



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 12
Український журнал природничих наук
№ 12

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

БІОЛОГІЯ

УДК 678.048:676.034

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.1>

ДОСЛІДЖЕННЯ АКТИВНОСТІ АНТИОКСИДАНТНИХ ЕНЗИМІВ ДЕЯКИХ ВИДІВ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН ПЕРЕДКАРПАТТЯ

Н. К. Гойванович¹, С. С. Монастирська², С. Я. Волошанська³, Я. В. Лесик⁴

Дисбаланс між прооксидантами й антиоксидантами в організмі під впливом чинників зовнішнього середовища та внутрішніх стресів зумовлює розвиток оксидативного стресу – процесу, що лежить в основі багатьох патологічних станів. Одним із перспективних шляхів мінімізації наслідків оксидативного стресу є використання природних антиоксидантів, зокрема препаратів на основі лікарських рослин. Дослідження антиоксидантної активності рослинної сировини має велике значення для медицини, фармакології та екології, оскільки дозволяє розкрити потенціал біологічно активних речовин для профілактики і лікування захворювань.

Мета роботи – дослідити активність ключових антиоксидантних ензимів – каталази та пероксидази – у рослинній сировині 15 видів лікарських рослин флори Передкарпаття. Зразки рослин були зібрані на екологічно чистих територіях околиць міста Борислава в період 2020–2024 років. Ензимну активність визначали спектрофотометричними методами.

Результати дослідження показали суттєві відмінності в активності антиоксидантних ензимів між різними видами рослин. Найвищу пероксидазну активність зафіксовано в цикорію звичайного

¹ кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології та хімії
(Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, м. Дрогобич)
e-mail: natahoivan@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3442-0674

² кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології та хімії
(Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, м. Дрогобич)
e-mail: svitlana.monastyrskaya@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8529-800X

³ кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології та хімії
(Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, м. Дрогобич)
e-mail: svitlana.voloshanska@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4589-6376

⁴ доктор ветеринарних наук, професор,
професор кафедри біології та хімії
(Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, м. Дрогобич)
e-mail: Lesykyv@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7845-7006

(*Cichorium intybus* L.) та лопуха великого (*Arctium lappa* L.), тоді як найвища каталазна активність спостерігалася в пижма звичайного (*Tanacetum vulgare* L.) та деревію звичайного (*Achillea millefolium* L.). Для багатьох досліджуваних рослин характерна висока активність обох ензимів, що свідчить про скоординовану роботу антиоксидантної системи. Отримані результати підкреслюють важливість подальших досліджень біохімічних механізмів антиоксидантного захисту для розроблення ефективних фітопрепаратів і підвищення стійкості рослин до стресових чинників.

Ключові слова: антиоксидантна система, оксидативний стрес, каталаза, пероксидаза, лікарські рослини, Передкарпаття.

STUDY OF ANTIOXIDANT ENZYME ACTIVITY IN SOME MEDICINAL PLANTS OF PRECARPATHIA

N. K. Hoivanovych, S. S. Monastyrskaya, S. Ya. Voloshanska, Ya. V. Lesyk

The imbalance between prooxidants and antioxidants in the body under the influence of environmental and internal stress factors provokes the development of oxidative stress – a process that underlies many pathological conditions. One of the promising ways to minimize the consequences of oxidative stress is the use of natural antioxidants, especially preparations based on medicinal plants. Researching the antioxidant activity of plant raw materials is important for medicine, pharmacology, and ecology, as it allows for the assessment of the potential of biologically active substances for the prevention and treatment of diseases.

The aim of this work was to study the activity of key antioxidant enzymes – catalase and peroxidase – in plant raw materials of 15 species of medicinal plants of the Precarpathian flora. Plant samples were collected in ecologically clean areas near the town of Boryslav during the period 2020–2024. The determination of enzyme activity was carried out by spectrophotometric methods.

*The results of the study showed significant differences in the antioxidant activity of enzymes in different plant species. The highest peroxidase activity was recorded in common chicory (*Cichorium intybus* L.) and burdock (*Arctium lappa* L.), while the highest catalase activity was observed in tansy (*Tanacetum vulgare* L.) and common yarrow (*Achillea millefolium* L.). Many of the studied plants are characterized by high activity of both enzymes, which indicates the coordinated work of the antioxidant system.*

The obtained results emphasize the importance of further research into the biochemical mechanisms of antioxidant defense for the development of effective phytopreparations and increasing the resistance of plants to stress factors.

Key words: antioxidant system, oxidative stress, catalase, peroxidase, medicinal plants, Precarpathia.

