DOI: https://doi.org/10.35774/econa2025.02.542 **JEL classification: Q23; Q42, Q57**
UDC: 330.15:502.131.1; 330.15:620.9

Юрій ГАЙДА
доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри аграрних технологій та лісового господарства,
Національний університет «Чернігівська політехніка», Україна
професор кафедри економіки та глобалістики,
Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID iD: 0000-0001-6019-9654

Василь БРИЧ
доктор економічних наук, професор,
директор навчально-наукового інституту інноватики, природокористування та інфраструктури,
Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID iD: 0000-0002-4277-5213

Ярослав ФУЧИЛО
доктор сільськогосподарських наук, професор, головний науковий співробітник,
Інститут біоенергетичних культур та цукрового буряка НААН України, Україна
ORCID iD: 0000-0002-2669-5176

Антін ШУВАР
доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри агробіотехнологій,
Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID iD: 0000-0002-6016-0896

Олена БОРИСЯК
доктор економічних наук, заступник директора навчально-наукового інституту інноватики,
природокористування та інфраструктури,
Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID iD: 0000-0003-4818-8068

Тетяна ГРОХОЛЬСЬКА
доктор філософії, викладач кафедри агробіотехнологій,
Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID iD: 0000-0002-1642-2203

Михайлина ФАРІОН
кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри підприємництва і торгівлі,
Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID iD: 0000-0001-7456-2864

СЕЗОННА ДИНАМІКА РОСТУ І РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР У КОРОТКОРОТАЦІЙНИХ ПЛАНТАЦІЯХ

Анотація

Вступ. Короткоротаційні плантації швидкорослих деревних порід, в тому числі культиварів тополі, розглядаються як перспективне джерело біомаси для відновлюваної енергетики. У зв'язку з цим вивчення закономірностей їхнього сезонного росту є актуальним для розуміння процесів накопичення

біомаси протягом вегетаційного періоду. Предметом даного дослідження є сезонна динаміка росту у висоту та за діаметром стовбура тополі у короткоротаційній плантації.

Мета дослідження. Метою дослідження є визначення особливостей динаміки росту культивару тополі 'Dorskamp' у висоту, за діаметром стовбура, а також сезонного лінійного розвитку бокових пагонів протягом третього року вегетації у короткоротаційній плантації в умовах Західного Лісостепу.

Методика дослідження. Дослідження проводилося у короткоротаційній плантації тополі на основі періодичних обстежень і обмірів модельних дерев протягом третього вегетаційного періоду. Оцінювалася вегетаційна динаміка висоти дерев, діаметра та розвитку бокових пагонів, запаси стовбурової деревини, обсяги накопиченої біомаси та енергії в ній. Отримані дані опрацьовано методами математичної статистики.

Результати дослідження Культивар тополі 'Dorskamp' в короткоротаційній плантації в умовах Західного Лісостепу характеризується інтенсивним ростом у висоту в першій половині вегетації (піковий приріст у липні), після чого його термінальний приріст суттєво знижується. Сезонна динаміка радіального приросту стовбура дерев тополі є подібною, однак максимум приросту настає раніше (у червні), уповільнюючись до осені. Лінійний ріст бокових пагонів найінтенсивніше відбувається у травні і червні з піковим періодом – кінець травня-середина червня. Впродовж третього року вегетації на плантації культивару тополі 'Dorskamp' суттєво зростають запаси стовбурової деревини (з 23,9 до 55,2 м3·га$^{-1}$), обсяги накопиченої сухої біомаси (з 14,4 до 33,3 т·га$^{-1}$) та енергії (з 267,1 до 616,7 ГДж·га$^{-1}$), забезпечуючи прогнозну сукупну виручку від продажу біопалива (паливної тріски), заготовленого на 3-х річній плантації, на суму 91883,85 грн·га$^{-1}$.

Отримані результати можуть бути використані при реалізації «зелених» бізнес-проєктів, зокрема при організації агро-енергетичних кластерів. Знання про сезонну динаміку росту дозволяє покращити планування агротехнічних заходів, визначити оптимальні строки збору врожаю біомаси та обрати ефективні стратегії менеджменту біоенергетичних плантацій з метою максимізації продуктивності. Встановлено, що інтегральний підхід до оцінки висоти, діаметра стовбура та розвитку пагонів дозволяє виявити критичні періоди росту. Зроблено висновок про високий потенціал культивару тополі 'Dorskamp' для використання в енергетичних цілях за умови врахування встановлених особливостей сезонного розвитку. Рекомендовано надалі досліджувати вплив факторів середовища на інтенсивність росту культиварів тополь для підвищення ефективності плантацій біоенергетичних культур.

Ключові слова: короткоротаційні плантації; тополя (Populus); культивар тополі 'Dorskamp'; короткоротаційні плантації; динаміка росту; біомаса; біоенергетичний потенціал.

Статтю підготовлено у межах реалізації проєкту з виконання наукового дослідження і розробки 2021.01/0416 «Впровадження кліматично-нейтральних інновацій в управління аграрним природокористуванням в контексті еколого-енергетичної безпеки України» за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України.

Вступ

Пошук відновлюваних джерел енергії, здатних замінити викопне паливо, актуалізує вирощування біоенергетичних культур. Серед них важливе місце займають швидкоростучі види деревних рослин, зокрема тополі (Populus sp.), які характеризуються високою інтенсивністю росту в перші роки життя та значною продуктивністю фітомаси. Окремі культивари тополі здатні швидко рости навіть на малопродуктивних землях, формуючи значну надземну біомасу, що може бути використана для виробництва твердого

© Юрій Гайда, Василь Брич, Ярослав Фучило, Антін Шувар, Олена Борисяк, Тетяна Грохольська, Михайлина Фаріон, 2025

Отримано: 18.04.2025 р. **Рекомендовано до друку:** 19.05.2025 р. **Опубліковано:** 28.05.2025 р.

Ця стаття розповсюджується на умовах ліцензії Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0, яка дозволяє необмежене повторне використання, розповсюдження та відтворення на будь-якому носії, за умови правильного цитування оригінальної роботи.

Як цитувати: Гайда Ю., Брич В., Фучило Я., Шувар А., Борисяк О., Грохольська Т., Фаріон М. Сезонна динаміка росту і розвитку біоенергетичних культур у короткоротаційних плантаціях. *Економічний аналіз.* 2025. Том 35. № 2. С. 542-554. DOI: https://doi.org/10.35774/econa2025.02.542

біопалива. Завдяки високій швидкості росту, короткоротаційні плантації тополі можуть забезпечувати стабільні врожаї надземної фітомаси протягом тривалого періоду експлуатації плантації [15].

