

УДК 574.4:550.47

Бедернічек Т.Ю.

## **ШВИДКІСТЬ ДЕСТРУКЦІЇ РОСЛИННОГО ОПАДУ: ПРОБЛЕМИ ПОРІВНЯННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ**

*Швидкість деструкції рослинного опаду є одним із основних функціональних параметрів наземних екосистем. Її кількісна оцінка є необхідною для моделювання динаміки органічної речовини в наземних екосистемах та біогеохімічних циклів хімічних елементів. Проте, зважаючи на відсутність загальноприйнятих стандартів та методичних рекомендацій щодо визначення цього параметру – у науковій літературі накопичилось багато експериментальних даних, які складно, а інколи неможливо порівнювати чи узагальнювати. У цьому дослідженні проаналізовано основні методичні проблеми визначення швидкості деструкції опаду. Запропоновано шляхи уніфікування методів досліджень та способи підвищення достовірності та репрезентативності очікуваних результатів на етапі планування експерименту.*

**Ключові слова:** *редуценти, опад, деструкція, дуб червоний, катаболізм.*

Швидкість розкладу рослинного опаду є один із основних параметрів, на підставі якого можна оцінити ефективність функціонування наземних екосистем [3, 5]. Зокрема, цей показник покладено в основу багатьох популярних моделей динаміки органічної речовини у біогеоценозах, серед яких CENTURY, ROMUL та EFIMOD [4]. Проте використання цих та багатьох інших моделей як і їхнє впровадження пов'язане з проблемами параметризації вхідних даних і, насамперед, з відсутністю загальноприйнятих стандартів із оцінки швидкості деструкції рослинного опаду. Дослідники часто модифікують і без того численні методики, обираючи на свій розсуд довільні фракції опаду, час інкубування, період закладення досліду тощо [1]. Це призводить до накопичення у науковій літературі великої кількості експериментальних даних, які часто не коректно порівнювати через істотні відмінності у методичних підходах, що були застосовані авторами.

### **Матеріали і методи**

У цьому дослідженні нами аналізуються основні проблеми, пов'язані з оцінкою швидкості деструкції рослинного опаду в контрольованих (інкубаційні експерименти) та природних умовах. Розглянуто фактори, що впливають на інформативність та достовірність експериментальних даних та запропоновано шляхи уніфікації існуючих методів оцінки швидкості деструкції опаду.

Об'єктом дослідження обрано опад дуба червоного (*Quercus rubra* L.) Цей вибір пов'язаний зі значним поширенням цього виду у світі і, як наслідок, великими масивами даних по темпах деструкції опаду, які мали б забезпечити достатню базу для порівнянь.

### Результати та обговорення

З наведених у таблиці даних видно, що навіть вивчаючи опад одного виду автори істотно змінюють умови проведення експерименту, зокрема найголовнішу – час закладення дослідів. Різниця навіть в один місяць (жовтень – листопад) може призвести до істотних похибок та труднощів інтерпретації отриманих даних. Це пов'язано, насамперед, із гідротермічними умовами, які помітно змінюються упродовж осені тощо. Похідною від цього параметру є також і активність ґрунтової мезофауни та мікроорганізмів. Відповідно, зразки закладені, наприклад у жовтні, листопаді та грудні відрізнятимуться не лише за температурою та вологістю – у їхній деструкції братимуть участь різні організми.

Таблиця

Умови проведення досліджень швидкості деструкції опадів *Quercus rubra*

Автор	Час закладення дослідів	Розмір пор, Мм	Періодичність відбору зразків
Aber et al. [6]	жовтень	2,0; 1,0	3 місяці
Holdsworth et al. [10]	червень	1,5; 6,0	2 місяці
Frost & Hunter [8]	травень, липень, вересень	1,0	3 місяці
Dobrylovska [7]	квітень, серпень, грудень	1,0	56 днів
Straigyte & Zalkauskas [14]	листопад	1,4	3 місяці
Pouyat & Carreiro [13]	листопад	1,7	3 місяці, 5 місяців
Gartner & Cardon [9]	грудень	1,0	3 місяці
Kim et al. [11]	листопад	1,5; 0,425	3 місяці