Вступ

Порушення природного балансу між про-оксидантами й антиоксидантами в організмі, спричинене негативним впливом факторів зовнішнього середовища, психоемоційним напруженням і генетичною схильністю, призводить до надмірного утворення вільних радикалів (Cheng & Yuan, 2009; Mishra et al., 2023). Ці високореакційні сполуки ініціюють каскад деструктивних реакцій, пошкоджують клітинні структури та порушують їхні функції. Наслідком цього є розвиток оксидативного стресу, що є основою багатьох фізіологічних і патофізіологічних процесів, зокрема й запалення, реперфузійного ураження тканин, бронхолегеневих захворювань, старіння та канцерогенезу (Rajput et al., 2021).

Беручи до уваги значну роль оксидативного стресу в патогенезі різноманітних захворювань, пошук ефективних шляхів

його мінімізації є надзвичайно актуальним завданням сучасної медицини та фармакології. Одним із перспективних підходів є системне вживання харчових продуктів, збагачених природними антиоксидантами. Окрім того, зростає інтерес до використання рослинних препаратів, які проявляють широкий спектр фармакологічної активності, зокрема й антиоксидантну, протипухлинну, гепатопротекторну, протівірусну та бактерицидну дію (Kumar et al., 2012; Voronkova & Vysochina, 2014).

Вивчення активності антиоксидантних ензимів в екстрактах лікарських рослин є поширеним підходом для оцінювання їхнього антиоксидантного потенціалу та розуміння механізмів їхньої дії або відповіді на стресові умови. Дослідження, проведені на флорі України та споріднених видах, надають деяку інформацію, хоча дані щодо рослин безпосередньо з Передкарпаття

є обмеженими. Аналіз наукових джерел свідчить про наявність досліджень стану антиоксидантної системи (зокрема й ензимної ланки) лише для окремих видів лікарських рослин Передкарпаття: *Juniperus communis* (ялівець звичайний), *Calendula officinalis* (нагідки лікарські), *Origanum vulgare* (материнка звичайна), *Daucus carota* (морква дика), *Humulus lupulus* (хміль звичайний), *Vaccinium myrtillus* (чорниця), *Levisticum officinale* (любисток лікарський) (Гойванович, 2014; Павлюк та ін., 2015; Pavlyuk et al., 2015; Монастирська та ін., 2016; Середюк та ін., 2016).

Активність антиоксидантних ензимів у рослинах не є сталою величиною. Вона залежить від генетичних особливостей (різні сорти/культівари можуть мати різну активність), умов навколишнього середовища (абіотичні стреси, як-от засолення, посуха, температура, важкі метали, можуть індукувати або пригнічувати активність ензимів), ґрунтово-кліматичні умови впливають на склад БАР (Suzuki et al., 2012; Rasool et al., 2013). Аналіз доступних джерел виявляє фрагментарні дані щодо дослідження антиоксидантних властивостей лікарських рослин флори Передкарпаття. Відсутні систематичні дослідження профілів активності ключових антиоксидантних ензимів для широкого кола ендемічних або традиційно важливих рослин Передкарпатського регіону.

Мета роботи – дослідити активність ключових антиоксидантних ензимів – каталази та пероксидази – у рослинній сировині 15 видів лікарських рослин флори Передкарпаття.

Матеріал і методи

Об'єктами дослідження активності антиоксидантних ензимів були рослини, що поширені в районі Передкарпаття. Для зручності проведення дослідів більшість рослин зібрали в межах міста Борислава, а саме на околицях гори Буковиця (Східні Бескиди, неподалік бальнеологічних курортів Трускавця і Східниці). Територія досліджень і відбору зразків екологічно чиста, що впливає на якість рослинного матеріалу і зручність його транспортування.

Серед великої кількості рослин, що поширені на Передкарпатті, вибрали 15 дикорослих рослин для дослідження активності ключових антиоксидантних ензимів, як-от: гірчак перцевий (*Polygonum hydropiper* L.), лобода біла (*Chenopodium album* L.), лопух великий (*Arctium lappa* L.), подорожник

великий (*Plantago major* L.), розрив-трава звичайна (*Impatiens noli-tangere* L.), ряска мала (*Lemna minor* L.), цикорій звичайний (*Cichorium intybus* L.), чистець болотний (*Stachys palustris* L.), перстач прямостоячий (*Potentilla erecta* L.), пижмо звичайне (*Tanacetum vulgare* L.), деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.), грицики звичайні (*Capsella bursa-pastoris* L.), верес звичайний (*Calluna vulgaris* (L.) Hill.), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), гірчак зміїний (*Persicaria bistorta* L.) (табл. 1).

Для встановлення виду кожної рослини користувались визначником лікарських рослин (Сафонов, 2010). Рослини для аналізу збирали в період цвітіння – 2020–2024 рр. Відбирали по декілька особин кожного виду однієї вікової групи в задовільному санітарному стані відповідно до методик. Відібрані зразки розфасовували в поліетиленові пакети, підписували та поміщали в морозильну камеру для зберігання. Ряску збирали з різних водоймищ і поміщали для зберігання у спеціальні акваріуми.