Короткоротаційні плантації – це спеціальні щільні насадження швидкоростучих дерев, які експлуатуються за скороченими циклами рубок (2–5(7) років) для одержання технічної тріски чи дров'яної деревини [17]. Як правило, перше зрізання біомаси проводять на 4–5-й рік після садіння, а надалі врожай збирають кожні 2–4 роки; загальна тривалість використання плантації може становити 15–20 років. За сприятливих умов (сухий ґрунт, збирання у період спокою) короткоротаційні тополеві плантації можуть формувати біомасу понад 60 т/га, Водночас збирання у вегетаційний період або за перезволожених умов зменшує продуктивність збиральних комбайнів на 28–59%, підвищує вологість і зольність біомаси та збільшує витрати й вуглецевий слід. Отож фактична віддача плантації істотно залежить від сезонного вікна й стану ґрунту [21]. Високі показники продуктивності тополевих плантацій зафіксовані в різних країнах Європи та Північної Америки що підтверджує перспективність тополі як енергетичної культури у світовому масштабі [13; 18].

Одним із ключових чинників продуктивності короткоротаційних плантацій є правильний добір генотипів (клонів) тополі, адаптованих до місцевих умов вирощування. Протягом XX століття українськими селекціонерами (під керівництвом Н. В. Старової) було виведено сотні міжвидових гібридів тополі [5]. З них понад 600 сортів і клонів оцінювалися у дослідних культурах, однак багато з них виявили недостатній ріст або стійкість у певних умовах і широко не культивуються [6]. Нині у державному сортовипробуванні в Україні перебуває понад 30 клонів і гібридів тополі [7], серед яких є перспективні як вітчизняні, так і зарубіжні сорти. Продуктивність культиварів тополі залежить від ґрунтово-кліматичних умов регіону. Так в умовах Західного Лісостепу високу продуктивність проявляють сорти 'Тронко', 'Стрілоподібна', 'Дружба' та гібрид тополі 'Канадська × Бальзамічна' [8]. Останній є міжвидовим гібридом тополі дельтовидної (Populus deltoides) та тополі бальзамічної (Populus balsamifera), який поєднує високу швидкість росту з доброю адаптивністю до кліматичних умов України. Кожен із вищезгаданих тополевих культиварів здатен ефективно генерувати екосистемні послуги: акумулювати вуглекислий газ, продукувати кисень і забезпечувати достатньо високий вихід енергетичної деревної біомаси [14].

Сезонна динаміка росту швидкоростучих дерев суттєво впливає на кінцеву продуктивність біомаси та її якісні показники. У помірному кліматі тополі зазвичай починають вегетацію рано навесні, швидко нарощуючи листковий апарат. Однак сезонна еволюція його площі припадає на кінець літа, що відображає листопадний тип росту тополі [10, с. 570]. У листопадних рослин, в т. ч. у тополі продуктивність і використання світла сезонно концентровані (пік у середині–кінці літа, мінімум узимку). Для тополь це часто поєднується з індетермінованим типом пагонового росту (верхівка може подовжуватися доти, доки дозволяють умови сезону), але листя все одно скидається восени [12]. Нестача вологи або інші стреси можуть зміщувати або знижувати пікові прирости: так, за даними Броекс Л. С. (Broeckx L. S.), Ванбеверен С. П. (Vanbeveren S. P.), Верлінден М. С. (Verlinden M. S.), Сеулеманс Р. (Ceulemans R.) [9], весняна посуха призводить до зменшення загального приросту і впливає на розподіл біомаси між органами рослини. Таким чином для тополі радіаційне забезпечення та площа листкового пологу є одними із визначальних факторів її для продуктивності, а тому другий цикл відростання на короткоротаційній плантації після зрізання часто характеризується збільшеною площею листя дерев і, відповідно, вищим річним приростом біомаси. Генотипові особливості культиварів також відіграють значну роль – навіть серед сучасних високопродуктивних популяцій тополь спостерігається варіабельність за коефіцієнтом використання радіації (RUE) та інтенсивністю фотосинтезу, що відкриває можливості подальшої селекції на поєднання високої листкової площі та ефективності фотосинтезу [10].

Важливим завданням при дослідженні біоенергетичного потенціалу плантацій тополі є

аналіз сезонної динаміки росту рослин у висоту, за діаметром стовбура та розвитку крони протягом вегетаційного періоду. У перший рік вегетації молоді тополі можуть продукувати як один домінантний пагін, так і кілька стебел залежно від клону, а кількість пагонів на рослину та їх середня довжина впливають на загальну фітомасу. Так, за даними Н. Куцоконь та співавт. [10] різні клони тополь суттєво відрізнялися за кількістю пагонів, висотою, діаметром і масою однорічної фітомаси у перший рік росту. Однак загалом потрібно зазначити, що у науковій літературі бракує детальних даних щодо внутрішньосезонної динаміки росту культиварів тополі – переважно вивчалися міжсезонні відмінності темпів їх росту [3]. Тому актуальність дослідження сезонної динаміки росту і розвитку культиварів тополі полягає у необхідності з'ясування того, коли саме протягом сезону відбувається найбільш інтенсивний ріст у висоту, потовщення стовбура та лінійний розвиток бічних пагонів, оскільки це є важливим як для оптимізації агротехніки вирощування біоенергетичних плантацій тополі (режимів зрошення, підживлення), так і визначення оптимального часу заготівлі біомаси. Так, за даними Дебринюка Ю. і Соловія І., ефективне плантаційне лісовирощування вимагає узгодження технологічних прийомів зі стадіями росту деревних рослин [1]. Тому важливо враховувати сезонну динаміку щоб забезпечити оптимальне зволоження ґрунту в період інтенсивного росту (травень–червень), що може значно підвищити прирости та ефективне використання мінеральних добрив.

Мета статті

Метою дослідження було визначення особливостей сезонної динаміки росту культивару 'Dorskamp' у короткоротаційній плантації, зокрема оцінка трендів динаміки показників висоти, діаметра стовбура та лінійного росту бокових пагонів протягом вегетаційного періоду, а також висвітлення зв'язку цих показників із накопиченням біомаси та біоенергетичним потенціалом культивару.

Методи та об'єкти дослідження

Дослідження проводилися на 3-х річній дослідній плантації культивару 'Dorskamp', створеній неукоріненими живцями у Науково-дослідному виробничому господарстві «Наука» Західноукраїнського національного університету. Культивар 'Dorskamp' отриманий у Нідерландах (Wageningen) як штучний гібрид P. deltoides × P. nigra у 1952 році [11]. Плантація створена способом висаджування неукорінених живців, оброблених стимулятором коренеутворення. Перед висадкою на ділянці було внесено азотне добриво – аміачну воду.

