

УДК 581.13 : 630*17 : 582.475.4 : 631.811.98

МОДИФІКАЦІЯ ПОКАЗНИКІВ ВОДООБМІНУ І ВМІСТУ ФЕНОЛЬНИХ СПОЛУК В ПРОРОСТКАХ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ ЗА УМОВ ОБРОБКИ НАСІННЯ БІОСТИМУЛЯТОРОМ РОСТУ ТА МІКРОДОБРИВОМ

Ю.М. Савченко
аспірант*

І.П. Григорюк

доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент НАН України

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Передпосівне замочування насіння I, II і III класів якості у водних розчинах біостимулятора росту «Стимпо» й багатокомпонентного мікродобрива «Аватар-1» зумовлює оптимізацію показників водного режиму та підвищення вмісту сумарних фенольних сполук у проростках сосни звичайної.

Ключові слова: сосна звичайна, проростки, біостимулятор росту «Стимпо», багатокомпонентне добриво «Аватар-1», показники водообміну, фенольні сполуки.

Сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) — основна лісотвірна порода, яка займає майже третину лісів України і найпоширеніша на Поліссі, в північній частині Лісостепу та зрідка росте на піщаних терасах річок північної частини Степу. Зелені соснові насадження є потужним бар'єром і фільтром між довкіллям та людиною [1].

Останнім часом простежується масове всихання й загибель значної кількості насаджень сосни звичайної, які потребують суцільних рубок з подальшим залісненням. Вирощувати рослини сосни звичайної в урбанізованих умовах та умовах глобальних змін клімату складно й оптимально може відбуватися тільки при застосуванні новітніх технологій передпосівного оброблення насіння багатокомпонентними добривами та біостимуляторами росту нового покоління.

Рослини сосни звичайної здатні синтезувати значну кількість фенольних сполук, які беруть участь у формуванні механізмів стійкості проти біо- та абіотичних стресових чинників середовища [2]. Індукцію синтезу фенольних сполук, найчисленнішою групою яких є флавоноїди — катехіни, дегідрохалкони, флаванони, флаволи і флавонали [3], встановлено у відповідь на вплив патогенів, механічного uszkodження, УФ-випромінювання, інтенсивне освітлення, забруднення поллютантами, водний та температурний стреси [4]. З'ясовано властивості і значення фенольних сполук як ендогенних регуляторів фізіолого-біохімічних процесів у функціонуванні систем життєді-

яльності в рослинному організмі. Показано, що вони містять у своїй молекулі ароматичне (бензольне) ядро і 1 чи 2 або більше гідроксильних груп [5].

Фенольним сполукам відводять важливу роль у хімічній взаємодії рослин [6], які індують хімічні та фізичні бар'єри, локальний і системний сигналінг для експресії захисних генів [7]. Визначено високі їх антиоксидантні властивості і здатність до молекулярної взаємодії з біологічно активними речовинами, знешкодження гіперпродукції активних форм кисню в умовах оксидативного стресу [2]. Головний діючий агент, який забезпечує здатність фенольних сполук гальмувати вільнорадикальні процеси окиснення, є гідроксильна група, яка приєднана до ароматичного ядра з рухливим атомом водню. Рісткові реакції рослин на дію несприятливих чинників довкілля відбуваються на рівні мембран, які першими зазнають uszkodжень [2].

За певних умов фенольні сполуки можуть посилювати окиснювальний стрес у клітинах рослин. Феноксил-радикал, який продукується під час антиоксидантних реакцій та біосинтезу лігніну, є потенційним прооксидантом. Зазвичай феноксил-радикал швидко перетворюється на нерадикальні продукти завдяки полімеризації або ензиматичній редукції. Цитотоксичний ефект феноксил-радикала настає тоді, коли тривалість його існування подовжується спін-стабілізаторами [8]. Антиоксидантна функція фенолів реалізується на ранніх етапах стресової відповіді, а згодом їхнє надмірне нагромадження спричиняє гальмування ростових і фотосинтетичних процесів у тканинах рослин сосни звичайної. Активація фермент-

* Науковий керівник — доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент НАН України І.П. Григорюк.