Принцип визначення активності пероксидази ґрунтується на реакції окиснення бензидину під дією ензиму, що є в рослинах ще до утворення продукту окиснення синього кольору визначеної концентрації, що була встановлена за допомогою спектрофотометра (Шупранова та ін., 2011). Вимірювання проводили за довжини хвилі $\lambda = 625$. За дії пероксидази відбувається реакція окиснення бензидину з утворенням сполуки синього кольору. За низької активності ензиму яскраве синє забарвлення утворюватися не буде. Під час вимірювання використовували секундомір, щоб визначити час, за який екстинція нормалізувалася.

Визначення активності каталази ґрунтується на визначенні кількості розщепленого пероксиду водню. Для визначення активності каталази ензим екстрагували 0,9%-вим розчином хлориду натрію у співвідношенні 1:10. Отриманий рослинний екстракт центрифугували впродовж 15 хвилин за 3 000 g. Активність ензиму визначали в надосадовій рідині спектрофотометрично за довжини хвилі 410 нм. Ензимну активність виражали в мкмоль за 1 хвилину, перераховуючи дані на 1 мг білка (Шупранова та ін., 2011). Вимірювання активності ензимів проводили на спектрофотометрі "Unico 2150".

Результати та їх обговорення

Антиоксидантна система рослин є складним багаторівневим механізмом, спрямова-

Таблиця 1

Антиоксидантні властивості досліджуваних лікарських рослин

№	Лікарська рослина	Дослідження антиоксидантних властивостей
1	Гірчак перцевий (<i>Polygonum hydropiper</i>)	Містить біологічно активні речовини (флавоноїди, аскорбінову кислоту, каротин) і має високу антиоксидантну активність. Дані про активність антиоксидантних ензимів фрагментарні.
2	Лобода біла (<i>Chenopodium album</i>)	Деякі види лободи досліджувалися на вміст антиоксидантних сполук (виявлені флавоноїди, аскорбінова кислота, каротин), але дані про ензимну активність є фрагментарними.
3	Лопух великий (<i>Arctium lappa</i>)	Містить поліфеноли, які можуть мати антиоксидантні властивості. Також містить у великій кількості аскорбінову кислоту.
4	Подорожник великий (<i>Plantago major</i>)	Відомий своїми протизапальними та ранозагоювальними властивостями, які частково можуть бути пов'язані з антиоксидантною активністю. Відомо про вміст флавоноїдів, аскорбінової кислоти, каротину.
5	Розрив-трава звичайна (<i>Impatiens noli-tangere</i>)	Інформація про антиоксидантні ензими є фрагментарною, але рослини роду <i>Impatiens</i> можуть містити біологічно активні сполуки (флавоноїди).
6	Ряска мала (<i>Lemna minor</i>)	Досліджується як потенційне джерело білка й інших антиоксидантів (аскорбінова кислота, флавоноїди), але дані про її антиоксидантні ензими є фрагментарними.
7	Цикорій звичайний (<i>Cichorium intybus</i>)	Містить інулін та інші біологічно активні сполуки (аскорбінова кислота, каротини), які можуть мати антиоксидантні властивості.
8	Чистець болотний (<i>Stachys palustris</i>)	Деякі види чистецю відомі своїми лікарськими властивостями, високий вміст аскорбінової кислоти, але інформації про активність антиоксидантних ензимів не знайдено.
9	Гірчак зміїний (<i>Persicaria bistorta</i>)	Містить фенольні сполуки, каротиноїди й аскорбінову кислоту, що зумовлює високу антиоксидантну активність. Але більшість досліджень зосереджувалися на вивченні кореневищ. Даних про інші частини рослини майже відсутні.
10	Верес звичайний (<i>Calluna vulgaris</i>)	Містить фенольні сполуки, які можуть мати антиоксидантні властивості.
11	Деревій звичайний (<i>Achillea millefolium</i>)	Містить флавоноїди й інші сполуки з антиоксидантним потенціалом.
12	Перстач прямостоячий (<i>Potentilla erecta</i>)	Містить флавоноїди та таніни, які можуть проявляти антиоксидантну активність.
13	Пижмо звичайне (<i>Tanacetum vulgare</i>)	Відоме своїми інсектицидними та протизапальними властивостями, але дані про активність антиоксидантних ензимів є фрагментарними.
14	Звіробій звичайний (<i>Hypericum perforatum</i>)	Відомий своїми антидепресантними та протизапальними властивостями, які частково можуть бути пов'язані з антиоксидантною активністю.
15	Грицики звичайні (<i>Capsella bursa-pastoris</i>)	Досліджувалися на вміст різних біологічно активних речовин, але дані про конкретні антиоксидантні ензими є обмеженими.

