ВПЛИВ РУТИН-АМОНІЙНОГО КОМПЛЕКСУ НА ФІЗІОЛОГІЧНИЙ СТАН ПРОРОСТКІВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ

А. П. ПІНЧУК, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0003-1256-9838>, e-mail: a_pinchuk@nubip.edu.ua

І. В. ІВАНЮК, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0002-1493-976X>, e-mail: i_ivanyuk@nubip.edu.ua

М. О. ШЕВЧУК, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
<http://orcid.org/0000-0003-4740-0127>; e-mail: mar4ka_shevchuk@nubip.edu.ua

М. Ю. ДУБЧАК, кандидат сільськогосподарських наук
<https://orcid.org/0000-0002-9260-0251>, e-mail: masha_dubchak@nubip.edu.ua

А. Ф. ЛІХАНОВ, доктор біологічних наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0001-6580-7241>, e-mail: likhanov.bio@gmail.com
Національний університет біоресурсів і природокористування України

У рослинному організмі фенольні сполуки неспецифічно впливають на процеси морфогенезу і виконують широкий спектр регуляторних і захисних функцій. Особливий інтерес становлять процеси, які пов'язані з комплексотворенням флавоноїдів у результаті їхньої взаємодії з амонійними формами азоту. Полярні сполуки, які утворюються в тканинах у результаті хімічної трансформації, достатньо рухомі у ґрунтових розчинах і виявляють високу біологічну активність. Властивості фенол-амонійних комплексів викликають значне зацікавлення в аспекті морфогенезу, фізіології стійкості, а також у системі взаємодії рослин із ґрунтовими мікроорганізмами. Це також надзвичайно актуально при виробництві якісного та стійкого до несприятливих факторів садивного матеріалу.

Дослідження впливу фенол-амонійного комплексу проводили на насінні і проростках сосни звичайної. Кількісні показники енергії проростання та схожості визначали методом пророщування насіння. Біохімічне профілювання екстрактів тканин проростків виконували методом вискоєфективної тонкошарової хроматографії.

Експериментально підтверджено, що рутин (кверцетин-3-О-рутинозид) після взаємодії з 10 % водним розчином аміаку утворює комплекс речовин, серед яких методом хроматографії виявлено полярні продукти, які потенційно впливають на регуляцію росту. За сумарної концентрації 15 мг/л ці речовини достовірно підвищували показники енергії проростання та схожості насіння. У проростків сосни вони стимулювали ріст коренів і пагонів. Ефект дії комплексу органічних сполук на проростки залежав від концентрації, тривалості оброблення насіння і мав пролонговану дію. Отриманий фенол-амонійний комплекс за концентрацією 10–15 мг/л сприяв підвищенню кількості хлорофілів, каротиноїдів у тканинах проростків, а за 20–40 мг/л збільшував уміст продуктів фенольного синтезу.

Ключові слова: рутин, флавоноїди, амоній, регулятор росту, сосна звичайна, насіння.

Актуальність та аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з важливих складових синтезу вторинних метаболітів у рослинному організмі є фенольні сполуки (Lattanzio, 2013). Функції фенольних сполук над-

звичайно різноманітні й потребують всебічного вивчення (Buer et al., 2010; Caretto et al., 2015). Рослинні феноли виконують механічні, структурні та сигнальні функції, захищають тканини від УФ, виконують функції антиокси-

дантів, хелатують іони перехідних металів, виводять з організму радіоактивні елементи, захищають рослинний організм від дії несприятливих чинників, шкідників і патогенів (Blokhina et al., 2003; Naikoo et al., 2019; Tegelberg et al., 2001; Zagoskina & Nazarenko, 2016; Winkel-Shirley, 2002).

При отриманні садивного матеріалу значна увага нині приділяють вивченню фізіологічних реакцій рослин на дію біологічно активних речовин, органічних і мінеральних добрив, які використовують для покращення якості посадкового матеріалу та підвищення стійкості рослин до несприятливих чинників (Kovalevsky & Taranenko, 2013; Pinchuk, et al., 2017; Pinchuk & Likhanov, 2018).