Впродовж третього вегетаційного періоду на планатції проводилися періодичні обміри модельних дерев для оцінки сезонної динаміки росту дерев культивару 'Dorskamp' за висотою та діаметром стовбура. Висота дерев вимірювалася за допомогою мірної рейки з точністю до 1 см, а діаметр стовбура на висоті 1,3 м – за допомогою електронного штангенциркуля з точністю до 0,1 мм. Обміри здійснювалися у кінці кожного місяця з квітня по вересень.

Запаси стовбурової деревини середнього модельного дерева тополі визначали за формулою:

$$\text{Запас (м3)} = g \cdot h \cdot f, \quad (1)$$

де g – площа поперечного перерізу стовбура на висоті 1,3 м,

h – середня висота дерев культивару, м

f – видове число (для плантаційної тополі становить 0,450).

Площу поперечного перерізу стовбура визначали за формулою:

$$g = \frac{\pi}{4}\left(\frac{d}{100}\right)^2, \quad (2)$$

де d – середній діаметр стовбурів на висоті грудей (1,3 м), см

Запас стовбурової деревини тополі на 1 га розраховували з огляду на схему розміщення дерев у короткоротаційній плантації 2,0 х 0,7 м.

Надземну біомасу (Above Ground Biomass) визначали за допомогою формули [19]:

$$AGB\ (\text{т/га}) = \text{Запас}\ (\text{м}^3) \cdot WD \cdot BEF, \quad (3)$$

де *WD* (Wood Density) – базисна щільність деревини (для тополі – 0,440 т·(м^3)$^{-1}$).

BEF (Biomass Expansion Factor) – коефіцієнт "розширення" біомаси, який забезпечує

визначення усіх елементів надземної біомаси, окрім стовбура з корою, також листя і гілок. В нашому дослідженні використовувалося значення 1,37 [2].

Для оцінки біоенергетичної цінності біомаси тополь використовували середнє значення питомої теплоти згорання біомаси тополі - 18,53 КДж/г [4].

Прогнозну виручку від реалізації енергетичної біомаси тополі з 1 га визначали за формулою:

$$\text{Виручка} = Q_б \times P, \quad (4)$$

де $Q_б$ – обсяг абсолютно сухої надземної біомаси, т·га$^{-1}$

P – ціна паливної тріски, перерахована на абсолютно суху, грн/т

У розрахунках прогнозної виручки використовували середню ціну паливної тріски, визначену на основі аналізу публічних закупівель паливної тріски у 2018-2023 рр. [16], а саме – 1780,67 грн/т (при вологості 35,5 %), або 2760,7 грн/т (за абсолютно суху).

Виклад основного матеріалу

На початку третього року вегетації (кінець квітня) середня висота дерев культивару 'Dorskamp' становила 592 см, що свідчить про високу інтенсивність їх росту впродовж перших двох років (табл. 1).

Таблиця 1. Сезонна динаміка росту, продуктивності та біоенергетичного потенціалу культивару тополі

Дата	Висота, см	Діаметр стовбура, см	Запас стовбурової деревини, м^3·га$^{-1}$	Обсяг сухої надземної фітомаси, т·га$^{-1}$	Вихід енергії, ГДж·га$^{-1}$
25 квітня	592±7,6	4,0±0,14	23,9	14,4	267,1
22 травня	602±7,5	4,3±0,15	28,1	16,9	313,9
26 червня	633±8,8	4,9±0,16	38,4	23,1	428,6
24 липня	696±5,6	5,3±0,18	49,4	29,8	551,3
26 серпня	706±5,5	5,4±0,19	52,0	31,3	580,5
27 вересня	723±5,3	5,5±0,18	55,2	33,3	616,7

Надалі спостерігалося збільшення висоти протягом весняно-літнього періоду у травні-липні, причому максимальний приріст у висоту (63 см) припав на липень (рис. 1 і 2). З кінця липня темпи росту у висоту суттєво знизилися (у серпні до 10,0 см, вересні до 16,5 см). Загалом сезонна динаміка росту у висоту культивару тополі 'Dorskamp' якісно апроксимується поліномом третього ступеня (R^2 = 0,98). Поточний річний приріст у висоту досліджуваного культивару склав понад 1,3 м, що значно менше середнього приросту у висоту за попередні два роки.

Сезонна динаміка середнього діаметра стовбурів культивару тополі 'Dorskamp' має траєкторію, подібну до середньої висоти. Як бачимо із рис. 3, цей часовий ряд також добре описується функцією полінома третього ступеня (R^2 = 0,98). Однак є відмінність у часі зміни конфігурації S-подібної кривої. Зміна прискореного темпу приросту на спадний відбувається дещо раніше – наприкінці червня. Максимальна величина радіального приросту (5,5 мм) спостерігалася у червні. У середині літа вона ще залишалася досить високою (4,2 мм), але вже у серпні темпи збільшення середнього діаметра стовбура суттєво знизилися, а у вересні приріст за діаметром майже припинився через зниження інтенсивності поділу клітин камбію перед завершенням вегетаційного періоду. Загальний річний приріст за діаметром стовбура впродовж третього вегетаційного періоду склав 1,5 см і є меншим за середньорічний показник перших двох років вирощування плантації.

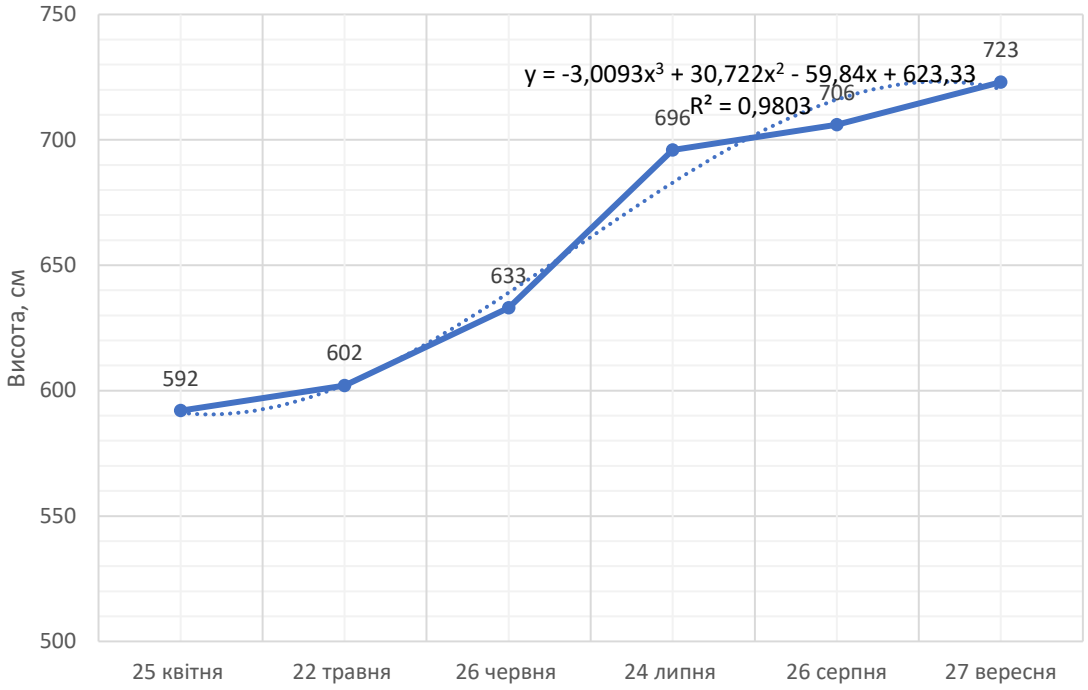


Рис. 1. Сезонна динаміка середньої висоти дерев культивару тополі 'Dorskamp'