ним на захист організму від оксидативного стресу, що є наслідком дії активних форм кисню (далі – АФК). Ці високореакційні молекули утворюються у процесі нормального метаболізму, особливо під час фотосинтезу та дихання, а також у відповідь на різноманітні абіотичні та біотичні стреси, як-от ультрафіолетове випромінювання, високі та низькі температури, посуха, засолення, забруднення важкими металами (Kumar et al., 2012). Надмірне накопичення АФК може призвести до пошкодження клітин-

них компонентів, включаючи ліпіди мембран, білки та нуклеїнові кислоти, що порушує нормальне функціонування рослинного організму.

Для ефективного протистояння оксидативному стресу у процесі еволюції в рослин утворилась комплексна система антиоксидантного захисту, яка містить неензимні й ензимні компоненти (Zhong-Guang & Ming, 2011). До неензимних антиоксидантів належать різноманітні низькомолекулярні сполуки, як-от аскорбінова кислота

(вітамін С), токоферолі (вітамін Е), каротиноїди (наприклад, β -каротин, лютеїн), глутатіон, фенольні сполуки (флавоноїди, антоціани, лігнани) та інші вторинні метаболіти (Данилова, 2003). Ці сполуки здатні безпосередньо нейтралізувати АФК шляхом віддачі електрона або протона, перериваючи ланцюгові реакції окиснення та запобігаючи подальшому пошкодженню клітинних структур.

Ензимна ланка антиоксидантного захисту представлена різноманітними ензимами, які каталізують реакції детоксикації АФК. Серед найважливіших ензимів варто відзначити каталазу та пероксидазу, що знешкоджують пероксид водню перетворенням його на воду та молекулярний кисень або використовують інші субстрати для його відновлення (Колупаєв і Обозний, 2013). За нормальних фізіологічних умов концентрації наявної в організмі каталази досить, щоб запобігти токсичній дії пероксиду водню. Однак низка чинників, зокрема нестача кисню, спричинює зниження активності каталази. У табл. 2 представлено результати визначення активності каталази та пероксидази в рослинній сировині досліджуваних рослин.

Пероксидаза – ензим, що каталізує окиснення поліфенолів і деяких ароматичних амінів за допомогою кисню, пероксиду водню або органічних пероксидів (Jaspers & Kangasjarvi, 2010).

Встановлено, що пероксидазна активність досліджуваних об'єктів коливається в межах $2,79 \cdot 10^{-5}$ – $26,65 \cdot 10^{-5}$ мкмоль/г. Серед досліджуваних об'єктів найвища пероксидазна активність спостерігається в рослинній сировині *Cichorium intybus* – становить $26,65 \cdot 10^{-5} \pm 6,356$ мкмоль/г, і *Arctium lappa* – $21,50 \cdot 10^{-5} \pm 1,33$ мкмоль/г. Низька активність пероксидази встановлена в рослинній сировині *Achillea millefolium* – $2,79 \cdot 10^{-5} \pm 0,58$ мкмоль/г, *Polygonum hydropiper* – $3,0 \cdot 10^{-5} \pm 0,53$ мкмоль/г, *Lemna minor* – $3,31 \cdot 10^{-5} \pm 0,68$ мкмоль/г, *Persicaria bistorta* – $3,68 \cdot 10^{-5} \pm 0,81$ мкмоль/г.

Візуальна оцінка пероксидазної активності представлена на рис. 1. Як видно з нього, у *Cichorium intybus* і *Arctium lappa* пероксидазна активність у декілька разів перевищує показник активності цього ж ензиму серед більшості досліджуваних рослин, адже пероксидазна активність у решти рослин коливається майже на одному рівні – $5,41 \cdot 10^{-5}$ – $8,32 \cdot 10^{-5}$ мкмоль/г. Імовірно, для більшості досліджуваних рослин ключовим ензимом антиоксидантного захисту є каталаза.

Каталаза – ензим, що визначає в рослині здатність знешкоджувати пероксид водню і окиснювати низькомолекулярні спирти та нітрити за його наявності. Таким чином каталаза бере участь у процесі клітинного дихання (Jaspers & Kangasjarvi, 2010).

Таблиця 2
Активність антиоксидантних ензимів у досліджуваній рослинній сировині лікарських рослин