Вторинний метаболізм більшості вищих рослин спрямований на активний синтез фенольних сполук. Утім, концентрація різних класів фенолів рослинних тканинах може суттєво відрізнятися. Зокрема, кількість фенолкарбонових кислот у листках співвідноситься з концентраціями фітогормонів. Це пояснюється тим, що оксикоричні й оксибензойні кислоти неспецифічно впливають на процеси морфогенезу (Santelia, 2008; Volynec, 2013) і виконують широкий спектр регуляторних і захисних функцій (Zaprometov, 1993; Grana et al., 2017). Для розуміння ролі окремих оксикоричних і оксибензойних кислот, а також флавоноїдів значний інтерес становить моделювання умов їхнього індивідуального та комплексного впливу на рослинний організм. Крім того, важливими, але малодослідженими є процеси, які пов'язані з комплексотворенням фенольних сполук, зокрема флавоноїдів, у тканинах рослин, а також у ризосфері під час їх надходження до ґрунту (Grodzinsky, 1973; Boyer et al., 1989).

Фенольні сполуки активно виділяються фізіологічно активними зонами коренів. Деякі флавоноїди (зокрема, кверцетин і його глікозиди) мають високу реакційну здатність до катіонів амонію (Likhanov et al., 2021). Полярні сполуки, які утворюються в результаті хімічної трансформації поліфенолів, достатньо рухомі у ґрунтових розчинах і виявляють високу біологічну активність (Melnychuk et al., 2011). Їхній вплив на ростові процеси, формування кореневої системи, синтез пластидних пігментів і продуктів вторинного метаболізму спостерігається вже за концентрації 20 мкг/мл. Подібний ефект, наприклад, підтверджений для кемпферол-3-О- β -D-глюкозиду. Збільшення його концентрації від 15 мкг/мл і вище посилювало видовження пагонів *Echinochloa colonum* L. (Li Jun, 2011). Сучасні дослідження також підтверджують, що інвазійні рослини *Triadica sebifera* (L.) Small відрізняються високим вмістом кверцетину в кореневих ексудатах. Припускають, що у складі ексудатів саме цей флавонол є ключовим у сигнальних взаємодіях рослини з мікоризоутворювальними грибами та іншими ґрунтовими мікроорганізмами (Anand et al., 2016; Tian, 2021).

Мета дослідження. У зв'язку з тим, що біологічну активність сполук, які утворюються внаслідок взаємодії флавонолів з амонійними формами азоту, вивчено недостатньо, метою цієї роботи було дослідити вплив рутин-амонійного комплексу на фізіологічний стан проростків сосни звичайної.

Матеріали і методи дослідження.

Отримання полярних комплексів на основі рутину з водним розчином аміаку. Пробірку з наважкою 10 мг рутину (Merck, Germany) перемішували на вортексі у 300 мкл бідистильованої води протягом 60 с. Потім до-

давали 100 мкл 10 % водного розчину аміаку і перемішували 30–40 с до повного розчинення рутину. Отриманий розчин набував насичено коричневого кольору. Об'єм розчину доводили бі-дистильованою водою до 1 мл і зберігали за +4°C. Отриманий стоковий розчин містив 10 мг/мл полярних сполук. Для досліджень впливу рутин-амонійного комплексу на насіння і проростки сосни звичайної вихідний розчин розводили дистильованою водою. Насіння перед пророщуванням замочували у підготовлених розчинах (концентрація – 10, 15, 20 і 40 мкг/мл) на 3 і 24 год.

Метод визначення енергії проростання і схожості насіння сосни звичайної. Визначення енергії проростання та схожості насіння сосни звичайної здійснювали за ДСТУ 8558:2015 «Насіння дерев і кущів. Методи визначення посівних якостей (схожості, життєздатності, доброякісності)» (SSU, 2015). Пророщування насіння проводили у апаратах Якобсена із фотоперіодом 12 годин за постійної температури лежа (22±2°C). Насіння сосни звичайної, підготовлене до пророщування, розкладали на ложе по 100 насінин, не допускаючи доторкання одне до одного, з метою уникнення передавання зараження від хворих до здорових насінин. Після розкладання насіння однієї середньої проби, робочу поверхню, ложе, ковпачок і пінцет дезінфікували спиртом. Для визначення показників енергії проростання та схожості закладали 4 проби у трикратній повторюваності. Оцінювання та облік пророслого насіння проводили на 5, 7, 10 та 14 дні. Визначення енергії проростання для насіння сосни звичайної здійснювали на 7 день, схожості – на 14 день.

Методи високоефективної тонкошарової хроматографії. Біохімічне

профілювання екстрактів із тканин проростків сосни звичайної виконували методом ВЕТШХ на пластинках силікагель G60 (Merck, Німеччина).

