серед тополь – Ноктюрн, Волосистоплідна, Перспективна та Івантійська, а найнижчу – верба Лукаш і тополя Новоберлінська-7. Вміст сухої речовини був найвищим у тополі Івантійська та верби Житомирська 2. В цілому, зразки рослин верб відзначалися вищим вмістом сухої речовини порівняно з тополями. Це пояснюється тим, що до моменту аналізу молоді пагони тополь були менш здерев'янілими та більш соковитими.

Невисоку зольність (біля 2 %) виявлено у зразків верб Житомирська-2, Печальна, Житомирська-1 та тополь Болле, Новоберлінська-3 і Мобільна. У зразках фітосировини тополь Тронко, Слава України, Лубенська та верб Прибережна і Олімпійський вогонь виявлено високу зольність понад 4%.

Енергетичні показники зразків деревної біомаси порівнювали із стандартами ENplus для пелет, за якими їх теплотворна здатність має бути не нижче 4,6 кВт×год/кг, а зольний залишок – від 0,7 до 2% залежно від категорії пелет (ENplus Handbook, 2015). Як свідчать отримані дані (табл. 2), еквівалент теплоти згорання, розрахований в кВт×год/кг для всіх клонів, знаходився в межах 4,99 – 5,39, що перевищує мінімум теплотворної здатності для пелет (4,6 кВт×год/кг). Тобто за вмістом енергії всі зразки повністю задовольняють вимоги європейських стандартів ENplus. Водночас, чимало клонів тополі та верби не відповідали стандартам для пелет в ЄС за вмістом золи

(ENplus Handbook, 2015). Це може бути пов'язано з наявністю в деяких зразках значної кількості листків та нездерев'янілих пагонів, які забезпечують вищу зольність фітосировини, оскільки для аналізу використовували молоді однорічні рослини.

Продуктивність короткоротаційних плантацій. Результати досліджень свідчать про те, що найвищою продуктивністю характеризуються клони тополі Келібердинська та верби Житомирська-1, які забезпечують від 6,5 т/Га біомаси за перший рік вегетації. Проте, для більш повних оцінок ростових параметрів рослин енергетична цінність сировини та загальна продуктивність клонів швидкорослих дерев на дослідних ділянках продовжуватиметься щонайменше протягом наступних двох років.

Представлені результати досліджень показали, що клони верб і тополь значно відрізняються у прояві ростових характеристик. При використанні живців як садивного матеріалу для закладення плантації, важливим критичним фактором для першого року вегетації є вологість ґрунту, яка має вирішальний вплив на приживаність дерев. Зокрема, зважаючи на дуже складні посушливі погодні умови протягом вегетаційного сезону у 2015 році, приживаність аналогічних живців в польових умовах (неопубліковані дані наших досліджень) була вкрай низькою – від 0 до 70%, в середньому менше 40% – в той час як в умовах поливу приживаність була близькою до 100%. В умовах достатнього зволоження (на поливі) рослини також значно випереджали польові як за ростовими параметрами, так і за накопиченням біомаси. Таким чином, полив живців тополі та верби протягом періоду вкорінення значно сприяє їх приживаності, росту і розвитку рослин.

Представлені в даному дослідженні швидкорослі дерева являють собою переважно клони, отримані вітчизняними селекціонерами в середині минулого століття (Старова, 1974, 1975, Патлай, Руденко, 1990, Лось, 2013). В той час селекційна робота не передбачала використання рослин в умовах короткоротаційної плантації. Адже відомо, що деякі види і клони тополь характеризуються повільним, проте сталим ростом протягом всього періоду вирощування, що є позитивною ознакою для довгоротаційних плантацій. Інші, навпаки, здатні інтенсивно накопичувати біомасу протягом перших років вегетації, а надалі темпи росту знижуються (Bartko, 2011). Саме такий тип росту буде більш ефективним для вирощування короткоротаційних плантацій.

Таблиця 2.

Продуктивність та енергетичні показники фітосировини різних клонів тополь та верб за перший рік вегетації. Урожайність розрахована за зеленою масою 20 000 (0,5 x 1,0 м) рослин, т/Га.

Table 2.

Productivity and energy parameters of biomass of different poplar and willow clones for the first year of vegetation. The yield was calculated by green biomass of 20 000 plants (0,5 x 1,0 m), t/Ha.

