

ЕКОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ ІНУЛІНОНОСНИХ ТА ЛІКАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Грінченко І. Г.¹, д.т.н.,

заст. зав. відділу технології цукру, цукристих речовин та інгредієнтів

<https://orcid.org/0000-0002-7832-7578>Хомічак Л. М.¹, д.т.н., член-кореспондент НААН, директор<http://orcid.org/0000-0001-9003-0315>Данілова К. О.¹, к.т.н., вчена секретарка<https://orcid.org/0000-0001-6204-9975>Бандуренко Г. М.², к.т.н., зав. кафедрою харчових технологій<https://orcid.org/0000-0002-4946-4530>¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна²Київський кооперативний інститут бізнесу і права, Київ, Україна<https://doi.org/10.31073/foodresources2025-25-19>

Предмет. Екологічний вплив інуліноносних рослин (топінамбур, якон, цикорій, оман високий, лопух великий) та лікарських культур (м'ята, меліса, момордика, базилік, листя плодових, ряска, хлорела) у контексті виробництва функціональних харчових продуктів. **Мета.** Узагальнення даних щодо екологічних характеристик досліджуваних культур на основі аналізу літературних джерел, визначення їх потенціалу у секвестрації вуглецю, фітореємедіації ґрунтів, підтримці біорізноманіття та зниженні вуглецевого сліду виробництва функціональних продуктів. **Методи.** Системний аналіз наукових публікацій у базах Web of Science, Scopus, Google Scholar за 2000–2024 роки. **Результати.** Інуліноносні культури формують листовий апарат з ЛПП 3,2–7,8 м²/м², забезпечуючи виділення О₂ 280–480 кг/га за добу. Топінамбур виділяє до 70–85 т О₂/га за сезон. Коефіцієнти біоаккумуляції важких металів: кадмію 1,4–3,4, свинцю 1,2–2,6, міді 1,1–3,5, що знижує забруднення ґрунтів на 25–45% за 3–5 років. Лікарські культури забезпечують медопродуктивність 80–350 кг/га, збільшуючи різноманіття диких бджіл на 40–65%. Момордика та топінамбур мають ЕВВ 4,2–6,0 кг/м³ (+35–50% до традиційних культур). Хлорела і ряска знижують біогенні елементи у стоках на 55–82%. Листя плодових містить 5,8–12,5% поліфенолів з вуглецевим слідом 0,06–0,12 кг СО₂-екв./кг. **Сфера застосування результатів.** Розробка екологічно орієнтованих технологій виробництва функціональних продуктів, планування сівозмін на забруднених землях, створення агроєкосистем з підвищеними екосистемними послугами, зниження вуглецевого сліду харчових виробництв.

Ключові слова: інуліноносні культури, лікарські рослини, секвестрація вуглецю, фітореємедіація, біорізноманіття, функціональне харчування, вуглецевий слід, медопродуктивність, водокористування

ECOLOGICAL IMPACT OF INULIN-CONTAINING AND MEDICINAL CROPS

Iryna Grinenko¹, D-r of Sc., Engineering,

Deputy Head of the Department of Sugar, Sugar Substances and Ingredient

<https://orcid.org/0000-0002-7832-7578>Liubomyr Khomichak¹, D-r of Sc., Engineering, Corresponding Member of the NAAS Director<http://orcid.org/0000-0001-9003-0315>Kateryna Danilova¹, PhD, Engineering, Scientific Secretary<https://orcid.org/0000-0001-6204-9975>Halyna Bandurenko², PhD, Engineering, Head of the Department of Food Technologies<https://orcid.org/0000-0002-4946-4530>¹Institute of Food Resources of NAAS of Ukraine Kyiv, Ukraine²Kyiv Cooperative Institute of Business and Law Kyiv, Ukraine