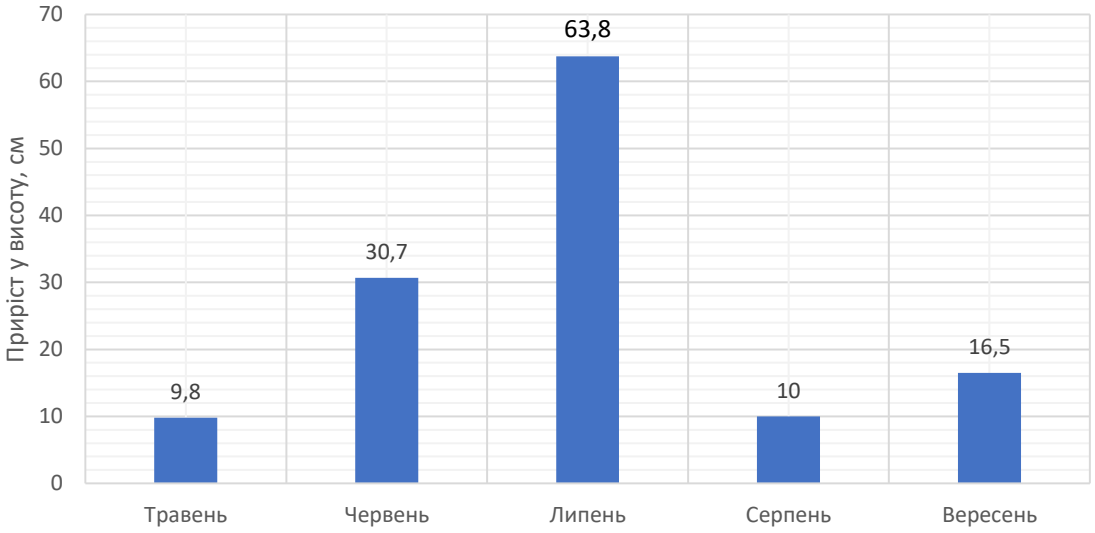


Рис. 2. Сезонна динаміка величини середнього приросту у висоту культивару тополі 'Dorskamp'

Окрім головного стовбура, біомаса якого домінує у структурі надземної фітомаси, у дерев тополі на біоенергетичній плантації протягом третього вегетаційного періоду формувалися численні бічні пагони – в основному гілки першого і другого порядку. З метою вивчення окремих аспектів інтенсивності приросту фітомаси крони були проведені періодичні обміри лінійного приросту бокових гілок дерев культивару 'Dorskamp'. Величина лінійного приросту таких пагонів є важливим показником, оскільки він відображає інтенсивність розширення крони і потенційне збільшення листкової площі, що, в свою чергу, впливає на продуктивність фотосинтезу і накопичення біомаси.

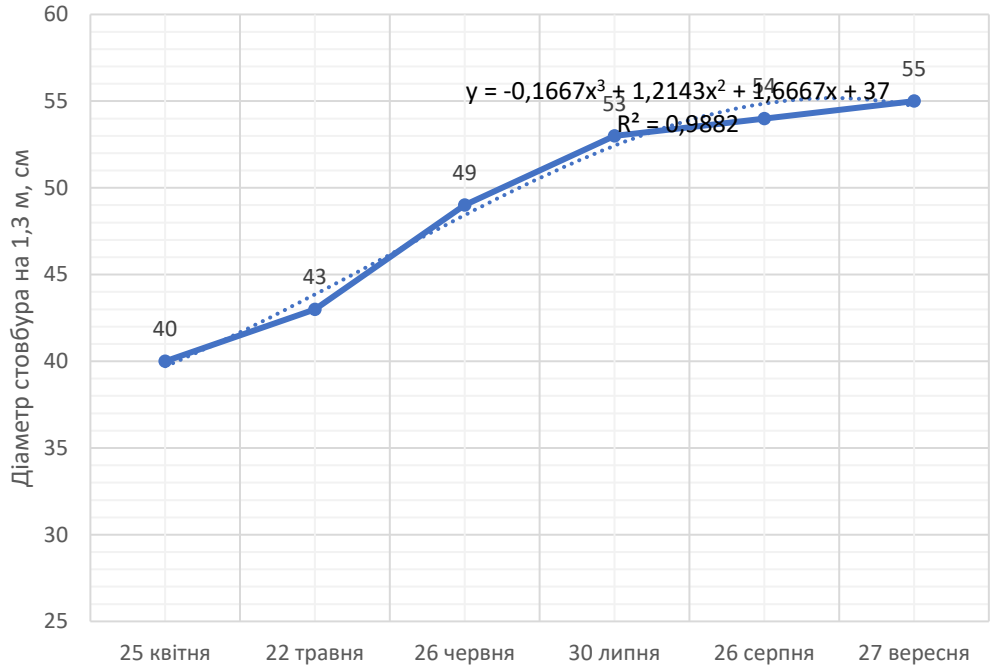


Рис. 3. Сезонна динаміка середнього діаметра стовбура дерев культивару тополі 'Dorskamp'