них систем за стресових умов призводить до змін у складі вуглеводів, азотистих і фосфор-органічних сполук, жирів та поліфенольних сполук у рослинах [3].

Анти- та прооксидантні властивості фенольних сполук у багатьох видів рослин свідчать про важливість внутрішньоклітинного регулювання процесів метаболізму багатокомпонентними добривами та біостимуляторами росту на ранніх етапах онтогенезу рослин.

Дослідженню впливу передпосівного оброблення насіння різного класу якості біостимулятором росту «Стимпо» та багатокомпонентним добривом «Аватар-1» на показники водного режиму та нагромадження вмісту фенольних сполук у проростках сосни звичайної присвячена ця стаття.

Об'єктом дослідження було насіння сосни звичайної I, II і III класів якості, зібране нами в ДП «Недригайлівський агролісгосп» (Сумська обл.), ДП «Лебединське лісове господарство» (Сумська обл.) та ДП «Динанське ДЛМГ» (Полтавська обл.) у січні-лютому 2014–2015 рр.

У проведених нами лабораторних експериментах як біостимулятор росту застосовували «Стимпо», в основу дії якого покладено синергічний ефект взаємодії продуктів біотехнологічного культивування грибів-мікроміцетів з кореневої системи женьшенью і продуктів життєдіяльності бактерій *Streptomyces avermetilis* — аверсектину. До складу препарату входить біопрепарат з протипаразитарною дією, вуглеводи (глюкоза, рибоза, галактоза), близько 15 амінокислот, йони K, Mn, Mg, Fe і Cu, аналоги природних фітогормонів цитокинінової й ауксинової дії, поліненасичені жирні кислоти, відповідальні за утворення фітонцидів і фітоалексинів, та аверсектин.

Біостимулятор «Стимпо» належить до нетоксичних препаратів згідно з ГОСТ 12.1.007-76, який ініціює поділ клітин, розвиток кореневої системи, зниження фітотоксичної дії пестицидів, антимутагенної активності, підвищення стійкості рослин проти різноманітних стресів [9].

Як багатокомпонентне рідке мікродобриво використовували «Аватар-1», яке містить мікроелементи, хелатовані природними органічними кислотами, що збагачують ґрунт елементами мінерального живлення (Co — 0,00001–0,0025%, Cu — 0,01–0,08, Zn — 0,001–0,007, Fe — 0,0015–0,008, Mn — 0,0005–0,005, Mo — 0,00001–0,0025, Mg — 0,01–0,08%). У його складі наявні також карбоксилати на основі природних органічних кислот (винної, яблучної, фолієвої, бурштинової, малеїнової, фумарової, аскорбінової і лимонної або їхніх сумішей — 0,5–10 г/л), які необхідні для оптимізації процесів росту та розвитку рослин [10]. Карбокси-

лати біогенних елементів отримують з колідних розчинів хелатуванням наночастинок (30–70 нм) органічними кислотами до повного переходу елементів у йонну форму. Отримані водні розчини мають надзвичайно високий ступінь чистоти [11]. Добриво виготовляють згідно з ТУ У 24.1-37033728-001:2011 «Суміші мікродобрив. Технічні умови». Розробником нормативно-технічної документації, виробником та заявником добрива в Україні є ТОВ «НВК «АВАТАР» (Україна). У складі мікродобрива немає токсичних домішок (арсену, свинцю, кадмію, ртуті), природних (^{226}Ra , ^{232}Th ; ^{40}K) та техногенних радіонуклідів (^{137}Cs , ^{90}Sr). Доведено, що мікродобриво «Аватар-1» зумовлює підвищення імунітету, кількості цукрів, вітамінів, білків, жирів, засвоєння біологічного азоту атмосфери, процесів росту й розвитку, пригнічує розвиток патогенної ґрунтової мікрофлори тощо [11].