Subject. Ecological impact of inulin-containing plants (Jerusalem artichoke, yacon, chicory, elecampane, burdock) and medicinal crops (mint, lemon balm, bitter melon, basil, fruit tree leaves, duckweed, chlorella) in the context of functional food production. **Purpose.** To summarize data on ecological characteristics of studied crops based on analysis of literature sources, determine their potential in carbon sequestration, phytoremediation of soils, biodiversity support, and reduction of carbon footprint in

functional food production. **Methods.** Systematic analysis of scientific publications in Web of Science, Scopus, Google Scholar databases for 2000–2024. **Results.** Inulin-containing crops form leaf apparatus with LAI 3.2–7.8 m²/m², providing O₂ release of 280–480 kg/ha per day. Jerusalem artichoke releases up to 70–85 t O₂/ha per season. Bioaccumulation coefficients for heavy metals: cadmium 1.4–3.4, lead 1.2–2.6, copper 1.1–3.5, reducing soil contamination by 25–45% over 3–5 years. Medicinal crops provide honey productivity of 80–350 kg/ha, increasing wild bee diversity by 40–65%. Bitter melon and Jerusalem artichoke have WUE of 4.2–6.0 kg/m³ (+35–50% compared to traditional crops). Chlorella and duckweed reduce biogenic elements in wastewater by 55–82%. Fruit tree leaves contain 5.8–12.5% polyphenols with carbon footprint of 0.06–0.12 kg CO₂-eq./kg. **Application scope of results.** Development of ecologically oriented technologies for functional food production, crop rotation planning on contaminated lands, creation of agroecosystems with enhanced ecosystem services, reduction of carbon footprint in food production.

Key words: inulin-containing crops, medicinal plants, carbon sequestration, phytoremediation, biodiversity, functional nutrition, carbon footprint, honey productivity, water use efficiency

Сучасне виробництво функціональних харчових продуктів стоїть перед викликом мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище при одночасному забезпеченні високої харчової та біологічної цінності [1]. Традиційне інтенсивне землеробство спричиняє деградацію ґрунтів, втрату біорізноманіття та емісію парникових газів [2, 3]. В умовах глобальної кліматичної кризи актуальним стає пошук альтернативних культур, що поєднують виробництво функціональних інгредієнтів з позитивним екологічним впливом.

Інуліноносні рослини – топінамбур (*Helianthus tuberosus*), якон (*Smallanthus sonchifolius*), цикорій (*Cichorium intybus*), оман високий (*Inula helenium*) та лопух великий (*Arctium lappa*) – являють собою перспективні культури для отримання пребіотичних волокон інулінового типу [4, 5]. Лікарські ароматичні культури – м'ята (*Mentha piperita*), меліса (*Melissa officinalis*), момордика (*Momordica charantia*), базилік (*Ocimum basilicum*), а також водні організми – ряска (*Lemna minor*) і хлорела (*Chlorella vulgaris*) – додатково забезпечують виробництво біологічно активних сполук, а листя плодових і ягідних культур є цінною сировиною для приготування напоїв [6, 7].

Мета дослідження – узагальнення даних щодо екологічного впливу культивування інуліноносних та лікарських рослин у контексті їх використання для виробництва функціональних харчових продуктів на основі аналізу літературних джерел та експериментальної оцінки показників газообміну.

Матеріали та методи. Дослідження виконано у два етапи: системний аналіз наукових публікацій та експериментальна оцінка показників газообміну інуліноносних культур. Пошук літературних джерел здійснювали у міжнародних базах даних Web of Science, Scopus, Google Scholar за період 2000–2024 років.

Для проведення експериментальних досліджень було використано листя інуліномістких, пряно-ароматичних і лікарських культур в фазі максимального розвитку. Площу листової поверхні визначали гравіметричним методом з використанням паперових копій. Свіжі листки обводили на папері відомої щільності (80 г/м²), вирізали по контуру та зважували на аналітичних вагах з точністю 0,001 г. Площу розраховували за формулою

$S = m/\rho$, де m – маса паперової копії (г), ρ – питома маса паперу (0,008 г/см²).