№	Назва рослини	Пероксидаза, $A \cdot 10^{-5}$, мкмоль/г ($M \pm m$)	Каталаза, мкмоль/л ($M \pm m$)
1	<i>Polygonum hydropiper</i>	$3,0 \pm 0,53$	$2197,2 \pm 177,6$
2	<i>Chenopodium album</i>	$7,67 \pm 1,11$	$828,8 \pm 72,66$
3	<i>Arctium lappa</i>	$21,50 \pm 1,33$	$1795,8 \pm 68,26$
4	<i>Plantago major</i>	$7,0 \pm 0,67$	$4\,762,2 \pm 132,66$
5	<i>Impatiens noli-tangere</i>	$7,3 \pm 0,62$	$5\,604,02 \pm 186,37$
6	<i>Lemna minor</i>	$3,31 \pm 0,68$	$1\,490,35 \pm 135,67$
7	<i>Cichorium intybus</i>	$26,65 \pm 2,35$	$1\,426,86 \pm 89,33$
8	<i>Stachys palustris</i>	$6,67 \pm 1,78$	$6\,297,4 \pm 230,67$
9	<i>Persicaria bistorta</i>	$3,68 \pm 0,81$	$3\,108,31 \pm 71,4$
10	<i>Calluna vulgaris</i>	$5,41 \pm 0,72$	$7\,343,18 \pm 193,44$
11	<i>Achillea millefolium</i>	$2,79 \pm 0,58$	$9\,138,80 \pm 140,10$
12	<i>Potentilla erecta</i>	$4,11 \pm 0,61$	$5\,271,11 \pm 117,32$
13	<i>Tanacetum vulgare</i>	$5,71 \pm 0,92$	$9\,853,91 \pm 714,55$
14	<i>Hypericum perforatum</i>	$8,32 \pm 0,77$	$2\,352,39 \pm 84,56$
15	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	$4,63 \pm 0,85$	$7\,592,32 \pm 641,62$

Каталазна активність досліджуваних об'єктів коливається в межах 828,8–9 853,91 мкмоль/л. Найвища каталазна активність спостерігається в рослинній сировині *Tanacetum vulgare* – $9\,853,91 \pm 714,55$ мкмоль/л, і *Achillea millefolium* – $9\,138,80 \pm 140,1$ мкмоль/л, а найнижча в рослинній сировині *Chenopodium album* – $828,8 \pm 72,66$ мкмоль/л.

Підвищення активності каталази запобігає пошкодженню рослинних клітин високими концентраціями перексиду водню. На рис. 2 представлено каталазну активність досліджуваної рослинної сировини.

Як видно з рисунка (див. рис. 2), серед досліджуваних рослин мінімальні показники каталазної активності в сировині

Chenopodium album, *Arctium lappa*, *Plantago major*, *Lemna minor* і *Cichorium intybus*.

Водночас у значній кількості досліджуваних рослин зафіксовано високі показники каталазної активності: *Impatiens noli-tangere*, *Stachys palustris*, *Calluna vulgaris*, *Potentilla erecta*, *Capsella bursa-pastoris*, яка коливається в межах 5 271,11–7 592,32 мкмоль/л.

Варто відзначити, що серед досліджуваних об'єктів у *Cichorium intybus* і *Arctium lappa* зафіксовано найвищу пероксидазну активність і одну з найнижчих активностей каталази. Це свідчить про домінування в цих рослинних об'єктах пероксидазної активності. Прямо пропорційна ситуація в рослинній сировині *Tanacetum vulgare* і *Achillea millefolium* – домінування каталазної актив-