Насіння сосни звичайної I, II і III класів якості замочували у водних розчинах біостимулятора росту «Стимпо» й добрива «Аватар-1» у концентраціях 2,0 та 5,0 мл/л, які ми встановили нами дослідним шляхом. Контролем було насіння, замочене у водопровідній воді при кімнатній температурі 20–22 °C упродовж 24 год.

У 21-добових проростках сосни звичайної визначали акумуляцію вмісту води висушуванням у термостаті упродовж 4 год при температурі 105 °C [12], інтенсивність транспірації — ваговим методом і денний водний дефіцит (процес водообміну, за якого відбувається узгоджене надходження, рух і віддача води) [13, 14].

Сумарну кількість фенольних сполук визначали, аналізуювши за допомогою сканувального спектрофотометра Optizen Pop (Південна Корея) з використанням реактиву Фоліна-Чекольтеу [15] на 21 добу експерименту. Калібрувальний графік будували за галовою кислотою. Кількісний вміст флавоноїдів оцінювали в метанольних екстрактах (v/v — 1/10) за $\lambda = 419$ нм. До 300 мкл екстракту послідовно добавляли 200 мкл 0,1M розчину хлориду алюмінію (AlCl_3) і 300 мкл 1M ацетату натрію (CH_3COONa). За таких умов утворювалось блакитне забарвлення, яке було пропорційне кількості фенольних речовин. Як стандарт, використовували кверцетин (Sigma, Germany) [16]. Повторність дослідів чотирикратна. Результати експериментальних досліджень оброблено методами варіаційної статистики ANOVA.

Для вирішення актуальних проблем сільськогосподарства необхідна інформація щодо функціонування фізіолого-біохімічних систем,

у яких здійснюються процеси водообміну, фотосинтезу, дихання, транспорт елементів мінерального живлення, передача енергії тощо. Взаємозв'язок цих фундаментальних процесів зумовлює регуляторний вплив на системи стійкості рослин проти стресових чинників середовища [17].

Установлено зниження використання пулів води для гідратації сухого насіння і підтримання стабільного рівня обводнення тканин у процесі проростання. Значна її кількість у сухому насінні коливається в межах 5–18% залежно від класу його якості, фізіолого-біохімічних, анатомічних та морфологічних особливостей. Показано, що вода в повітряно-сухому насінні являє собою гетерофазну систему з різною мірою рухливості і міцності зв'язку молекул води з адсорбаційними центрами [17]. Водночас вона справляє вирішальний вплив на функціонування метаболічних процесів, збереженість, перероблення та харчові якості насіння [18].

У проведених нами лабораторних дослідках передпосівне замочування сухого насіння у водних розчинах біостимулятора росту «Стимпо» зумовило підвищення вмісту пулів води та фенольних сполук і зменшення величин денного водного дефіциту й інтенсивності транспірації 21-добових проростків сосни звичайної порівняно з контролем (таблиця).

Прослідковано чітку залежність між показниками водного режиму, кількістю сумарних фенольних сполук і класом якості насіння сосни звичайної. Характерно, що проростки, які вирощені з насіння I класу якості, відзна-