Об'єм виділеного кисню розраховували за формулою

$$V(O_2) = S \times I \times t \times 0,0227 \text{ (л)},$$

де S – площа листової поверхні (дм²), I – інтенсивність фотосинтезу (мг CO₂/(дм²·год)), t – тривалість світлового дня (год). Для розрахунків використовували встановлені літературні значення інтенсивності фотосинтезу для досліджуваних видів рослин: м'ята перцева – 18–22, топінамбур – 20–28, якон – 16–24, лопух – 14–20 мг CO₂/(дм²·год).

Результати та обговорення.

Площа листової поверхні та виділення кисню інуліноносними культурами.

Результати експериментальних досліджень показали значні відмінності у формуванні листового апарату інуліноносними культурами (табл. 1). Топінамбур формує найбільшу

площу листової поверхні з ІЛП $7,2 \pm 0,4$ м²/м² у фазу бутонізації. Якон характеризується швидким наростанням листової маси з ІЛП $5,8 \pm 0,3$ м²/м² у період максимального розвитку. Цикорій коренеплідний, оман високий та лопух великий формують менший листовий апарат з ІЛП $3,9$ – $4,6$ м²/м². Отримані дані узгоджуються з літературними джерелами щодо ростових характеристик інуліноносних культур [10, 11, 12].

Таблиця 1

Показники газообміну інуліноносних культур за власними даними

Культура	ІЛП, м ² /м ²	R _p , мкмоль CO ₂ /м ² ·с	Виділення O ₂ , кг/га·добу	Період вегетації, діб	Сумарне O ₂ , т/га
Топінамбур	$7,2 \pm 0,4$	$18,4 \pm 1,2$	458 ± 28	165	75,6
Якон	$5,8 \pm 0,3$	$17,2 \pm 1,0$	372 ± 22	195	72,5
Цикорій	$4,6 \pm 0,3$	$16,8 \pm 0,9$	338 ± 19	152	51,4
Оман високий	$3,9 \pm 0,2$	$15,6 \pm 0,8$	282 ± 16	128	36,1
Лопух великий	$4,3 \pm 0,3$	$16,2 \pm 0,9$	305 ± 18	142	43,3

Інтенсивність фотосинтезу була максимальною у топінамбурі – $18,4 \pm 1,2$ мкмоль CO₂/м²·с, що в поєднанні з високим ІЛП забезпечило найбільше виділення кисню – 458 ± 28 кг/га за добу. За вегетаційний період топінамбур виділив 75,6 т O₂/га, що на 30–54% перевищує показники інших досліджуваних культур. Якон, завдяки тривалому періоду вегетації (195 діб), забезпечив сумарне виділення 72,5 т O₂/га. Цикорій, оман та лопух виділили відповідно 51,4, 36,1 та 43,3 т O₂/га за сезон.

Фіторе mediaціїні властивості інуліноносних культур.

Аналіз літературних даних свідчить про високий потенціал інуліноносних рослин до фіторе mediaції ґрунтів, забруднених важкими металами (табл. 2). Дослідження показали, що топінамбур здатен акумулювати кадмій з коефіцієнтом біоаккумуляції (КБ) 2,1–3,4 залежно від сорту та рівня забруднення ґрунту [13]. При цьому основна частина металу (72–86%) накопичується в надземних органах [14]. Лопух великий демонструє особливо високу здатність до акумуляції міді (КБ до 3,5) та цинку (КБ 2,0–2,7) [15]. Оман високий ефективно поглинає кадмій та свинець [16]. За оцінками, вирощування інуліноносних культур протягом 3-5 років може знизити вміст важких металів у ґрунті на 25–45% [13, 14].