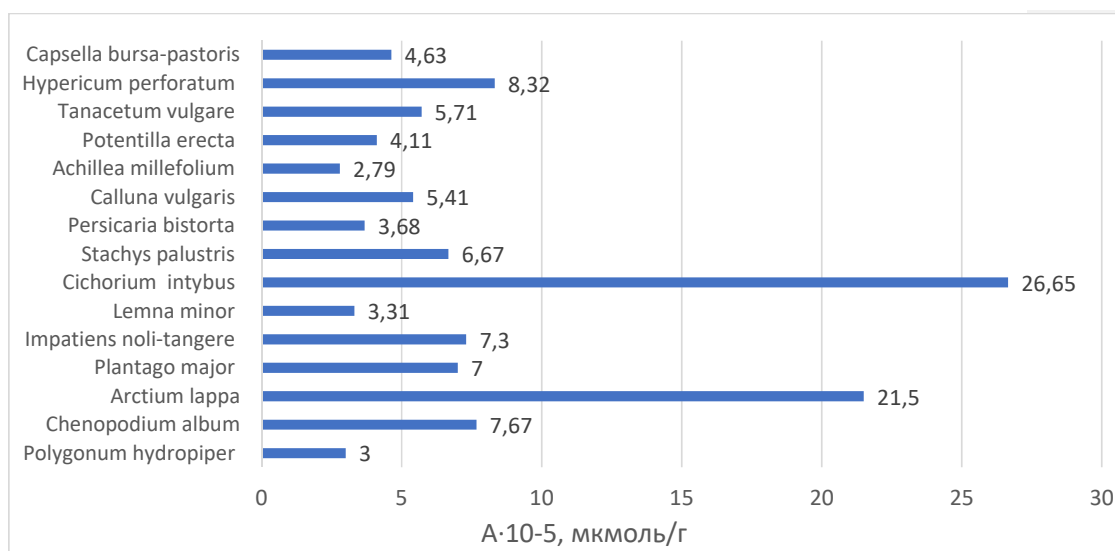


Рис. 1. Активність пероксидази в досліджуваній рослинній сировині

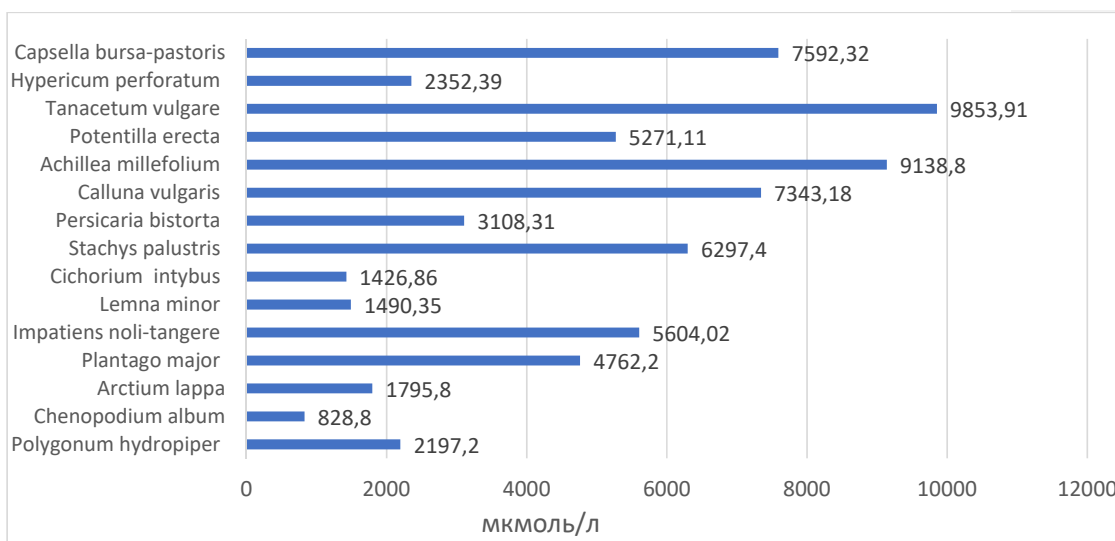


Рис. 2. Активність каталази в досліджуваній рослинній сировині

ності над пероксидазою. Результати досліджень доводять, що в рослинній сировині більшості досліджуваних лікарських рослин функціонують обидва антиоксидантні ензими, що доповнюють систему антиоксидантного захисту.

Скоординована дія неензимних антиоксидантів і антиоксидантних ензимів забезпечує ефективний контроль рівня АФК у різних компартментах рослинної клітини. Ефективність антиоксидантної системи, зокрема ензимної, є критично важливою для виживання та продуктивності рослин в умовах постійно мінливого навколишнього середовища. Розуміння механізмів функціонування ензимної антиоксидантної системи відкриває перспективи для розроблення стратегій підвищення стійкості рослин до стресових факторів, що має велике значення для збереження біорозмаїття в умовах глобальних кліматичних змін. Результати дослідження активності антиоксидантних ензимів вказують на доцільність подальшого вивчення ключових компонентів антиоксидантного захисту, вивчення їх регуляції у відповідь на стрес і розроблення методів селекції та генетичної модифікації рослин з підвищеною антиоксидантною здатністю.

Висновки

Проведені дослідження активності ензимів антиоксидантної системи лікарських рослин Передкарпаття продемонстрували важливість ензимного захисту у протидії оксидативному стресу. Встановлено, що активність пероксидази та каталази значно варіює залежно від виду рослинної сировини. Найвищу пероксидазну активність виявлено в *Cichorium intybus* і *Arctium lappa*, що свідчить про провідну роль пероксидазного шляху детоксикації АФК в цих об'єктах. Натомість *Tanacetum vulgare* і *Achillea millefolium* демонструють домінування каталазної активності, що вказує на пріоритетність іншого захисного механізму. Для більшості досліджуваних рослин характерна активність обох ензимів антиоксидантного захисту, що свідчить про скоординовану дію каталази та пероксидази в підтриманні оксидативного гомеостазу. Результати досліджень підкреслюють важливість подальшого вивчення регуляції антиоксидантних ензимів у відповідь на стресові чинники. Отримані дані можуть бути використані для селекції рослин із підвищеною антиоксидантною здатністю, що є актуальним у контексті глобальних змін клімату та збереження біорізноманіття.