чались у контролі і варіантах із застосуванням біостимулятора росту «Стимпо» й мікродобрива «Аватар-1» вищими показниками обводнення та кількості фенольних сполук, а також нижчими — денного водного дефіциту й інтенсивності транспірації, ніж у насіння II та III класів. Збільшення величин водного дефіциту в проростках сосни звичайної, які вирощені з насіння II і III класів якості, відбувалося внаслідок зниження водозатримувальних сил і зростання втрат води на транспірацію. Зниження інтенсивності транспірації проростків сосни звичайної за умов передпосівного оброблення насіння різного класу якості біостимулятором росту «Стимпо» і мікродобривом «Аватар-1» пов'язано з відкриванням значної кількості продохів на псевдохвої, яка відзначалась високим тургорним потенціалом. Водночас у проростках рослин, вирощених із насіння сосни звичайної II і III класів якості, відбувалося швидше випаровування води й збільшення величини денного водного дефіциту, ніж у проростку із насіння I класу якості. Такі коливальні зміни зумовлені тим, що в рослинах, як саморегулюючій системі, постійно відбувається надходження, перерозподіл та оновлення пулів води, яка забезпечує необхідний рівень обводнення тканин, а залишкові її кількості витрачаються на транспірацію. З іншого боку, вищій рівень обводнення проростків сосни звичайної, які отримано з насіння I класу якості, пов'язано з розвинутішою асиміляційною поверхнею, міцнішим утриманням сховищ зв'язаної води і ширшим відкриттям продохів на світлі.

Ефективність впливу передпосівного оброблення насіння біостимулятором росту «Стимпо» і добривом «Аватар-1» на показники водообміну та вміст фенольних сполук у проростках сосни звичайної

Біостимулятор, добриво	Клас якості насіння*	Вміст води, %	Денний водний дефіцит, %	Інтенсивність транспірації, г·г ⁻¹ сирої речовини маси·год ⁻¹	Вміст фенольних сполук, мг/г маси сирої речовини
Контроль	I	76,5±1,5	19,2±0,2	1,28±0,7	24,4±1,0
Контроль	II	73,6±1,3	23,4±0,5	1,44±0,6	22,0±1,1
Контроль	III	70,4±1,2	25,7±0,7	1,58±0,5	20,9±1,2
«Стимпо»	I	78,5±1,8	16,3±0,4	0,86±0,3	27,2±1,1
«Стимпо»	II	80,4±1,4	14,0±0,8	1,02±0,5	23,1±1,2
«Стимпо»	III	82,2±1,3	11,8±0,3	1,30±0,4	20,2±1,3
«Аватар-1»	I	82,6±1,8	18,0±0,7	0,66±0,2	27,3±1,1
«Аватар-1»	II	84,6±1,6	20,0±0,9	0,78±0,3	23,7±1,2
«Аватар-1»	III	86,4±1,7	16,5±0,5	0,97±0,3	21,6±1,3

Примітка: * Клас якості насіння: I — високий, II — середній, III — низький.

У результаті поліфункціональної дії біостимулятора росту «Стимпо» і багатокомпонентного добрива «Аватар-1» ми визначили найінтенсивніше зростання в проростках сосни звичайної кількості фенольних сполук, які вирощені із насіння I класу якості (див. табл.). Однією з причин активізації рівня фенольних сполук може бути зростання в проростках ферменту фенілаланінаміакліази [2]. Із погіршенням ступеня якості насіння (з I до III класу) фенольні сполуки запобігають втрачати пулів вільної води в клітинних компартментах проростків сосни звичайної. За умов надмірного нагромадження кількості фенольних сполук простежується зменшення ступеня надходження азотистих сполук у тканини рослинного організму [8]. Виявлено стимулювальний вплив фенольних сполук на ауксиновий статус і ріст рослин на організменному рівні [19].

Отримані результати є теоретичною передумовою для вивчення механізмів впливу біостимуляторів росту і добрив нового покоління на реалізацію адаптивного потенціалу, функціонування ендогенних систем регуляції та оптимізацію продукційного процесу рослин сосни звичайної в стресових умовах.

ВИСНОВКИ

1. Передпосівне замочування насіння упродовж 24 год у водних розчинах біостимулятора росту «Стимпо» і багатокомпонентного добрива «Аватар-1» в концентраціях 2,0 і 5,0 мл/л зумовлює достовірне зниження величин денного водного дефіциту та інтенсивності транспірації, збільшення акумуляції вмісту пулів води та сумарних фенольних сполук у проростках сосни звичайної.