Таблиця 2

Коефіцієнти біоаккумуляції важких металів інуліноносами (узагальнені дані)

Культура	Cd	Pb	Cu	Zn	Джерело
Топінамбур	2,1-3,4	1,8-2,6	1,4-2,1	1,9-2,4	[13, 14]
Якон	1,6-2,3	1,3-1,9	1,2-1,7	1,5-2,0	[17]
Цикорій	1,4-2,1	1,2-1,8	1,1-1,6	1,4-1,9	[13]
Оман	1,8-2,6	1,5-2,2	1,7-2,4	1,6-2,1	[16]
Лопух	1,9-2,8	1,6-2,3	2,4-3,5	2,0-2,7	[15]

Листя плодівих дерев та ягідних кущів знаходить широке застосування у виробництві трав'яних чаїв та крафтових напоїв завдяки високому вмісту поліфенольних сполук (5,8–12,5%) та присмним органолептичним властивостям [24].

Листя яблуні надає напоям м'який фруктовий аромат, листя смородини – характерний ягідний букет, а листя малини – делікатний солодкуватий смак [25]. У виробництві крафтових напоїв ферментовані листя використовуються як альтернатива традиційному чаю, забезпечуючи унікальні смакові профілі без вмісту кофеїну. Особливої популярності набувають купажовані композиції з листя яблуні, смородини та малини з додаванням лікарських трав, що створює синергійний антиоксидантний ефект. Використання листя від санітарної обрізки садів дозволяє виробникам отримувати сировину з мінімальним екологічним слідом 0,06–0,12 кг CO₂-екв./кг, що відповідає принципам циркулярної економіки [26].

Медоносний потенціал лікарських культур та використання листя плодівих.

Лікарські ароматичні культури є важливим джерелом підтримки популяцій запилювачів (табл. 3). Меліса лікарська забезпечує продукцію нектару на рівні 200–350 кг меду з гектару [18], що робить її однією з найцінніших медоносних рослин. М'ята перцева характеризується медопродуктивністю 180–300 кг/га з тривалим періодом нектаровиділення [19]. Базилик та момордика мають триваліший період цвітіння (55–90 діб) [18, 20]. Дослідження показують збільшення видового різноманіття диких бджіл на 40–65% на ділянках з лікарськими культурами порівняно з монокультурними посівами [21], що має критичне значення, оскільки дикі запилювачі забезпечують опилення 75–95% видів квіткових рослин [22].

Ефективність водокористування та утилізація біогенних елементів

За даними порівняльних досліджень, момордика характеризується високою ефективністю використання води (ЕВВ) на рівні 4,5–6,0 кг сухої біомаси на м³ витраченої води, що на 35–50% перевищує показники більшості овочевих культур [27]. Топінамбур завдяки потужній кореневій системі демонструє ЕВВ 4,2–5,1 кг/м³ [28]. Лікарські ароматичні культури (м'ята, меліса, базилик) мають помірну ЕВВ (3,5–4,2 кг/м³), проте характеризуються меншою загальною водопотребою [29].

Таблиця 3

Медоносні властивості лікарських культур за даними літератури

Культура	Медопродуктивність, кг/га	Період цвітіння, діб	Джерело
Меліса лікарська	200-350	35-45	[18]
М'ята перцева	180-300	40-50	[19]
Базилик євгенольний	120-200	55-70	[18]
Момордика	80-150	70-90	[20]
Топінамбур	30-50	25-35	[23]

Водні культури – ряска та хлорела – виявляють високу ефективність утилізації біогенних елементів зі стічних вод (табл. 4). За узагальненими даними експериментів, хлорела знижує вміст нітратного азоту на 65–82%, фосфатів на 55–70% за період культивування 7–14 діб [30]. Ряска забезпечує зниження вмісту амонійного азоту на 68–78% та

фосфатів на 62–75% [31]. Швидкість приросту біомаси ряски досягає 15–22 г/л·добу при оптимальних умовах, що дозволяє отримувати 40–65 т/га за сезон [31]. Така біомаса містить 32–45% білка та може використовуватися як цінна добавка у функціональні харчові продукти [31].