Розділення флавоноїдів проводили в системах розчинників: етилметилкетон–етилацетат–метанол–вода (v/v/v/v – 30:20:5:5); етилацетат–мурашина кислота–оцтова кислота–вода (v/v/v/v – 100:11:11:25). Для визначення хімічної природи речовин хроматограми обробляли 0,5 % NP реагентом і 1 % ПЕГ 400 із наступним нагріванням (5 хв за температури 105°C).

Розділення хлорофілів, каротиноїдів і ксантофілів виконували у системі: толуол–етилацетат–мурашина кислота (v/v/v – 2:6:1). Візуалізацію фенольних сполук і пластидних пігментів виконували в УФ за $\lambda_{\max} = 365$ нм.

Коефіцієнти рухомості індивідуальних сполук (Rf) визначали фотоденситометрично за використання комп'ютерної програми Sorbfil TLC Videodensitometer ver. 2.3.0.2994 (JSC Sorbopolymer, РФ).

Статистичне оброблення даних. Отримані дані були представлені як середнє значення ± стандартна похибка ($x \pm SE$). Достовірність відмінностей між середніми значеннями ($p < 0,05$) визначали методом однофакторного дисперсійного аналізу (one-way ANOVA) та апостеріорного тесту Тьюкі (HSD) у програмі XLSTAT (Addinsoft Inc., США, 2010).

Результати дослідження та їх обговорення. Експериментально підтверджено, що рутин (кверцетин-3-О-рутинозид) після взаємодії з 10 % водним розчином аміаку утворює комплекс речовин, у складі якого є продукти, які відіграють важливу роль у регуляції процесів росту і розвитку рослини. Хроматографічні дослідження підтвердили, що після взаємодії рутину з водним розчином аміаку утворюються

5 нових продуктів, які за коефіцієнтами рухомості (R_f) належать до середньополярних і полярних речовин (рис. 1).

Рис. 1. Хроматограма рутин-амонійного комплексу до (а) та після (в) оброблення NP-реагентом; стандартний розчин рутину до (б) та після (г) оброблення; стрілками позначено біоактивні речовини-кандидати

За 72 год у отриманому розчині рутин не було виявлено. Отже, з часом відбувалась повна біохімічна трансформація флавонолу. На хроматограмі після оброблення NP-реагентом у незначній кількості виявлено два продукти з $R_f \sim 0,53$ і $0,58$, з характерною для флавонолів флуоресценцією в УФ ($\lambda = 365$ nm). Високополярна сполука з яскраво блакитною флуоресценцією з $R_f \sim 0,18$ і речовина, яка залишилась на стартовій лінії, були доволі стабільними. Це дає підстави розглядати їх як речовини-кандидати з високою біологічною активністю і здатністю впливати на ростові процеси рослин. Ефект залежить від концентрації розчину рутин-амонійного комплексу. Пролонгований вплив свідчить про здатність розчинних у воді полярних сполук, які

входять до складу фенол-амонійного комплексу, проникати крізь оболонки насінини у живі тканини, стабільно в них утримуватися і далі брати участь у регуляції росту коренів.

Зокрема, попереднє оброблення насіння сосни звичайної різним розведенням вихідного розчину рутин-амонійного комплексу засвідчило, що за концентрації 10 мкг/мл показники енергії проростання і схожості достовірно не вирізняються від контролю (табл. 1).

1. Вплив рутин-амонійного комплексу на енергію проростання і схожість насіння сосни звичайної ($n = 3$, $\bar{x} \pm SE$)

Концентрація, мкг/мл	Енергія проростання, %	Схожість, %
0 (контроль)	$58,0 \pm 1,73$	$69,7 \pm 1,45$
10	$60,3 \pm 0,88$	$72,0 \pm 1,15$
15	$67,7 \pm 1,45^{**}$	$78,0 \pm 1,73^{*}$
20	$64,0 \pm 0,59^{*}$	$72,3 \pm 1,45$
40	$52,0 \pm 1,15^{*}$	$63,7 \pm 2,03$

Примітка: достовірність відмінностей оцінювали за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу та апостеріорного тесту Тьюкі (HSD); * – різниця з контролем достовірна за $p < 0,05$, ** – за $p < 0,01$.