Зразок	Питома теплота згорання, кДж/г	Питома теплота згорання, кВт год/кг	Вміст сухої речовини, %	Залишок золи, %	Середня маса пагона, г	Продуктивність, т/Га
--------	--------------------------------	-------------------------------------	-------------------------	-----------------	------------------------	----------------------

Верби (Salix)

Олімпійський вогонь	18,5	5,14	58,8	4,1	161,0	3,22
Лукаш	17,9	4,99	60,4	3,5	70,0	1,40
Прибережна	18,2	5,06	53,0	4,3	80,0	1,60
Мавка	18,9	5,24	57,3	3,3	84,5	1,69
Верба на біомасу	19,1	5,32	60,8	3,3	76,0	1,52
Печальна	18,5	5,14	50,4	2,0	-	-
Вінницька	18,4	5,11	53,7	3,6	114,0	2,28
Житомирська 2	18,9	5,24	66,8	1,5	155,6	3,11
Лісова пісня	18,4	5,11	58,7	3,0	70,0	1,40
Житомирська 1	18,4	5,12	55,3	2,1	341,0	6,82

Тополі (Populus)

Болле	18,2	5,06	51,0	0,9	22,9	0,46
Градзька	18,5	5,13	49,9	2,8	25,0	0,50
Дельтоподібна	18,0	5,00	49,8	3,0	137,5	2,75
Китайська х пірамідальна	18,7	5,21	48,0	2,3	90,0	1,80
Робуста-16	18,3	5,10	49,5	3,6	120,0	2,40
Тронко	18,4	5,12	47,0	4,7	229,5	4,59
Мобільна	18,5	5,16	48,0	1,9	93,5	1,87
Лубенська	18,8	5,22	52,1	4,0	112,5	2,25
Стрілоподібна	18,8	5,22	50,0	2,3	133,3	2,67
Гулівер	18,4	5,12	43,8	2,4	71,5	1,43
Слава України	18,0	5,01	48,9	4,4	126,0	2,52
Перспективна	19,0	5,28	49,2	2,2	55,0	1,10
Келібердинська	18,2	5,06	46,5	3,9	322,2	6,44
Ноктюрн	19,4	5,39	46,6	3,5	84,0	1,68
Новоберлінська-3	18,7	5,20	46,1	1,2	125,0	2,50
Канадська х бальзамічна	18,0	5,00	50,4	2,7	167,1	3,34
Новоберлінська-7	17,9	4,99	42,0	2,4	108,0	2,16
Івантійвська	19,0	5,27	56,7	2,8	120,0	2,40
Волосистоплідна	19,2	5,34	49,5	2,4	61,9	1,24

Очевидно, що наявний спектр сортової різноманітності тополь та верб дозволить підібрати клони, котрі будуть більш продуктивними за певних умов. При цьому режим зволоження може мати вирішальне значення для особливо вибагливих до води клонів, головним чином, це може стосуватися верб.

Виявлені межі варіювання як теплоти згорання, так і зольності можуть бути пов'язані з тим, що аналізовані зразки – молоді пагони рослин, які сформувалися на живцях після їх укорінення протягом одного вегетаційного періоду. Така фітосировина, як правило, не є основною для виробництва пелет. Зазвичай, в зонах з помірним кліматом ротаційний цикл плантації становить 3 роки, а в умовах субтропічного клімату інколи достатньо одного року (Kutsokon et al., 2015). За час росту та розвитку протягом наступних років значно покращується продуктивність та якісні показники фітомаси як джерела для виробництва твердого палива. Тому представлені в даній роботі показники енергетичної цінності та продуктивності рослин можна вважати лише попередніми оцінками, і вони є заниженими.

В наступні роки вегетації продуктивність плантації значно збільшується. Адже протягом першого року відбувається вкорінення і розвиток живців, в цей час дерева слабо накопичують біомасу. Для забезпечення високих показників біопродуктивності та енергетичної цінності фітосировини окремих клонів швидкорослих дерев на короткоротаційних плантаціях дослідження будуть продовжуватися протягом ще двох вегетаційних періодів. Особливо важливе значення має виявлення рослин з інтенсивним ростом у молодому віці, оскільки при короткоротаційному вирощуванні передбачається цикл рубання кожні 3 роки з метою використання біомаси для виготовлення пелет і паливної щепи.

Висновки. Таким чином, результати досліджень свідчать про те, що клони верб та тополь значно відрізняються за ростовими ознаками (висота рослин, діаметр пагонів, кількість пагонів на рослину, середня маса пагонів) та енергопродуктивністю (питома теплота згорання, вміст сухої речовини у фітосировині, зольність). При використанні живців як садивного матеріалу для закладення плантації важливим критичним фактором першого року вегетації є вологість ґрунту, яка має вирішальний вплив на приживаність рослин.