Список використаної літератури

- Гойванович Н.К. Вивчення активності антиоксидантних ферментів деяких лікарських рослин Передкарпаття. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. 2014. Вип. 1. С. 49–51.
- Данилова Л.А. Природні антиоксиданти. *Харчова та переробна промисловість*. 2003. № 3. С. 18–19.
- Колупаєв Ю.Є., Обозний О.І. Активні форми кисню і антиоксидантна система при перехресній адаптації рослин до дії абіотичних стресорів. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. Серія «Біологія». 2013. Вип. 3 (30). С. 18–31.
- Монастирська С.С., Волошанська С.Я., Стечик Р.Д. Антиоксидантна дія екстрактів окремих лікарських рослин. *Вісник Львівського університету*. Серія «Біологічна». 2016. Вип. 73. С. 409–412.
- Павлюк І.В., Стадницька Н.Є., Ясіцка-Місяк І., Вечорек П.П., Загорій Г.В., Брезвин О.М., Рудик Г.В., Новіков В.П. Дослідження біологічної активності вторинного екстракту зі шроту трави материнки звичайної (*Origanum vulgare*). *Український біофармацевтичний журнал*. 2015. № 1 (36). С. 21–24.
- Сафонов М.М. Повний атлас лікарських рослин. Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2010. 384 с.
- Середюк К.М., Стадницька Н.Є., Яремкевич О.С., Павлюк І.В., Дякон І.В. Дослідження антиоксидантної активності екстрактів лікарських рослин. *Lviv Polytechnic National University Institutional Repository*. 2016. № 4. С. 228–232.
- Сучасні методи біохімічного аналізу рослин : навчальний посібник / Л.В. Шупранова та ін. Дніпропетровськ : Вид-во ДНУ, 2011. 80 с.
- Cheng J.S., Yuan Y.J. Release of proteins: insights into oxidative response of *Taxus cuspidata* cells induced by shear stress. *J. Mol. Catal. B: Enzymatic*. 2009. V. 58. P. 84–92.

- Jaspers P., Kangasjarvi J. Reactive oxygen species in abiotic stress signaling. *Physiol. Plant.* 2010. V. 138. P. 405–413.
- Kumar R.R., Goswami S., Sharma S.K., Singh K., Gadpayle K.A., Kumar N., Rai G.K., Singh M., Rai R.D. Protection against heat stress in wheat involves change in cell membrane stability, antioxidant enzymes, osmolyte, H₂O₂ and transcript of heat shock protein. *Int. J. Plant Physiol. Biochem.* 2012. V. 4. № 4. P. 83–91. <https://doi.org/10.5897/IJPPB12.008>.
- Mishra N., Jiang C., Chen L., Paul A., Chatterjee A., Shen G. Achieving abiotic stress tolerance in plants through antioxidative defense mechanisms. *Front. Plant Sci.* 2023. № 14. P. 11106–22. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1110622>.
- Pavlyuk I., Stadnytska N., Jasicka-Misiak I., Gorka B., Wiczorek P., Novikov V. A study of the Chemical Composition and Biological Activity of Extracts from Wild Carrot (*Daucus carota* L.) Seeds Waste. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences.* 2015. № 6 (2). P. 603–611.
- Rajput V.D., Singh R.K., Verma K.K., Sharma L., Quiroz-Figueroa F.R., Meena M. et al. Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress. *Biology.* 2021. № 10 (4). P. 267. <https://doi.org/10.3390/biology10040267>.
- Rasool S., Ahmad A., Siddiqi T.O., Ahmad P. Changes in growth, lipid peroxidation and some key antioxidant enzymes in chickpea genotypes under salt stress. *Acta Physiologia Plantarum.* 2013. № 35. P. 1039–1050. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1142-4>.
- Suzuki N., Koussevitzky S., Mittler R., Miller G. ROS and redox signalling in the response of plants to abiotic stress. *Plant Cell Environ.* 2012. V. 35. P. 259–270. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02336.x>.
- Voronkova M.S., Vysochina G.I. Bistorta Scop. Genus (Polygonaceae): Chemical Composition and Biological Activity. *Chemistry for Sustainable Development.* 2014. Vol. 22. P. 207–212.
- Zhong-Guang L, Ming G. Mechanical stimulation – induced cross-adaptation in plants: an overview. *J. Plant Biol.* 2011. V. 54. P. 358–364.