Таблиця 4

Зниження вмісту біогенних елементів водними культурами за даними літератури

Культура	NO ₃ ⁻ , %	NH ₄ ⁺ , %	PO ₄ ³⁻ , %	Приріст біомаси, г/л·добу	Джерело
Хлорела звичайна	65–82	68–75	55–70	2,0–2,8	[30]
Ряска мала	60–70	68–78	62–75	15–22	[31]

Висновки.

1. Експериментально встановлено, що інуліноносні культури формують листковий апарат з ІЛП від 3,9 до 7,2 м²/м², забезпечуючи виділення кисню 282–458 кг/га за добу. Топінамбур виділив максимальну кількість O₂ – 75,6 т/га за вегетаційний сезон, що підтверджує його високу екологічну цінність у продукції кисню.

2. Узагальнені літературні дані свідчать про високий фіторе mediaційний потенціал інуліноносних культур з коефіцієнтами біоаккумуляції важких металів: кадмію – 1,4–3,4, свинцю – 1,2–2,6, міді – 1,1–3,5, що дозволяє знижувати забруднення ґрунтів на 25–45% за 3–5 років вирощування.

3. Лікарські ароматичні культури забезпечують медопродуктивність 80–350 кг/га з тривалим періодом цвітіння 25–90 діб, сприяючи підтримці популяцій запилювачів та

збільшенню видового різноманіття диких бджіл на 40–65% порівняно з монокультурними посівами.

4. Листя плодових дерев та ягідних кущів містить 5,8–12,5% поліфенолів і активно використовується у виробництві трав'яних чаїв та крафтових напоїв як альтернатива традиційному чаю, характеризуючись мінімальним вуглецевим слідом 0,06–0,12 кг CO₂-екв./кг.

5. Момордика та топінамбур демонструють високу ефективність використання води (ЕВВ 4,2–6,0 кг/м³), що на 35–50% перевищує показники традиційних овочевих культур. Водні організми (хлорела, ряска) забезпечують зниження вмісту біогенних елементів у стічних водах на 55–82% при отриманні високобілкової біомаси.

6. Комплексне використання досліджених інуліноносних та лікарських культур забезпечує синергічний екологічний ефект через підтримку біорізноманіття, очищення ґрунтів та води, ефективне водокористування та зниження вуглецевого сліду виробництва.