Зразок верби Житомирська-1 показав найбільш інтенсивний ріст з усіх

проаналізованих клонів швидкорослих дерев. Зразки тополі Волосистоплідна, гібрид Канадська х бальзамічна, Келібердинська, Новоберлінська-7 та Івантійська показали значний приріст щонайменше за двома показниками. До перспективних можна віднести клони тополь Новоберлінська-3, Ноктюрн, Перспективна, Слава України, Гулівер, Стрілоподібна та верб Житомирська-2, Вінницька і Печальна. Серед досліджених клонів слабкий ріст показали зразки тополі Болле і Градізька та верби Олімпійський вогонь, Лукаш і Мавка.

За теплотворною здатністю зразки щепи різних клонів тополь та верб переважають стандарти ЄС для пелет (ENplus), проте чимало клонів показали зольність, котра не відповідає стандартам ЄС, що може бути пов'язано з наявністю в деяких зразках значної кількості листків та нездерев'янілих пагонів, які сприяють підвищенню зольності, оскільки для аналізу використовували молоді однорічні рослини.

Найвищою продуктивністю характеризуються клони тополі Келібердинська та верби Житомирська-1. Оскільки дослідження виконане на рослинах першого року вегетації, отримані показники енергетичної цінності та продуктивності фітосировини є заниженими, їх слід вважати лише попередніми оцінками.

Автори висловлюють подяку співробітникам Інституту лісового господарства та агролісомеліорації Лось С.А. та Ткачу В.П. за надання живців при закладенні дослідної ділянки. Дослідження проведено за підтримки науково-технічного проекту НАН України (2015) "Розробка та впровадження короткоротаційних плантацій тополь як екологічно корисного джерела біопалива для альтернативної енергетики України" та наукового проекту «Створення генофонду високопродуктивних клонів тополь та швидкорослих плантацій біопаливного матеріалу» цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Біологічні ресурси і новітні технології біоенергоконверсії»

Список літератури

1. Альбенский А. В. Культура тополей / А. В. Альбенский. – М. : Гос. кн. изд-во, 1946. – 45 с.
2. Богданов П. Л. Тополя и их культура. – Л. : Гослестехиздат, 1936. – 55 с.
3. Гелетуша Г.Г. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні [Аналітична записка БАУ №10] [Електронний ресурс] / Г.Г. Гелетуша, Т.А. Железна, О.В. Трибой // Біоенергетична асоціація України, 2014. – 33 с. – Режим доступу: www.uabio.org/activity/uabio-analytics

4. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП - Київ; Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство “Державний інформаційний геологічний фонд України”, 2016. – 32 іл. – 89 с.
5. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.
6. Лось С.А. Звіт про НДР за темою № 7 «Збереження генетичних ресурсів лісових порід і отримання генетично поліпшеного репродуктивного матеріалу для лісових насаджень та біоенергетичних плантацій». Український НДІ лісового господарства та агролісомеліорації, Харків, 2013.
7. Патлай И.Н., Руденко В.Н. Сортоведение быстрорастущих древесных пород на Украине // Лесоведение и агролесомелиорация. – 1990. – Вып. 81. – С. 3–7.
8. Старова Н. В. Селекция ивовых / Н. В. Старова. – М. : Лесн. пром-сть, 1980. – 208 с.
9. Старова Н.В. Звіт про НДР № 34 за темою «Провести изучение ранее полученных гибридов тополей и вывести новые, высокопродуктивные с хорошим качеством древесины культивары (сорты) тополей и ив для целей защитного лесоразведения в степной части УССР, Харків, 1975.
10. Старова Н.В. Методические указания по внедрению новых сортов тополей в лесное хозяйство. – Харьков, 1974. – 11 с.
11. Торосова Л. О. Дослідження представників роду *Populus* за морфологічними ознаками / Л. О. Торосова, Н. Ю. Висоцька, С. А. Лось, Т. В. Орловська, І. В. Золотих // Лісівництво та агролісомеліорація – 2015. – Вип 126. – С. 148–157.
12. Урбах Б.Ю. Биометрические методы. – М. : Наука, 1964. – 415 с.
13. Худолєєва Л.В., Куцоконь Н.К., Рашидов Н.М., Дуган О.М. Порівняння структури викидів забрудників довкілля при використанні різних видів палива (деревина, природний газ, вугілля). – *Studia Biologica*. – 2016. – Т.10, №3. – С.61 – 70.
14. Царев А. П. Мировой опыт плантационного лесовыращивания // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2010. – № 6. – С. 42–48.
15. Яблоков А. С. Пирамидальные тополи. – М.; Л. : Гослесбумиздат, 1956. – 58 с.
16. Bartko M. Analyza biologických, produkčných a ekonomických aspektov pestovania rychlorastúcich drevin na Slovensku / PhD thesis, Zvolen. 2011.– 200 p.
17. ENplus Handbook. – European Biomass Association. – Brussels, Belgium, Version 3.0, 2015.
18. Hur M., Kim Y., Song H., Kim J., Choi Y., Yi H. Effect of genetically modified poplars in soil microbial communities during the phytoremediation of waste mine tailings // *Applied and environmental microbiology*. – 2011. –77 (21). – P. 7611–7619. doi : 10.1128/AEM.06102-11
19. Kutsokon N.K., Jose S., Holzmueller E. A Global analysis of temperature effects on *Populus* plantation production potential // *American Journal of Plant Sciences*. – 2015. – 6(1). – P. 23–33. doi : 10.4236/ajps.2015.61004
20. Peuke A. Phytoremediation / A.Peuke, H.Renenberg // *EMBO Reports*, 2005. – V 6 (6). – P. 497–501.
21. Poplars in forestry and land use / FAO, United Nations // *Forestry and forest products studies*. – No 12. – Rome : FAO, 1958.– 511 p.
22. Stout A. B. Tree breeding of forest trees for pulp wood / A. B.Stout, R. Mc Kee, E. J. Schreiner // *Journal of the New York Botanical Garden*. – 1927. – Vol. 28, № 327. – P. 49–63.