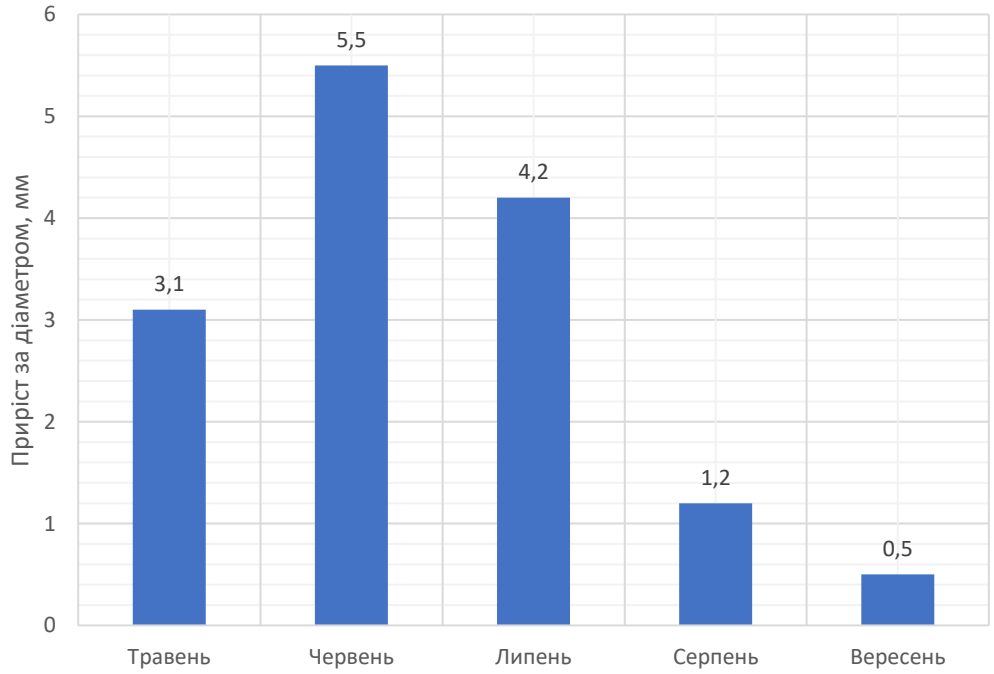


Рис. 4. Сезонна динаміка середнього радіального приросту стовбурів дерев культивару тополі 'Dorskamp'

Обміри проводилися у нижній частині крони – висота відходу бокових пагонів коливалася від 82 см до 230 см, а їх довжина від 44 до 162 см. Сезонна динаміка середнього показника лінійного росту бокових пагонів відображена на рис. 5. Як бачимо із цього графіка, лінійне подовження бокових пагонів з різним темпом тривало в основному до середини літа. Після цього темпи приросту лінійного приросту пагонів у нижній частині крони суттєво знизилися. Починаючи з кінця липня ріст пагонів майже припинився, а незначне подовження їх у вересні пояснюється інтенсивним формуванням термінальних

бруньок. Такий характер вегетаційної динаміки росту бокових пагонів підтверджується і при аналізі поточних приростів між датами спостереження (рис. 6). Найінтенсивніше лінійний ріст бокових пагонів відбувався у травні і червні з піковим періодом – кінець травня-середина червня.

На основі середніх біометричних параметрів дерев культивару тополі 'Dorskamp', які були визначені на різних етапах вегетаційного періоду, розраховано відповідні їм обсяги запасів стовбурової деревини, а також запаси надземної фітомаси. Динаміка цих важливих показників для оцінки сезонного накопичення біомаси наведена у табл. 1. На початку вегетації запас стовбурової деревини культивару тополі становив 23,9 $м^3 \cdot га^{-1}$, а обсяг сухої надземної фітомаси – 14,4 $т \cdot га^{-1}$. У кінці вегетаційного періоду ці показники відповідно становили 55,2 $м^3 \cdot га^{-1}$ і 33,3 $т \cdot га^{-1}$. Наші дані загалом відповідають результатам інших досліджень для швидкоростучих тополь. Зокрема, клон ‘Robusta’ в умовах Правобережного Лісостепу дав 25–30 т/га сухої маси на 4-й рік [3].

Економічні розрахунки свідчать, що корткоротаційна плантація з терміном ротації 3 роки може забезпечити достатньо високий потік виручки від продажу паливної тріски. Впродовж третього вегетаційного періоду сукупна виручка від реалізації цього виду біопалива зростає з 39793,96 грн/га на початку сезону до 91883,84 грн/га у кінці.

Таким чином, результати нашого дослідження підтверджують високу продуктивність культивару тополі 'Dorskamp' в умовах Західного Лісостепу. За сприятливих умов (достатнє вологозабезпечення, відсутність пошкоджень шкідниками і хворобами) цей клон здатен забезпечувати середньорічний приріст біомаси на рівні 10 і більше тон сухої речовини з гектара. Для ефективної реалізації цього потенціалу слід враховувати деякі агротехнічні та технологічні моменти, пов’язані з сезонними особливостями росту культивару. Згідно отриманих даних, основний приріст припадає на першу половину вегетації. Забезпечення рослин вологою в цей період іноді є критичним. Так, вже у перший рік, коли відбувається укорінення живців, існує нагальна проблема регулярного зволоження ґрунту [4] У наступні роки варто забезпечити, щоб у травні-липні дерева культивару тополі не відчували гострого дефіциту води.

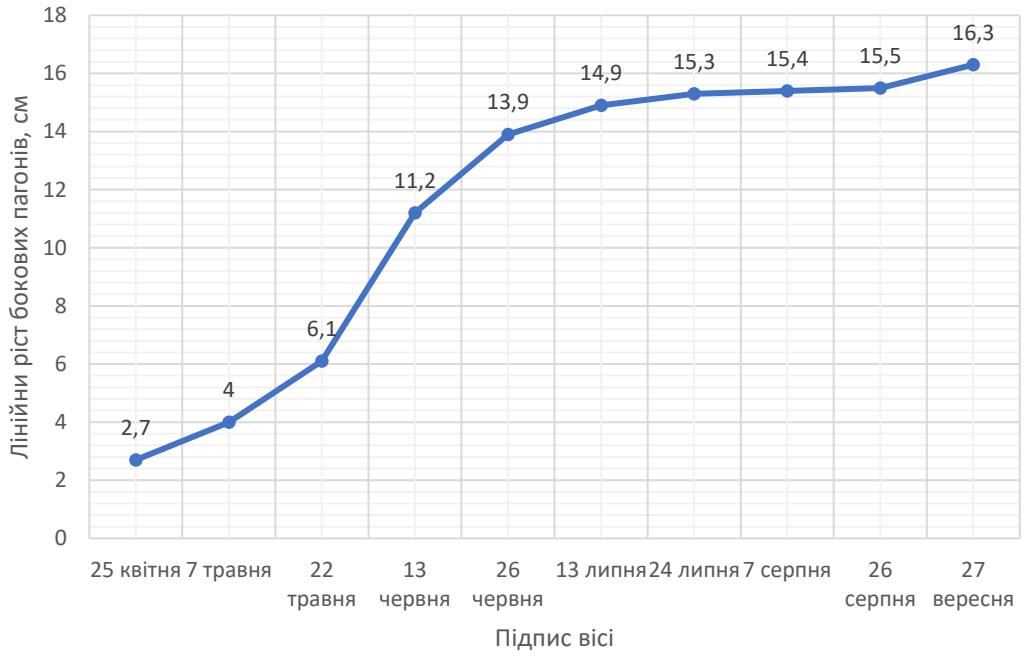


Рис. 5. Сезонна динаміка середнього показника лінійного росту бокових пагонів культивару тополі 'Dorskamp'