Іншим важливим показником, який істотно варіює у дослідженнях різних авторів є властивості матеріалу, з якого виготовлені ємності для інкубування зразків (litter bags). Навіть якщо припустити, що вплив самого матеріалу (нейлон, капрон, фіберглас) є незначним, то різницею у розмірі пор (діаметрі отворів), що використовується різними авторами, знехтувати не можна. Діапазон 0,425-6 мм (таблиця) є дуже великим і навіть 1-2 мм слід вважати достатнім щоб істотно вплинути на видовий склад та чисельність деструкторів, і перш за все на дощових черв'яків [10].

Третім важливим параметром, який часто автори визначають на свій розсуд, є періодичність відбору зразків. З наведених у таблиці даних видно, що він може складати 2, 3 чи 5 місяців тощо. Основною метою проведення повторних відборів є розрахунок кінетичних параметрів мінералізації опадів і, зокрема, експоненційної константи мінералізації  $k$  за Olson [12]. Її визначають переважно із розрахунку на один рік, хоча трапляються й інші часові інтервали (сезони, фази мінералізації тощо) [6]. Як і у випадку з часом закладення дослідів, гідротермічні умови мінералізації та видовий склад і чисельність деструкторів через проміжки у два і три місяці можуть

істотно відрізнятись. Тому, отримані експоненційні залежності порівнювати некоректно.

Перелік наведених вище чинників, не є вичерпним. Отримання належної бази для порівнянь та узагальнень потребує врахування багатьох додаткових умов, до яких, крім згаданих вище слід віднести:

- час (місяць) відбору зразків (впливає на C/N співвідношення, вміст лігніну, целюлози, водорозчинних органічних сполук, алелохімікатів);
- дисперсність опаду (штучне подрібнення опаду до закладення досліду, яке імітує участь ґрунтової мезофауни, призводить до значного збільшення питомої поверхні досліджуваних зразків);
- місце інкубування зразків (на поверхні підстилки, між шарами підстилки, у гумусовому горизонті ґрунтів тощо, під кронами дерев чи на узліссі тощо);
- маса вихідного зразка (зразок масою 10 г буде розкладатись повільніше, ніж 3 г через неоднакову щільність прилягання рослинного матеріалу до зон високої концентрації мікроорганізмів, наприклад, у лісовій підстилці);
- вологість зразка (відібраний опад попередньо висушують і зважують, а використовують для закладення досліду опад або сухий, або доведений до польової вологості);
- попередня інокуляція (в окремих дослідженнях висушений та зважений опад звожують до закладення досліду не дистильованою водою, а водними екстрактами з лісової підстилки);
- температура висушування (висушування зразків опаду при температурі вищій за 65-70°C призводить до пошкодження клітинних стінок мікроорганізмів, що встигли заселити листову поверхню і сповільнюють у такий спосіб подальшу деструкцію рослинного матеріалу).

Врахування цих показників є обов'язковою умовою для отримання експериментальних даних придатних до узагальнення та порівняння з результатами інших авторів. Водночас, значно нижчі вимоги слід застосовувати до досліджень факторних впливів. Наприклад, Frost & Hunter [8] вивчали вплив екскрементів комах на швидкість деструкції опаду дуба червоного. Зрозуміло, що такі дослідження спрямовані на вивчення впливу якогось одного чинника і передбачають можливість порівняння контрольної та дослідної груп за певними групами ознак. Часто, вони не мають на меті і не передбачають порівняння з результатами інших авторів. У всіх інших випадках, для достовірного розділення сигналу та шуму [2] слід враховувати максимум умов проведення експерименту та шукати можливості порівняння з результатами інших дослідників.