References

1. Albenskiy A. V. Kultura topoley / A. V.Albenskiy. – М.: Gos. kn. izd-vo, 1946. – 45 p. (In Russian).
2. Bogdanov P. L. Topolya v kulture / P. L. Bogdanov. – L. : Goslestehizdat, 1936. – 55 p. (In Russian)
3. Geletuha G.G. Perspektyvi viroshchuvannya ta vykorystannya energetychnykh kultur v Ukrayini [Analitychna zapyska BAU №10] [Elektronny resurs] / G.G. Geletuha, T.A. Zhelezna, O.V. Triboy // *Bioenergetychna asotsiatsiya Ukrayini*, 2014. – 33 .p. – Rezhim dostupu: www.uabio.org/activity/uabio-analytics (In Ukrainian).
4. Informatsiyny shchorichnyk schodo aktivyzatsiyi nebezpechnykh ekzogennykh geologichnykh protsesiv za danimi monitoringu EGP - Kiev; Derzhavna sluzhba geologii ta nadr Ukrainy, Derzhavne naukovovyrobyne pidpriemstvo “Derzhavny informatsiyny geologichny fond Ukrainy”, 2016. – 32 Il. - 89 p. (In Ukrainian).
5. Lakin G. F. Biometriya: Uchebnoe posobie dlya biol. spets. vuzov — 4-e izd., pererab. i dop. — М.: Vissh. shk., 1990. — 352 p. (In Russian).
6. Los S.A. Zvit pro NDR za temoyu № 7 «Zberezhennya genetychnykh resursiv lisovykh porid i otrymannya genetychno polipshenogo reproduktyvnogo materialu dlya lisovykh nasadzen ta bioenergetychnykh plantatsiy». Ukrayinsky NDI lisovogo gospodarstva ta agrolisomeliorsiyi, Kharkiv, 2013. (In Ukrainian).
7. Patlay I.N., Rudenko V.N. Sortovedenie bystrorastushchikh drevesnykh porod na Ukraine // *Lesovedenie i agrolisomeliorsiya*. – 1990. – Vol. 81. P. 3–7. (In Russian).
8. Starova N. V. Seleksiya ivovykh / N. V. Starova. – М. : Лесн. пром-ст, 1980. – 208 p. (In Russian).
9. Starova N.V. Zvit pro NDR №34 za temoyu «Provesti izuchenie ranee poluchennykh gibridov topoley i vyvesti novyye, vysokoproduktivnyie s horoshim kachestvom drevesiny kultivary (sorta) topoley i iv dlya tseley zashchitnogo lesorazvedeniya v stepnoy chasti USSR, Kharkiv, 1975. (In Russian).
10. Starova N.V. Metodicheskie ukazaniya po vnedreniyu novykh sortov topoley v lesnoe hozyaystvo. – Kharkov, 1974. – 11 p. (In Russian).
11. Torosova L. O. Doslidzhennya predstavnykiv rodu *Populus* za morfologichnyimi oznakami / L. O. Torosova, N. Yu. Vysotska, S. A. Los, T. V. Orlovska, I. V. Zolotykh // *Lisivnytstvo ta agrolisomeliorsiya* - 2015 – Vol. 126 – P. 148–157 (In Ukrainian).