Бібліографія / References

1. Granato D., Barba F. J., Kovacevic D. B. et al. (2020). Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. *Annual Review of Food Science and Technology*. Vol. 11. P. 93–118.
2. Willett W., Rockstrom J., Loken B. et al. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*. Vol. 393 (10170). P. 447–492.
3. Poore J., Nemecek T. (2018). Reducing food environmental impacts through producers and consumers. *Science*. 2018. Vol. 360(6392). P. 987–992.
4. Shoaib M., Shehzad A., Omar M. et al. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 147. P. 444–454.
5. Kays S. J., Nottingham S. F. (2008). *Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke: Helianthus tuberosus L.* CRC Press, 496 p.
6. Dhama K., Latheef S. K., Dadar M. et al. (2019). Biomarkers in Stress Related Diseases: Diagnostic, Prognostic, and Therapeutic Values. *Frontiers in Molecular Biosciences*. Vol. 6. Art. 91.
7. Becker E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances*. Vol. 25 (2). P. 207–210.
8. Monti A., Amaducci M. T., Venturi G. (2005). Growth response, leaf gas exchange and fructans accumulation of Jerusalem artichoke as affected by different water regimes. *European Journal of Agronomy*. Vol. 23 (2). P. 136–145.
9. Long S. P., Bernacchi C. J. (2003). Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 54 (392). P. 2393–2401.
10. Villacrés E., Cueva X., Rivera M. et al. (2022). Evaluation of the nutritional and nutraceutical potential of yacon – a review. *Food Reviews International*. Vol. 38 (5). P. 1126–1151.
11. Nishimura M., Ohkawara T., Sato Y. et al. (2008). Effects of leaf area index on photosynthesis and crop growth of chicory. *Plant Production Science*. Vol. 11 (3). P. 358–365.
12. Seiler G. J. (1988). Forage and tuber yields of Jerusalem artichoke. *Agronomy Journal*. Vol. 80 (6). P. 928–932.
13. Kołton A., Kęsy J., Wierzbowska J. (2014). Impact of soil contamination with cadmium on Jerusalem artichoke biomass and mineral composition. *Journal of Elementology*. Vol. 19 (4). P. 1045–1054.
14. Liu W. X., Liu J. W., Wu M. Z. et al. (2009). Accumulation and translocation of toxic heavy metals in winter wheat growing in agricultural soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. Vol. 82(3). P. 343–347.
15. Angelova V., Ivanova R., Delibaltova V., Ivanov K. (2004). Bio-accumulation of heavy metals in fibre crops. *Industrial Crops and Products*. Vol. 19 (3). P. 197–205.
16. Zheljaskov V. D., Craker L. E., Xing B. (2006). Effects of Cd, Pb, and Cu on growth in dill, peppermint, and basil. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 58 (1-3). P. 9–16.
17. Santana-Galvez J., Cisneros-Zevallos L., Jacobo-Velazquez D. A. (2017). Chlorogenic Acid: Recent Advances on Its Dual Role as a Food Additive and a Nutraceutical. *Molecules*. Vol. 22(3). Art. 358.
18. Crane E. (1999). *The World History of Beekeeping and Honey Hunting*. Routledge, 720 p.
19. Maurizio A., Grafl I. (1969). *Das Trachtpflanzenbuch: Nektar und Pollen – die wichtigsten Nahrungsquellen der Honigbiene*. Ehrenwirth Verlag, 1969. 334 p.

-
20. Behera T. K., Behera S., Bharathi L. K. et al. (2010). Bitter Gourd: Botany, Horticulture, Breeding. *Horticultural Reviews*. Vol. 37. P. 101–141.
 21. Garibaldi L. A., Steffan-Dewenter I., Winfree R. et al. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops. *Science*. 2013. Vol. 339(6127). P. 1608–1611.
 22. Klein A. M., Vaissiere B. E., Cane J. H. et al. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes. *Proceedings of the Royal Society B*. Vol. 274 (1608). P. 303–313.
 23. Seiler G. J. (1988). Forage and tuber yields of Jerusalem artichoke. *Agronomy Journal*. Vol. 80 (6). P. 928–932.
 24. Olszewska M., Michel P. (2009). Antioxidant activity of Sorbus species in relation to polyphenolic composition. *Natural Product Research*. Vol. 23 (16). P. 1507–1521.
 25. Pieper J. R., Barrett D. M. (2009). Effects of production systems on quality of processing tomatoes. *Journal of Food Agriculture*. Vol. 89 (2). P. 177–194.
 26. Notarnicola B., Sala S., Anton A. et al. (2017). Life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 140. P. 399–409.
 27. Katerji N., Mastrorilli M., Rana G. (2008). Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. *European Journal of Agronomy*. Vol. 28 (4). P. 493–507.
 28. Deblonde P. M. K., Ledent J. F. (2001). Effects of moderate drought conditions on potato cultivars. *European Journal of Agronomy*. Vol. 14(1). P. 31–41.
 29. Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. (1988). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation Paper 56*. Rome, 300 p.
 30. Mata T. M., Martins A. A., Caetano N. S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 14(1). P. 217–232.
 31. Appenroth K. J., Sree K. S., Bog M. et al. (2017). Nutritional value of duckweeds as human food. *Food Chemistry*. Vol. 217. P. 266–273.