References

- Hoivanovych, N.K. (2014). Vyvchennia aktyvnosti antyoksydantnykh fermentiv deiakykh likarskykh roslyn Peredkarpattia [Study of the activity of antioxidant enzymes of some medicinal plants of the Carpathian region]. *Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnoho ahrarnotekhnichnoho universytetu* [Collection of scientific papers of Podilskyi State Agrarian and Technical University], 1, 49–51 [in Ukrainian].
- Danylova, L.A. (2003). Pryrodni antyoksydanty [Natural antioxidants]. *Kharchova ta pererobna promyslovisht* [Food and processing industry], 3, 18–19 [in Ukrainian].
- Kolupaiev, Yu.Ye., & Oboznyi, O.I. (2013). Aktyvni formy kysniu i antyoksydantna systema pry perekhresnyi adaptatsyyi roslyn do diy abiotychnykh stresoriv [Active oxygen species and antioxidant system in cross-adaptation of plants to abiotic stressors]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii "Biologhiia"* [Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series "Biology"], 3 (30), 18–31 [in Ukrainian].
- Monastyrskaya, S.S., Voloshanska, S.Ya, & Stetsyk, R.D. (2016). Antyoksydantna diia ekstraktiv okremykh likarskykh roslyn [Antioxidant effect of extracts of certain medicinal plants]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii "Biologichna"* [Bulletin of Lviv University. Biological series], 73, 409–412 [in Ukrainian].
- Pavliuk, I.V., Stadnytska, N.Ye., Yasitska-Misiak, I., Vechorek, P.P., Zahorii, H.V., Brezvyin, O.M., Rudyk, H.V., & Novikov, V.P. (2015). Doslidzhennia biologichnoi aktyvnosti vtorynnoho ekstraktu zi shrotu travy materynky zvychnoi (*Origanum vulgare*) [Study of the biological activity of the secondary extract from the meal of oregano herb (*Origanum vulgare*)]. *Ukrainskyi biofarmatsevtichnyi zhurnal* [Ukrainian Biopharmaceutical Journal], 1 (36), 21–24 [in Ukrainian].
- Safonov, M.M. (2010). Povnyi atlas likarskykh roslyn [Complete atlas of medicinal plants]. Ternopil: Navchalna knyha – Bohdan, 384 s. [in Ukrainian].
- Serediuk, K.M., Stadnytska, N.Ye., Yaremkevych, O.S., Pavliuk, I.V., & Diakon, I.V. (2016). Doslidzhennia antyoksydantnoi aktyvnosti ekstraktiv likarskykh roslyn [Study of the antioxidant activity of medicinal plant extracts]. *Lviv Polytechnic National University Institutional Repository*, 4, 228–232 [in Ukrainian].

- Shupranova, L.V., Bilchuk, V.S., & Bohuslavska, L.V. ta in. (2011). Suchasni metody biokhimichnoho analizu roslyn: navch. posib. [Modern methods of biochemical analysis of plants: a textbook]. Donetsk: Vyd-vo DNU, 80 s. [in Ukrainian].
- Cheng, J.S., & Yuan, Y.J. (2009). Release of proteins: insights into oxidative response of *Taxus cuspidata* cells induced by shear stress. *J. Mol. Catal. B: Enzymatic*, 58, 84–92 [in English].
- Jaspers, P., & Kangasjarvi, J. (2010). Reactive oxygen species in abiotic stress signaling. *Physiol. Plant*, 138, 405–413 [in English].
- Kumar, R.R., Goswami, S., Sharma, S.K., Singh, K., Gadpayle, K.A., Kumar, N., Rai, G.K., Singh, M., & Rai, R.D. (2012). Protection against heat stress in wheat involves change in cell membrane stability, antioxidant enzymes, osmolyte, H_2O_2 and transcript of heat shock protein. *Int. J. Plant Physiol. Biochem.*, 4, 4, 83–91. <https://doi.org/10.5897/IJPPB12.008> [in English].
- Mishra, N., Jiang, C., Chen, L., Paul, A., Chatterjee, A., & Shen, G. (2023). Achieving abiotic stress tolerance in plants through antioxidative defense mechanisms. *Front. Plant Sci.*, 14, 11106–22. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1110622> [in English].
- Pavlyuk, I., Stadnytska, N., Jasicka-Misiak, I., Gorka, B., Wiczorek, P., & Novikov, V. (2015). A study of the Chemical Composition and Biological Activity of Extracts from Wild Carrot (*Daucus carota* L.) Seeds Waste. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 6 (2), 603–611.
- Rajput, V.D., Singh, R.K., Verma, K.K., Sharma, L., Quiroz-Figueroa, F.R., & Meena, M., et al. (2021). Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress. *Biology*, 10 (4), 267. <https://doi.org/10.3390/biology10040267> [in English].
- Rasool, S., Ahmad, A., Siddiqi, T.O., & Ahmad, P. (2013). Changes in growth, lipid peroxidation and some key antioxidant enzymes in chickpea genotypes under salt stress. *Acta Physiologia Plantarum*, 35, 1039–1050. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1142-4> [in English].
- Suzuki, N., Koussevitzky, S., Mittler, R., & Miller G. (2012). ROS and redox signalling in the response of plants to abiotic stress. *Plant Cell Environ*, 35, 259–270. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02336.x> [in English].
- Zhong-Guang, L., & Ming, G. (2011). Mechanical stimulation – induced cross-adaptation in plants: an overview. *J. Plant Biol.*, 54, 358–364 [in English].
- Voronkova, M.S., & Vysochina, G.I. (2014). Bistorta Scop. Genus (Polygonaceae): Chemical Composition and Biological Activity. *Chemistry for Sustainable Development*, 22, 207–212 [in English].

Отримано: 24.04.2025

Прийнято: 15.05.2025