12. Urbakh B.Yu. Biometricheskie metody. – M.: Nauka, 1964. – 415 p. (In Russian).
13. Khudolieieva L., Kutsokon N., Rashydov N., Dugan O. Quantitive and qualitative evaluations of environmentally dangerous wastes emission from burning wood comparing to natural gas and coal // *Studia Biologica*. – 2016. – P. 61 – 70. (In Ukrainian).
14. Tsarev A. P. Mirovoy opyt plantatsionnogo lesovyraschivaniya / A. P. Tsarev // *Uchenyie zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyie i tekhnicheskie nauki*. – 2010. – №6. – P. 42. (In Russian)
15. Yablokov A. S. Piramidalnyie topolia / Yablokov A. S.– M.; L. : Goslesbumizdat, 1956. – 58 p. (In Russian).
16. Bartko M. Analyza biologických, produkčných a ekonomických aspektov pestovania rychlorastúcich drevin na Slovensku / PhD thesis, Zvolen. 2011.– 200 p. (in Slovak)
17. ENplus Handbook. – European Biomass Association. – Brussels, Belgium, Version 3.0, 2015.
18. Hur M., Kim Y., Song H., Kim J., Choi Y., Yi H. Effect of genetically modified poplars in soil microbial communities during the phytoremediation of waste mine tailings // *Applied and environmental microbiology*. – 2011. –77 (21). – P. 7611–7619. doi : 10.1128/AEM.06102-11
19. Kutsokon N.K., Jose S., Holzmueller E. A Global analysis of temperature effects on *Populus* plantation production potential // *American Journal of Plant Sciences*. – 2015. – 6(1). – P. 23–33. doi : 10.4236/ajps.2015.61004
20. Peuke A. Phytoremediation / A.Peuke, H.Renenberg // *EMBO Reports*, 2005. – V 6 (6). – P. 497-501.
21. Poplars in forestry and land use / FAO, United Nations // *Forestry and forest products studies*. – № 12. – Rome : FAO, 1958.– 511 p.
22. Stout A. B. Tree breeding of forest trees for pulp wood / A. B.Stout, R. Mc Kee, E. J. Schreiner // *Journal of the New York Botanical Garden*. – 1927. – Vol. 28. – № 327. – P. 49–63.

GROWTH CHARACTERISTICS AND ENERGY PRODUCTIVITY OF POPLARS AND WILLOWS UNDER SHORT ROTATION PLANTING FOR THE FIRST VEGETATION YEAR

N. Kutsokon, D. Rakhmetov, L. Khudolieieva, S. Rakhmetova, V. Fishchenko, O. Nesterenko, N. Rashydov

Growth, bioenergy and productivity of poplar and willow clones were evaluated under short rotation planting scheme in watered nursery on the first vegetation year. Differences in growth (base diameter (mm), height (cm), number of branches per plant, biomass weight (g) as well as in energetic parameters (combustion energy (kJ/g), ash and dry matter amount (%)) were found. Sample of willow Zhytomyrska-1 has demonstrated the most intensive growth among all analyzed fast growing tree clones. Poplar clones Volosystoplidna, hybrid Canadensis x balsamic, Keliberdynska, Novoberlinska -7 and Ivantiivska were shown significant growth at least by two parameters. Chips combustion energy of different poplar and willow clones exceeded ENplus pellet standards, but ash content in samples of many clones not complied EU pellet standards, that may be explained by the presence a lot of leaves and un-wooden branches which increase ash content, as young stems on the first year were analyzed. Poplar clone Keliberdynska and willow Zhytomyrska-1 demonstrated the highest level of productivity. Since the study was carried out with the using of plants of first vegetation year, obtained energy and productivity levels are underestimated and preliminary. When using cuttings as a planting material for establishing the plantations, watering of soil is the critical factor for viability during the first year.

Key words: Short-rotation plantations, fast growing trees, Populus, Salix, biomass, combustion energy, productivity

Отримано редколегією 27.11.2017