Розробка детального алгоритму оцінки швидкості деструкції опаду є темою окремого дослідження. Ця ж публікація спрямована на огляд основних проблем, з якими стикається дослідник при інтерпретації та узагальненні результатів досліджень та пошук шляхів уникнення цих проблем за проведення власних експериментів. На сьогодні, доки ще не існує стандартів проведення таких досліджень пропонуємо такий порядок, який дозволить максимально підвищити достовірність та "порівнюваність" отриманих даних:

i) *вибір "системи координат"*. Дуже часто американські та європейські дослідники, а також автори з пострадянських країн використовують принципово відмінні методики дослідження швидкості деструкції опадів. Тому, на етапі планування експерименту слід вибрати якого напрямку дотримуватись;

ii) *пошук аналогів*. Доцільно провести огляд наявних публікацій за темою дослідження і спланувати експеримент таким чином, щоби він відповідав максимально поширеним, в межах обраного напрямку, умовам: якщо більшість авторів використовує нейлонові мішечки з діаметром отворів 1,5 мм, то не доцільно брати капронові з отворами в 1 мм тощо;

iii) *пошук "спільного знаменника" або декомпозиція параметрів*. Якщо у науковій літературі трапляється багато даних по кінетиці розкладу опадів конкретного виду з періодичністю відбору зразків як у два, так і в три місяці – доцільно проводити відбір щомісяця. Це підвищує трудомісткість дослідження, але отримані у такий спосіб дані коректно порівняти як з першою, так і з другою групою результатів;

iv) *повторення*. Мінімальна кількість повторень, яку доцільно використовувати у дослідженнях швидкості розкладу опадів – це п'ять. Експерименти з меншою кількістю рідко дозволяють виявити відмінності достовірні на 5% рівні значущості ( $p \leq 0,05$ );

v) *лише опад!* Поширеною практикою є визначення швидкості розкладу целюлози (смужки фільтрувального паперу, ватману, льону тощо), після чого отримані значення перемножують на вміст целюлози в опаді й у такий спосіб визначають "кінетику розкладу опадів". Такий підхід є некоректним і застосовуватись не повинен.

### **Висновки**

Значний інтерес науковців до кількісної оцінки швидкості деструкції опадів та відсутність уніфікованих методик призвів до накопичення значної кількості експериментальних даних, які некоректно порівнювати чи узагальнювати.

Для демонстрування істотних методичних невідповідностей у підходах сучасних дослідників проаналізовано дослідження з оцінки швидкості деструкції опадів опубліковані авторами зі США, Європи та Австралії. З'ясовано, що часто дослідники на свій розсуд визначають важливі вихідні умови для проведення інкубаційних експериментів, серед яких час закладення дослідів (квітень-грудень), діаметр пор матеріалу (0,425-6 мм) в який поміщено зразки опадів тощо.

Зразки відбирають через неоднакові проміжки часу (2 – 3 – 5 місяців), тому часто навіть значення основного показника швидкості деструкції – експоненційної константи деструкції (мініралізації)  $k$ , отримані різними авторами для одного проміжку часу, некоректно порівнювати.

Серед важливих умов, що впливають на швидкість деструкції опадів виділено: час відбору зразків, час закладення дослідів, дисперсність опадів, діаметр пор матеріалу в якому інкубують зразки, масу та вологість зразка, проведення попереднього інокулювання, місце інкубування, температуру висушування опадів.

Для підвищення достовірності та репрезентативності очікуваних результатів досліджень доцільно враховувати популярні методичні підходи та планувати експеримент таким чином, щоби мати змогу використовувати якнайширшу базу порівнянь.