2. Роздільне їх застосування індукує неспецифічні реакції, спрямовані на формування високих значень фізіологічних показників у проростках сосни звичайної залежно від класу якості насіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Григорюк І.П. Біологічні основи оптимізації продукційного процесу деревних рослин у стресових умовах / І.П. Григорюк, П.П. Яворовський — К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013. — 278 с.
2. Колупаєв Ю.Є. Стресові реакції рослин (молекулярно-клітинний рівень) / Ю.Є. Колупаєв — Харків: Вид-во Харків. аграр. ун-ту, 2001. — 173 с.
3. Запрометов М.Н. Основы биохимии фенольных соединений / М.Н. Запрометов. — М.: Высш. шк., 1974. — 213 с.
4. Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants / R.M. Rivero, J.M. Ruiz, P.C. Garcia et al. // *Plant Science*. — 2001. — 160. — P. 315–321.
5. Бандюкова В.А. Распространение флавоноидов в некоторых семействах высших растений / В.А. Бандюкова // *Растительные ресурсы*. — 1969. — Вып. 4. — С. 590–600.
6. Rice E.I. Allelopathy / E.I. Rice — New York: Academic press, 1984. — 422 p.
7. Cross-protection of pepper plants stressed by copper against a vascular pathogen is accompanied by the induction of a defense response. / J. Chmeliowska, J. Veloso, J. Gutierrez, C. Silvar, J. Diaz // *Plant Science*. — 2010. — 178. — P. 176–182.
8. Dixon R.A. Stress-induced phenylpropanoid metabolism / R.A. Dixon, N.L. Paiva // *Plant Cell*. — 1995. — № 7. — P. 1085–1097.
9. Підвищення регуляторів росту імунітету рослин до патогенних грибів, шкідників і нематод / В.А. Циганкова, Я.В. Андрусевич, О.В. Бабаянц, С.П. Пономаренко, А.І. Медков, А.П. Галкін // *Физиология и биохимия культ. растений*. — 2013. — Т. 45 № 2. — С. 138–147.
10. Пат. на корисну модель 38230 Україна, МПК (2006) B01J 2/02, B01J 13/00, B22F 9/00. Спосіб отримання наночастинок електропровідних матеріалів і колоїдних розчинів наночастинок електропровідних матеріалів «Плазмова абляція» / М.В. Косінов, В.Г. Каплуненко; заявник і патентовласник М.В. Косінов, В.Г. Каплуненко. — № у 200810197; заяв. 08.08.2008: опубл. 25.12.2008, Бюл. № 24.
11. Evaluation of biological activity of microelement complex «Avatar-2» for its application for pre-treatment of wheat seeds / O.E. Davydova, M.D. Axylenko, V.I. Maksin, S.I. Kotenko, K.Y. Derevianko, V.I. Nikolaevska // *Биоресурси і природокористування*. — 2014. — Т. 6, № 5–6. — С. 72–78.
12. Гусев Н.А. Некоторые методы исследования водного режима растений / Н.А. Гусев — Л.: Лениздат, 1960. — 61 с.
13. Литвинов Л.С. О почвенной засухе и устойчивости к ней растений / Л.С. Литвинов. — Львів: Изд-во Львовск. ун-та, 1951. — 141 с.
14. Современные методы исследования и оценки засухо- и жароустойчивости растений (Методичное пособие) / И.А. Григорюк, В.И. Ткачев, С.В. Савинский, Н. Н. Мусиенко. — К.: Наук. світ, 2003. — 139 с.
15. Методы определения редокс-статуса культивируемых клеток растений / Г.В. Сибгатуллина, Л.Р. Хаертдинова, Е.А. Гумерова и др. — Казань: Казан. (Приволжск.) федеральн. ун-т, 2011. — 61 с.
16. Практикум по фармакогнозии / В.Н. Ковалев, Н.В. Попова, В.С. Кисличенко и др.; под ред. В.Н. Ковалева. — Х.: Золотые страницы, 2003. — 512 с.
17. Водный режим растений в связи с действием факторов среды / И.Г. Шматько, С.И. Слухай,