За підвищення концентрації комплексу активних речовин у розчині до 15 і 20 мкг/мл ці показники підвищуються, але достовірно знижуються, коли концентрація досягає 40 мкг/мл. Подальші спостереження за процесами проростання і формуванням проростків дали змогу виявити пролонговану дію органічних сполук (рис. 2).

Замочування насіння у розчинах із різною концентрацією на 24 год стимулювало ріст проростків. За концентрації 10 і 20 мкг/мл чутливішими до біоактивних речовин були процеси росту стебел і сім'ядолей (рис. 3, а).

Рис. 2. Проростки сосни звичайної після оброблення насіння сосни звичайної рутин-амонійним комплексом (1 – 2 год; 2 – 24 год); лінійка – 20 мм; а – контроль; б, в, г, д – проростки, які було попередньо оброблено розчинами концентрацією 10, 15, 20 і 40 мкг/мл відповідно

Рис. 3. Вплив рутин-амонійного комплексу на показники росту коренів і пагонів (а) та їхнього співвідношення (б) у проростків сосни звичайної

За умов підвищення концентрації фенольних сполук швидкість росту стебел уповільнювалась, а коренів, навпаки, зростала (рис. 3, б). Різниця у ростових процесах коренів і пагонів свідчить про наявність у рослинному організмі певної тканиноспецифічності,

яку зумовлено анатомічною будовою і функціями надземних і підземних органів.

Стимуляція розвитку кореневої системи є важливим елементом стратегії виживання рослин в умовах жорсткої конкуренції за просторові ресурси та

Рис. 4. Фотоденситограми пластидних пігментів у сім'ядолях проростків сосни звичайної на 14-ту добу пророщування; б – контроль; в, г, д, е – фотоденситограми екстрактів проростків, які було попередньо оброблено розчинами з концентрацією 10, 15, 20 та 40 мкг/мл відповідно; стрілками показано піки, що за своєю площею суттєво вирізняються від контрольної групи

поживні речовини, особливо в умовах дефіциту вологи. Для адвентивних видів із широкою амплітудою пристосувальних реакцій активне формування кореневих систем є однією з основних стратегічних ознак, яка забезпечує успішну натуралізацію рослин у нових для них умовах.

Також виявлено значний вплив рутин-амонійного комплексу на якісний

склад фотосинтетичних пігментів, які входять до світлозбиральних комплексів і допоміжних пігментів – ксантофілів та каротиноїдів. У проростків сосни звичайної, які були оброблені розчином з концентрацією 10 і 15 мкг/мл, загальна кількість пластидних пігментів збільшувалась (рис. 4, а, в, г). Підвищувалась також кількість хлорофілів а і б.

За якісним складом фенольних сполук виявлено іншу тенденцію. За умов збільшення концентрації фенол-амонійного комплексу кількість фенолів у тканинах проростків збільшувалась (рис. 5).

Рис. 5. Хроматограма фенольних сполук проростків сосни звичайної на 14-ту добу пророщування; *к* – контроль, *1–4* – екстракти рослин після оброблення насіння рутин-амонійним комплексом концентрацією 10, 15, 20 і 40 мкг/мл відповідно; стрілками показано флавоноїди, вміст яких значно більший за контроль

За умов оброблення насіння розчином концентрацією 20 і 40 мкг/мл у метанольних екстрактах значно підвищувався вміст флавоноїдів із $R_f \sim 0,63$ і $0,71$ (рис. 5, 3, 4). Сполуку з $R_f \sim 0,43$ виявлено виключно в екстрактах проростків, які обробляли розчином 20 мкг/мл. Оброблення насіння рутин-амонійним комплексом з найменшою концентрацією викликало протилежний ефект. За таких умов якісний склад і загальний пул фенольних спо-

лук у тканинах проростків зменшувалась (рис. 5, 1).

Протилежну залежність синтезу фенолів і терпеноїдів може бути зумовлено різними шляхами синтезу цих сполук, окрім флавоноїдів, утворення яких може бути конкурентним із каротиноїдами за спільний для відповідних ферментів субстрат. Каротиноїди – полієнові похідні ізопрену, молекули яких мають подвійні зв'язки. Ці пігменти локалізовані переважно в хлоропластах, де вони синтезуються із ацетил-KoA (Della Penna, Pogson, 2006). Більшість рослинних фенолів утворюються з шикимової кислоти в хлоропластах та цитозолі. Водночас синтез флавоноїдів, як і каротиноїдів, також можливий із ацетил-CoA за умов його карбоксилювання в ацетил-KoA-карбоксилазу і подальшим утворенням малоніл-KoA, який є субстратом для синтезу флавоноїдів. Отже, нагромадження у проростках флавоноїдів на фоні одночасного зниження вмісту каротинів і ксантофілів може свідчити про здатність фенол-амонійного комплексу вибірково впливати на ферментні системи, відповідальні за синтез речовин, які утворюються з ацетил-KoA.