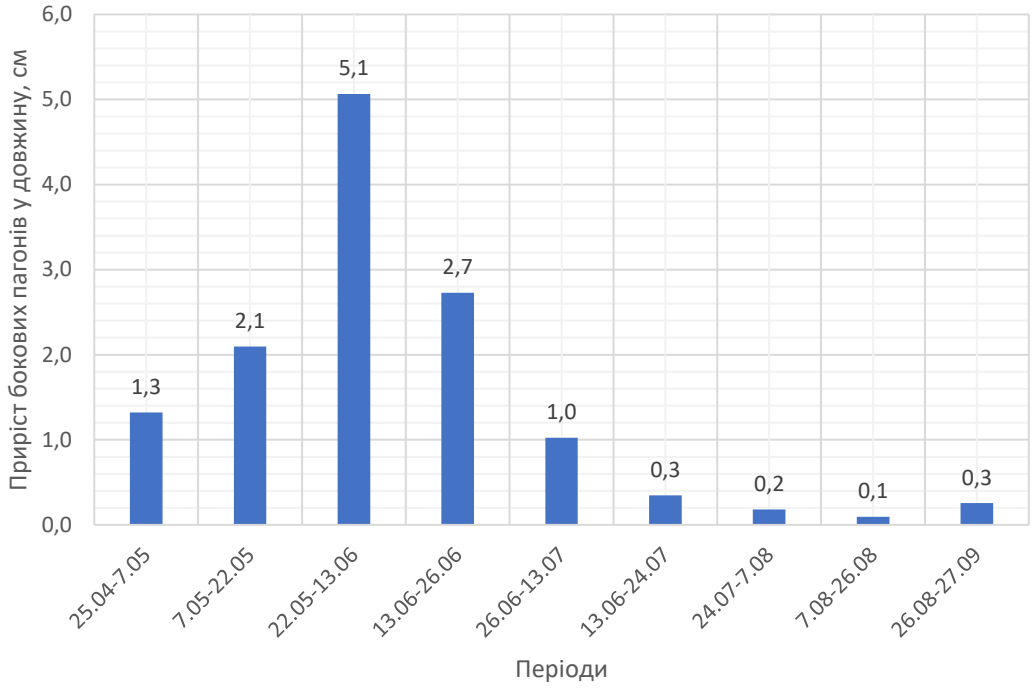


Рис. 6. Сезонна динаміка середнього лінійного приросту бокових пагонів у довжину у культивару тополі 'Dorskamp'

Внесені в ґрунт при посадці добрива переважно використовуються в перші 2–3 роки. Надалі, щоб підтримувати високі темпи росту, може знадобитися підживлення азотом ранньою весною до початку активного росту. Вносити ж добрива пізніше липня недоцільно, адже в цей період ростові процеси сповільнюються і елементи живлення не будуть ефективно засвоєні.

Інтенсивний ріст весною робить тополю привабливою для комах-шкідників (листогризів, попелиць). Значні ушкодження листя у червні можуть знизити інтенсивність фотосинтезу, а отже і темпи приросту. Тому необхідно здійснювати моніторинг санітарного стану дерев на плантації (особливо на початку літа) і при потребі застосовувати заходи захисту, щоб зберегти листовий апарат дерев тополі у критичні періоди максимального росту.

Узагальнюючи, необхідно зазначити, що сезонна динаміка росту безпосередньо впливає на зміну біоенергетичної цінності плантацій тополі. Швидкий ріст у період довгого дня і оптимальних температур забезпечує максимальне накопичення біомаси, тоді як сповільнення росту сигналізує про досягнення межі росту в даному сезоні. Для виробників біомаси це означає, що слід максимально підсилити цей пік росту (через агротехнічні заходи), а потім вчасно зібрати врожай, не залишаючи його на той час, коли приріст майже відсутній і зростають лише втрати (відпад, дихання, шкідники). Наше дослідження підтверджує, що культивар тополі 'Dorskamp' є високопродуктивним і добре адаптованим до умов короткої ротації. Він може стати цінним компонентом у портфелі енергетичних культур України разом з вербою, павловнією, міскантусом тощо, особливо для регіонів з достатнім зволоженням.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Культивар тополі 'Dorskamp' в короткоротаційній плантації в умовах Західного Лісостепу характеризується інтенсивним ростом у висоту в першій половині вегетації (піковий приріст у липні), після чого його термінальний приріст суттєво знижується. Сезонна динаміка радіального приросту стовбура дерев тополі є подібною, однак максимум приросту настає раніше (у червні), уповільнюючись до осені. Лінійний ріст бокових пагонів найінтенсивніше відбувається

у травні і червні з піковим періодом – кінець травня-середина червня. Впродовж третього року вегетації на плантації культивару тополі 'Dorskamp' суттєво зростають запаси стовбурової деревини (з 23,9 до 55,2 м3·га$^{-1}$), обсяги накопиченої сухої біомаси (з 14,4 до 33,3 т·га$^{-1}$) та енергії (з 267,1 до 616,7 ГДж·га$^{-1}$), забезпечуючи прогнозну сукупну виручку від продажу біопалива (паливної тріски), заготовленого на 3-х річній плантації, на суму 91883,85 грн·га$^{-1}$.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на оцінку впливу різних агротехнічних заходів (зрошення, удобрення) на сезонну динаміку росту культиварів тополі у біоенергетичних плантаціях, а також на визначенні їх продуктивності на інших типах ґрунтів. Важливим науковим завданням є вивчення відновлювальної здатності різних культиварів тополів після зрізання дерев та довговічності плантацій при багаторотаційному їх використанні.