- Н.Н. Шевченко, И.А. Григорюк, О.Е. Шведова, Е.С. Ткачук, Н.И. Петренко; под общ. ред. И.Г. Шматько. — К.: Наук. думка, 1983. — 200 с.
18. Казаков Е.Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки / Е.Д. Казаков, В.Л. Крестович — М.: Колос, 1980. — 319 с.
19. Аллелопатическая функция фенольных соединений плодовых растений / П.А. Мороз, И.Ю. Осипова, В.А. Деревянко // Интродукция рослин. — 2006. — № 4. — С. 105–114.

УДК 338.48 (477)

СВІТОВИЙ ДОСВІД РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОГО ТУРИЗМУ НА РЕКРЕАЦІЙНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Н.М. Ступень

*кандидат економічних наук, доцент
доцент кафедри кадастру територій*

Національного університету «Львівська політехніка»

Проаналізовано світовий досвід розвитку екологічного туризму на рекреаційних територіях. Обґрунтовано заходи з адаптації світового досвіду екологічного туризму до умов вітчизняної економіки. Виявлено проблеми та розроблено напрями стратегічного розвитку екологічного туризму на рекреаційних територіях України.

Ключові слова: *екологічний туризм, розвиток, економіка, світовий досвід, рекреаційні території, адаптація.*

Попри те, що розвиток туризму в Україні за часів її незалежності демонструє позитивні тенденції, досі існують недостатньо вивчені проблеми, або ті, які лишаються майже непоміченими. Саме до таких відносять питання розвитку екологічного туризму, який на сьогодні отримав значну прихильність за кордоном та розвивається там уже не одне десятиліття. На жаль, вітчизняна наука про розвиток рекреаційних територій лише починає шлях свого становлення та вважається відносно молодю, як і сам предмет наукових досліджень — екологічний туризм. На початку XXI століття екологічний туризм впевнено посів своє місце в процесах інтеграції, що зумовило переформатування функціонування різних галузей економіки з урахуванням процесів становлення, розвитку та реалізації екологічних турів. Нині екологічний туризм розглядається як новий перспективний вид рекреації, пріоритетний напрям у державній екологічній політиці, інструмент економічного розвитку та екологічної безпеки країн та регіонів [7]. Однак узагальнений аналіз світового досвіду формування еколого-економічних основ розвитку екологічного туризму на рекреаційних територіях, а також проблеми регулювання та інвестиційного забезпечення ще не отримали належного відображення в сучасних наукових дослідженнях.

Дослідженню стану, проблем та перспектив розвитку екологічного туризму на рекреаційних територіях присвячено наукові праці багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених, зокрема: С. Сонька, Л. Гальківа, Л. Кобанця, О. Дмитрука, В. Кекушева, С. Нікогорова, В. Степаницького, Р. Браймера, Х. Годфри, Д. Дея, Д. Юрдана та ін. Поряд із тим низка науково-прикладних питань з адаптації світового досвіду у сфері екологічного туризму, з урахуванням природно-ресурсного потенціалу рекреаційних територій в Україні, потребують подальших наукових досліджень.

Мета статті — проаналізувати світовий досвід розвитку екологічного туризму на рекреаційних територіях та виявити можливості його адаптації до вітчизняних умов.

Світовий екологічний туризм за останні десятиліття розвивався доволі стрімко, і високий темп його розвитку забезпечив ефективне функціонування туристичного ринку та його стратегічний розвиток навіть за несприятливих економічних умов, фінансових криз та значного збільшення чинників ризику.

Аналізуючи вплив туристичної галузі на розвиток економіки загалом, необхідно чітко розмежовувати прямий та непрямий впливи. До прямого впливу відносять внески в економічне середовище, які здійснюють підприєм-