Висновки і перспективи. Глікозид кверцетину рутин (кверцетин-3-О-рутинозид) після взаємодії з водним розчином 10 % аміаку утворює комплекс середньо- і високополярних органічних сполук із високою біологічною активністю.

Ці речовини за умов оброблення насіння сосни звичайної здатні впливати на показники енергії проростання, схожості, а в подальшому на ріст проростків. Ефект дії комплексу органічних сполук, що утворюються з рутин-амонійного комплексу, залежить від концентрації і тривалості оброблення насіння.

Розчин із концентрацією 15 мкг/мл підвищує показники проростання насіння, за концентрації 10 і 15 мкг/мл сприяє синтезу пластидних пігментів. Загальний пул фенольних сполук підвищується за умов оброблення насіння розчинами із концентраціями 20 і

40 мкг/мл. Отже фенол-амонійний комплекс здатний регулювати процеси росту і розвитку, а також впливати на вторинний метаболізм проростків сосни звичайної. Виявлені ефекти розкривають новий, ще маловивчений аспект ролі флавоноїдів у рослинному організмі.

Список літератури

- Anand D., A., Arulmoli, R., & Subramani, P. (2016). Overviews of Biological Importance of Quercetin. *A Bioactive Flavonoid Pharmacognosy Reviews*, 10 (20), 84–89.
- Blokhina, O., Virolainen, E., & Fagerstedt, K. V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Ann. Bot.*, 91, 179–194.
- Boyer, R. F., Clark, H. M., & Sanchez, S. (1989). Solubilization of ferrihydrite iron by plant phenolics: a model for rhizosphere processes. *J. Plant Nutr.*, 12, 581–592.
- Buer, C. S., Imin, N., & Djordjevic, M. A. (2010). Flavonoids: new roles for old molecules. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52 (1), 98–111.
- Caretto, S., Linsalata, V., Colella, G., Mita, G., & Lattanzio, V. (2015). Carbon fluxes between Primary Metabolism and Phenolic Pathway in Plant Tissues under Stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 16, 26378–26394.
- DellaPenna, D., Pogson, B. J. (2006). Vitamin synthesis in plants: tocopherols and carotenoids. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57 (1), 711–738.
- Grana, E., Costas-Gil, A., Longueira, S., Celeiro, M., Teijeira, M., Reigosa, M. J., & Sanchez-Moreiras, A. M. (2017). Auxin-like effects of the natural coumarin scopoletin on *Arabidopsis* cell structure and morphology. *Journal of Plant Physiology*, 218, 45–55.
- Grodzinsky, A. M. (1973). *Fundamentals of chemical interaction of plants*. Kiev: Naukova Dumka [in Ukrainian].
- Kovalevsky, S. B., Taranenko, Yu. H. (2013). Growing seedlings of Scots pine with plant growth regulators and composite fertilizers. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhniceskoj akademii*, 204, 47–55 [in Russian].
- Lattanzio, V. (2013). Phenolic Compounds: Introduction. In K. G. Ramawat, & J. M. Merillon (Eds.), *Handbook of Natural Products*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Li, Jun, Ye, Yonghao, Huang, Hongwu, & Dong, Liyao. (2011). Kaempferol-3-O- β -D-glucoside, a potential allelochemical isolated from *Solidago canadensis*. *Allelopathy Journal*, 28 (2), 259–266.
- Likhanov, A., Oliynyk, M., Pashkevych, N., Churilov, A., & Kozyr, M. (2021). The Role of Flavonoids in Invasion Strategy of *Solidago canadensis* L. *Plants*, 10, 1748 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.3390/plants10081748>
- Melnichuk, M., Grigoriuk, I., Likhanov, A., Kliuvadenko, A., & Drozd, P. (2011). Allelopathic potential of leaf litter of plants English Oak (*Quercus robur* L.) and European Hornbeam (*Carpinus betulus* L.). *Bioresources and nature management*, 3 (3–4), 5–14 [in Ukrainian].
- Naikoo, M. I., Dar, M. I., Raghib, F., Jaleel, H., Ahmad, B., Raina, A., & Naushin, F. (2019). Role and Regulation of Plants Phenolics in Abiotic Stress Tolerance. *Plant Signaling Molecules*, 157–168.
- Pinchuk, A. P., & Likhanov, A. F. (2018). Influence of different extranutrition conditions on phenolic compounds synthesis and pigmental complex of Scots pine seedlings needles. *National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Forestry and decorative gardening*, 288, 97–107 [in Ukrainian].
- Pinchuk, A. P., et al. (2017). The influence of cerium dioxide nanoparticles on germination of seeds and plastic exchange of pine seedlings (*Pinus sylvestris* L.). *Biotechnologia Acta*, 10 (5), 63–71 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/biotech10.05.063>
- Santelia, D., Henrichs, S., Vincenzetti, V., Sauer, M., Bigler, L., Klein, M., Bailly, ... & Martinoia, E. (2008). Flavonoids redirect PIN-mediated polar auxin fluxes during root gravitropic responses. *The J. of Biological Chemistry*, 283 (45), 31218–31226.
- SSU 8558:2015 (2015). Seeds of trees and shrubs. Methods for seed testing (germination, viability, benign). Kyiv [in Ukrainian].
- Tegelberg, R., Julkunen-Tiitto, R., & Aphalo, P. J. (2001). The effects of long-term elevated UV-B on the growth and phenolics of field-grown silver birch (*Betula pendula*). *Glob. Chang. Biol.*, 7, 839–848.
- Tian, B., Pei, Y., Huang, W., Ding, J., & Siekmann, E. (2021). Increasing flavonoid concentrations in root exudates enhance associations between arbuscular mycorrhizal