Фінансування досліджень. *Статтю підготовлено у межах реалізації проєкту з виконання наукового дослідження і розробки 2021.01/0416 «Впровадження кліматично-нейтральних інновацій в управління аграрним природокористуванням в контексті еколого-енергетичної безпеки України» за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України.*

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дебринюк Ю. М., Соловій І. П. Плантаційне лісовирощування: еколого-економічні, технологічні та лісівничі аспекти. Збірник наукових праць Лісівничої академії наук України. 2012. Вип. 10. С. 48–54.
2. Дебринюк Ю. М., Фучило Я. Д. Плантаційні лісові насадження в Україні: концептуальні засади, ресурсний потенціал та енергетичне використання: монографія. Львів: Галицька видавнича спілка, 2020. 504 с.
3. Кирилко Я. О. Агроекологічні аспекти створення енергетичних плантацій тополі (Populus L.) в умовах Правобережного Лісостепу України: дис. … канд. с.-г. наук. Київ: ІБКіЦБ НААН, 2023. 129 с.
4. Куцоконь Н. К., Рахметов Д. Б., Худолєєва Л. В., Рахметова С. О., Фіщенко В. В., Нестеренко О. Г., Рашидов Н. М. Ростові характеристики та енергопродуктивність тополь і верб короткоротаційної плантації за перший рік вегетації. Біологічні системи. 2017. Т. 9, Вип. 2. С. 238–246.
5. Нейко І. С., Колчанова О. В. Адаптивність та особливості росту сортів тополі в умовах Поділля. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. Т. 28, № 7. С. 53–56.
6. Патлай І. М., Журова П. Т., Гайда Ю. І. Сортовипробування лісових порід в Україні. Лісівництво і агролісомеліорація. 1999. Вип. 96. С. 3–9.
7. Торосова Л. О., Висоцька Н. Ю., Лось С. А. та ін. Дослідження представників роду Populus за морфологічними ознаками. Лісівництво і агролісомеліорація. 2015. Вип. 127. С. 100–107.
8. Фучило Я. Д., Сбитна М. В., Гайда Ю. І. та ін. Ріст і продуктивність плантацій гібридних тополь в умовах Західного Лісостепу України. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Т. 27, № 9. С. 43–47.
9. Broeckx L. S., Verlinden M. S., Berhongaray G., Zona D., Fichot R., Ceulemans R. The effect of a dry spring on seasonal carbon allocation and vegetation dynamics in a poplar bioenergy plantation. Gcb Bioenergy. 2014. Vol. 6, No. 5. P. 473–487.
10. Broeckx L. S., Vanbeveren S. P., Verlinden M. S., Ceulemans R. First vs. second rotation of a poplar short rotation coppice: leaf area development, light interception and radiation use efficiency. iForest-Biogeosciences and Forestry. 2015. Vol. 8, No. 5. P. 565.
11. Cox S. E. Elevational gradient of neoformed shoot growth in Populus tremuloides. Botany. 2005. Vol. 83, No. 10. P. 1340–1344.

12. Dănilă I. C., Mititelu C., Palaghianu C. Productivity of short-rotation poplar crops: a case study in the NE of Romania. Forests. 2022. Vol. 13, No. 7. P. 1089.
13. Broekhuizen J. T. M., Guldemond J. L., Koster R. De nieuwe populierenklonen 'Flevo' en 'Dorskamp'. URL: https://edepot.wur.nl/268396.
14. Hayda Y., Fuchylo Y., Brych V., Shuvar A., Haida T., Borysiak O. Age trends in the effectiveness of some ecosystem services provided by poplar cultivars in the Western Forest Steppe of Ukraine. Folia Forestalia Polonica, Series A–Forestry. 2025. Vol. 67, No. 3. P. 137–149.
15. Miller R. O., Bender B. A., Irving P. N., Zuidema K. T. Common short rotation poplar growth patterns observed in ten trials over 18 years in Michigan, USA [Conference presentation]. 25th International Poplar Symposium. Berlin, Germany, 2016, September 13–16.
16. SAF Україна: Аналіз публічних закупівель паливної тріски за 2018–2023 роки. URL: https://uabio.org/materials/.
17. Spinelli R. Short rotation coppice (SRC) production in Italy. Institut für Agrartechnik, Bornim (Hrsg.): Energiepflanzen im Aufwind. 2007. H. 61(07). P. 158–167.
18. Stanton B. J., Bourque A., Coleman M., Eisenbies M., Emerson R. M., Espinoza J., et al. The practice and economics of hybrid poplar biomass production for biofuels and bioproducts in the Pacific Northwest. Bioenergy Research. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 543–560.
19. Tomar A., Singh B. K., Khan F. A., Srivastava A., Singh S. Growth, Biomass and Carbon Sequestration of Populus deltoides Clones. Environment and Ecology. 2024. Vol. 42, No. 2. P. 541–548.
20. Truax B., Gagnon D., Fortier J., Lambert F. Biomass and volume yield in mature hybrid poplar plantations on temperate abandoned farmland. Forests. 2014. Vol. 5, No. 12. P. 3107–3130.
21. Volk T. A., Spinelli R., Eisenbies M., Clark R., Emerson R., Frank J., et al. Harvesting Systems for Short Rotation Coppice Crops Influence Cost, Performance, and Biomass Quality. In: Handbook of Biorefinery Research and Technology. Dordrecht: Springer, 2024. P. 1–31.

REFERENCES

1. Debryniuk, Yu. M., & Solovii, I. P. (2012). Plantation forestry: Ecological-economic, technological, and silvicultural aspects. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 10,* 48–54.
2. Debryniuk, Yu. M., & Fuchylo, Ya. D. (2020). *Plantation forest stands in Ukraine: Conceptual foundations, resource potential, and energy use* [Monograph]. Lviv: Halytska Vydavnycha Spilka.
3. Kyrylko, Ya. O. (2023). *Agroecological aspects of creating poplar (Populus L.) energy plantations in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine* (Candidate dissertation). Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS, Kyiv.
4. Kutsokon, N. K., Rakhmetov, D. B., Khudolieieva, L. V., Rakhmetova, S. O., Fishchenko, V. V., Nesterenko, O. H., & Rashydov, N. M. (2017). Growth characteristics and energy productivity of poplars and willows in a short-rotation plantation during the first year of vegetation. *Biological Systems, 9(2),* 238–246.
5. Neiko, I. S., & Kolchanova, O. V. (2018). Adaptability and growth features of poplar varieties in Podillia. *Scientific Bulletin of UNFU, 28(7),* 53–56.
6. Patlai, I. M., Zhurova, P. T., & Haida, Yu. I. (1999). Variety testing of forest species in Ukraine. *Forestry and Agroforestry, 96,* 3–9.

7. Torosova, L. O., Vysotska, N. Yu., Los, S. A., et al. (2015). Study of representatives of the genus *Populus* by morphological traits. *Forestry and Agroforestry, 127,* 100–107.

8. Fuchylo, Ya. D., Sbytna, M. V., Haida, Yu. I., et al. (2017). Growth and productivity of hybrid poplar plantations in the Western Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU, 27(9),* 43–47.

9. Broeckx, L. S., Verlinden, M. S., Berhongaray, G., Zona, D., Fichot, R., & Ceulemans, R. (2014). The effect of a dry spring on seasonal carbon allocation and vegetation dynamics in a poplar bioenergy plantation. *GCB Bioenergy, 6(5),* 473–487.

10. Broeckx, L. S., Vanbeveren, S. P., Verlinden, M. S., & Ceulemans, R. (2015). First vs. second rotation of a poplar short rotation coppice: Leaf area development, light interception and radiation use efficiency. *iForest – Biogeosciences and Forestry, 8(5),* 565.