1. Бедернічек Т.Ю., Гамкало З.Г. Лабільна органічна речовина ґрунту: теорія, методологія, індикаторна роль. – К.: Кондор, 2014. – 180 с.
2. Карелин Д.В., Замолодчиков Д.Г. Углеродный обмен в криогенных экосистемах. – М.: Наука, 2008. – 344 с.
3. Керженцев А.С. Функциональная экология. – М. Наука, 2006. – 259 с.
4. Кудяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А. и др. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. – М.: Наука, 2007. – 315 с.
5. Чорнобай Ю.М. Трансформація рослинного детриту в природних екосистемах. – Львів, Вид.-во ДПМ НАН України, 2000 – 352 с.
6. Aber J.D., Melillo J.M., McLaugherty C.A. Predicting long-term patterns of mass loss, nitrogen dynamics, and soil organic matter formation from initial fine litter chemistry in temperate forest ecosystems // Canadian Journal of Botany. – 1990. – № 68 (10). – P. 2201-2208.
7. Dobrylovska D. Litter decomposition of red oak, larch and lime tree and its effect on selected soil characteristics // Journal of Forest Science. – 2001 – № 11. – P. 477-485.
8. Frost C.J., Hunter M.D. Insect herbivores and their frass affect *Quercus rubra* leaf quality and initial stages of subsequent litter decomposition // Oikos. – 2008. – № 117 (1). – P. 13-22.
9. Gartner T.B., Cardon Z.G. Site of leaf origin affects how mixed litter decomposes // Soil Biology and Biochemistry. – 2003. – № 38. – P. 2307-2317.
10. Holdsworth A.R., Frelich L.E., Reich P.B. Litter decomposition in earthworm-invaded northern hardwood forests: role of invasion degree and litter chemistry // Ecoscience. – 2015. – № 15 (4). – P. 536-544.
11. Kim C., Sharik T.L., Jurgensen M.F. Canopy cover effects on mass loss, and nitrogen and phosphorus dynamics from decomposing litter in oak and pine stands in northern Lower Michigan // Forest Ecology and Management. – 1996. – № 80 (1). – P. 13-20.
12. Olson J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems // Ecology. – 1963. – № 44. – P. 322-331.
13. Pouyat R.V., Carreiro M.M. Controls on mass loss and nitrogen dynamics of oak leaf litter along an urban-rural land-use gradient // Oecologia. – 2003. – № 135 (2). – P. 288-298.
14. Straigyte L., Zalkauskas R. Effect of climate variability on *Quercus rubra* phenotype and spread in Lithuanian forests // Dendrobiology. – 2012. – № 67 – P. 79-85.

Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України, м. Київ  
e-mail: bedernichek@nas.gov.ua

*Бедернічек Т.Ю.*

#### **Скорость деструкции растительного опада: проблемы сравнения и обобщения результатов исследований**

*Скорость деструкции растительного опада является одним из основных функциональных параметров наземных экосистем. Количественная оценка этого процесса необходима для моделирования динамики органического вещества в наземных экосистемах и биогеохимических циклов химических элементов. Однако, ввиду отсутствия общепринятых стандартов и методических рекомендаций – в научной литературе накопилось много экспериментальных данных, которые сложно, а иногда невозможно сравнить или обобщать. В этом исследовании проанализованы основные методические проблемы определения скорости деструкции опада. Предложены пути унификации методов исследований и способы повышения достоверности и репрезентативности ожидаемых результатов на этапе планирования эксперимента.*

**Ключевые слова:** редуценты, опад, деструкция, дуб красный, катаболизм.

*Bedernichek T.*

**Litter decomposition rate: issues of comparison and generalization of experimental data**

*Rate of litter decomposition is one of the most important functional parameters of terrestrial ecosystems. Evaluation of this process is crucial for modeling the dynamics of organic matter in ecosystems or biogeochemical cycles of chemical elements. However, due to lack of standardized methods in this field, in many research papers authors developed their own approaches to evaluate litter decomposition rates or significantly modified the well-known ones. Hence, the huge sets of statistically significant, but methodologically incomparable experimental data can be found even in the recent studies on litter decomposition. In this research, the most common methodological issues in this field were analyzed and discussed. We suggested several ways to unify the popular methods and to increase significance and information value of the expected outcomes at the stage of planning a research experiment.*

**Key words:** *decomposers, litter, decay, red oak, catabolism.*