- fungi and an invasive plant. *The ISME Journal*, 15, 1919–1930.
- Volynec, A. P. (2013) *Phenolic compounds in the life of plants*. Minsk: Belarus. nauka [in Russian].
- Winkel-Shirley, B. (2002). Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 5, 218–223.
- Zagoskina, L. V., & Nazarenko, N. V. (2016). Active oxygen species and antioxidant system of plants. *Vestnik Moscow City University. Natural Sciences*, 2 (22), 9–23 [in Russian].
- Zaprometov, M. N. (1993). *Phenolic compounds. Distribution, metabolism and function in plants*. Moscow: Nauka [in Russian].
-

**Pinchuk A. P., Ivanyuk I. V., Shevchuk M. O., Dubchak M. Yu., Likhanov A. F.
INFLUENCE OF RUTIN-AMMONIUM COMPLEX ON THE PHYSIOLOGICAL
CONDITION OF PINE SEEDLINGS**

In the plant body, phenolic compounds nonspecifically affect the processes of morphogenesis and perform a wide range of regulatory and protective functions. Of particular interest are the processes involved in the complexation of flavonoids as a result of their interaction with ammonium forms of nitrogen. Polar compounds, which are formed in tissues as a result of chemical transformation, are quite mobile in soil solutions and show high biological activity. The properties of phenol-ammonium complexes are of considerable interest in terms of morphogenesis, physiology of stability, as well as in the system of interaction of plants with soil microorganisms.

Studies of the effect of phenol-ammonium complex were performed on seeds and seedlings of Scots pine. Quantitative indicators of germination energy and germination were determined by seed germination. Biochemical profiling of seedling tissue extracts was performed by high-performance thin layer chromatography.

It has been experimentally confirmed that rutin (quercetin-3-O-rutinoside) after interaction with 10 % aqueous ammonia solution forms a complex of substances, among which the chromatography revealed polar products that potentially affect the regulation of growth. At a total concentration of 15 mg/l, these substances significantly increased germination energy and seed germination. In pine seedlings, they stimulated the growth of roots and shoots. The effect of the complex of organic compounds on seedlings depended on the concentration, duration of seed treatment and had a prolonged effect. The obtained phenol-ammonium complex at a concentration of 10-15 mg/l contributed to an increase in the amount of chlorophylls, carotenoids in the tissues of seedlings, and at 20-40 mg/l increased the content of phenolic synthesis products.

Keywords: rutin, flavonoids, ammonium, growth regulator, Scots pine, seeds.

Отримано: 2021-11-05