11. Cox, S. E. (2005). Elevational gradient of neoformed shoot growth in *Populus tremuloides. Botany, 83(10),* 1340–1344.

12. Dănilă, I. C., Mititelu, C., & Palaghianu, C. (2022). Productivity of short-rotation poplar crops: A case study in the NE of Romania. *Forests, 13(7),* 1089.

13. Broekhuizen, J. T. M., Guldemond, J. L., & Koster, R. (n.d.). *De nieuwe populierenklonen "Flevo" en "Dorskamp."* https://edepot.wur.nl/268396.

14. Hayda, Y., Fuchylo, Y., Brych, V., Shuvar, A., Haida, T., & Borysiak, O. (2025). Age trends in the effectiveness of some ecosystem services provided by poplar cultivars in the Western Forest-Steppe of Ukraine. *Folia Forestalia Polonica, Series A–Forestry, 67(3),* 137–149.

15. Miller, R. O., Bender, B. A., Irving, P. N., & Zuidema, K. T. (2016, September 13–16). Common short rotation poplar growth patterns observed in ten trials over 18 years in Michigan, USA [Conference presentation]. *25th International Poplar Symposium,* Berlin, Germany.

16. SAF Ukraine. (2025). *Analysis of public procurement of fuel wood chips for 2018–2023.* https://uabio.org/materials/.

17. Spinelli, R. (2007). Short rotation coppice (SRC) production in Italy. In *Institut für Agrartechnik, Bornim (Hrsg.): Energiepflanzen im Aufwind,* 61(07), 158–167.

18. Stanton, B. J., Bourque, A., Coleman, M., Eisenbies, M., Emerson, R. M., Espinoza, J., ... & Zerpa, J. (2021). The practice and economics of hybrid poplar biomass production for biofuels and bioproducts in the Pacific Northwest. *Bioenergy Research, 14(2),* 543–560.

19. Tomar, A., Singh, B. K., Khan, F. A., Srivastava, A., & Singh, S. (2024). Growth, biomass and carbon sequestration of *Populus deltoides* clones. *Environment and Ecology, 42(2),* 541–550.

20. Truax, B., Gagnon, D., Fortier, J., & Lambert, F. (2014). Biomass and volume yield in mature hybrid poplar plantations on temperate abandoned farmland. *Forests, 5(12),* 3107–3130.

21. Volk, T. A., Spinelli, R., Eisenbies, M., Clark, R., Emerson, R., Frank, J., ... & Webb, E. (2024). Harvesting systems for short rotation coppice crops influence cost, performance, and biomass quality. In *Handbook of Biorefinery Research and Technology* (pp. 1–31). Springer, Dordrecht.

Yurii Haida, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Agrarian Technologies and Forestry, National University "Chernihiv Polytechnic", Ukraine; Professor at the Department of Economics and Global Studies, West Ukrainian National University, Ukraine
Vasyl Brych, Doctor of Economics, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Innovation, Nature Management and Infrastructure, West Ukrainian National University, Ukraine
Yaroslav Fuchylo, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, Ukraine
Antin Shuvar, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Agrobiotechnologies, West Ukrainian National University, Ukraine
Olena Borysiak, Doctor of Economics, Deputy Director of the Educational and Scientific Institute of Innovation, Nature Management and Infrastructure, West Ukrainian National University, Ukraine
Tetiana Hrokholska, PhD, Lecturer at the Department of Agrobiotechnologies, West Ukrainian National University, Ukraine
Mykhailyna Farion, PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Entrepreneurship and Trade, West Ukrainian National University, Ukraine

Seasonal dynamics of growth and development of bioenergy crops in short-rotation plantations

Abstract
Introduction. Short-rotation plantations (SRP) of fast-growing trees such as poplar are regarded as a promising biomass source for renewable energy. Accordingly, examining their seasonal growth patterns is essential for understanding biomass accumulation over the growing season. This study focuses on the seasonal dynamics of growth in a poplar cultivar within an SRP.
Objective. The aim is to characterize the dynamics of height growth, stem diameter increment, and the seasonal linear development of lateral shoots of the poplar cultivar 'Dorskamp' during the third growing season in an SRP under conditions of the Western Forest-Steppe.
Methods. The research was conducted in a poplar SRP based on periodic surveys and measurements of model trees throughout the third vegetation period. We assessed the seasonal trajectories of tree height, stem diameter, and lateral shoot development, as well as stemwood volume stock, accumulated biomass, and energy content. The data were processed using standard statistical methods.
Results. In the Western Forest-Steppe, the poplar cultivar 'Dorskamp' exhibits intensive height growth during the first half of the growing season (with a peak in July), followed by a marked decline in terminal increment. The seasonal course of radial stem increment is similar, but its maximum occurs earlier (in June) and slows toward autumn. Linear growth of lateral shoots is most intense in May and June, with a peak period from late May to mid-June. Over the third growing season, the plantation showed substantial increases in stemwood volume stock (from 23.9 to 55.2 $m^3 \cdot ha^{-1}$), accumulated oven-dry biomass (from 14.4 to 33.3 $t \cdot ha^{-1}$), and energy content (from 267.1 to 616.7 $GJ \cdot ha^{-1}$), yielding a projected gross revenue from biofuel (fuel chips) harvested at age three of 91,883.85 $UAH \cdot ha^{-1}$.
The results can inform "green" business initiatives, including the organization of agro-energy clusters. Understanding seasonal growth dynamics supports improved scheduling of silvicultural operations, determination of optimal harvest timing, and selection of effective management strategies for bioenergy plantations to maximize productivity. The study provides a more detailed characterization of growth features of energy poplar across the vegetation period and shows that an integrated assessment of height, stem diameter, and shoot development identifies critical growth windows. We conclude that the 'Dorskamp' cultivar has high potential for energy use, provided that the established seasonal growth traits are taken into account. Further research should examine environmental drivers of growth intensity in poplar cultivars to enhance the efficiency of bioenergy plantations.

The article was prepared within the framework of the research and development project 2021.01/0416 "Introduction of climate-neutral innovations into agricultural nature management within the context of ecological and energy security of Ukraine" through grant support of the National Research Foundation of Ukraine.

Keywords: short-rotation plantations; poplar (*Populus*); 'Dorskamp' cultivar; seasonal growth dynamics; biomass; bioenergy potential.

Cite as: Haida, Y., Brych, V., Fuchylo, Y., Shuvar, A., Borysiak, O., Hrokholska, T., & Farion, M. (2025). Seasonal dynamics of growth and development of bioenergy crops in short-rotation plantations. *Economic analysis,* 35 (2), 542-554. DOI: https://doi.org/10.35774/econa2025.02.542