

УДК 54.06:635.2

# GLYCOALKALOIDS OF POTATOES: $\alpha$ -SOLANINE AND $\alpha$ -CHACONINE. A REVIEW

O. Makarenko, K. Chebanenko

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

glycoalkaloids,  
potatoes,  
 $\alpha$ -solanine,  
 $\alpha$ -chaconine,  
toxicity,  
chromatography

---

**Article history:**

Received 15.04.2025

Received in revised form  
21.04.2025

Accepted 23.04.2025

---

**Corresponding author:**

chebanenkohv@nuft.edu.ua

---

**ABSTRACT**

This article provides an analysis of recent studies concerning the properties and toxicity of potato glycoalkaloids,  $\alpha$ -solanine and  $\alpha$ -chaconine. Changes in the European Union legislation regarding the control and monitoring of their content are discussed, which establish an indicative level of 100 mg/kg for the sum of  $\alpha$ -solanine and  $\alpha$ -chaconine. In properly cultivated, harvested, and stored potatoes, the glycoalkaloid content usually ranges from 20 to 100 mg/kg.

In Ukraine, active development of portable systems for analyzing glycoalkaloid content in potatoes based on biosensors exploiting the anticholinesterase activity of glycoalkaloids was conducted in the early 2000s. However, this method has not been implemented in practical control techniques.

Exceeding the content of  $\alpha$ -solanine and  $\alpha$ -chaconine in potatoes poses a risk of poisoning, including fatal cases, which were recorded in the 20th century in Germany and the United Kingdom. Clinical signs of potato glycoalkaloid toxicity include dry mouth, pain in the mouth and throat, throat constriction, nausea, vomiting, abdominal pain, and diarrhea, accompanied by various neurological symptoms such as weakness, confusion, depression, and others. For adults, a toxic dose is considered to be 200–400 mg, while for children, a critical dose may be as low as 20–40 mg. A dose exceeding 600 mg is potentially life-threatening. However, at low concentrations, glycoalkaloids can exhibit anticancer activity.

Methods for reducing the levels of  $\alpha$ -solanine and  $\alpha$ -chaconine in potatoes are presented. It is noted that their content depends on environmental and genetic factors, as well as on storage and processing methods. Modern methods for controlling the content of glycoalkaloids in potatoes and potato-based food products are also analyzed.

---

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-37-6

---

## ГЛІКОАЛКАЛОЇДИ КАРТОПЛІ $\alpha$ -СОЛАНІН ТА $\alpha$ -ЧАКОНІН. ОГЛЯД

О. Г. Макаренко, канд. хім. наук, ORCID ID: 0000-0002-9472-3546

Х. В. Чебаненко, ORCID ID: 0000-0001-5002-1393

Національний університет харчових технологій

*У статті проаналізовано останні дослідження, які стосуються властивостей і токсичності глікоалкалоїдів картоплі  $\alpha$ -соланіну та  $\alpha$ -чаконіну. Розглянуто зміни в законодавстві Європейського Союзу щодо їх контролю та моніторингу вмісту, яке встановлює індикативний рівень у 100 мг/кг для суми  $\alpha$ -соланіну та  $\alpha$ -чаконіну. Для безпечності харчової продукції важливим є питання контролю вмісту  $\alpha$ -соланіну і  $\alpha$ -чаконіну у продовольчій картоплі та картоплі для промислової переробки. Наведено способи зменшення рівнів вмісту  $\alpha$ -соланіну та  $\alpha$ -чаконіну в картоплі. Зазначено, що їх вміст залежить від екологічних, генетичних чинників і способів зберігання й обробки картоплі. Проаналізовано актуальні методи контролю глікоалкалоїдів у картоплі та харчових продуктах з неї.*

**Ключові слова:** глікоалкалоїди, картопля,  $\alpha$ -соланін,  $\alpha$ -чаконін, токсичність, хроматографія.

**Вступ.** Картоплю (*Solanumtuberosum*) окультурили і почали вирощувати мешканці Південної Америки близько 8 000 років до нашої ери [1]. На європейському континенті вона вперше з'явилася на початку XVI ст. в Іспанії і далі поширилась по всій Європі [2]. В Північну Америку картопля була завезена шотландсько-ірландськими іммігрантами на початку XVIII ст. [3]. І вже через 100 років у XIX ст. картопля стала однією із основних продовольчих культур. В Україні картоплю спочатку почали вирощувати на Лівобережжі, а з 1742 р. вже і на правобережній частині, далі географія її розповсюдження сягнула Закарпаття в 1770 р. та Галичину в 1780 році. Вже наприкінці XVIII ст. картопля розповсюдилась по всій Україні [1].

Споживання картоплі у світі постійно зростає завдяки її високій поживній цінності. М'якоть картоплі є цінним джерелом антиоксидантів, вітамінів С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>9</sub>, а також багатьох мікроелементів, необхідних для підтримки нормального функціонування організму людини. Аскорбінова кислота та природні барвники картоплі — каротиноїди, зокрема лютеїн, зексантин і віолаксантин, виконують роль антиоксидантів, що сприяють зменшенню окислювального стресу в клітинах. У шкірці картоплі містяться фенольні сполуки, такі як хлорогенова кислота та антоціани. Як антиоксиданти, так і фенольні речовини здатні пригнічувати розвиток ракових клітин і позитивно впливати на серцево-судинну систему, знижуючи ризик гіпертонії та високого артеріального тиску [4].

Однак картопля може становити потенційну загрозу для здоров'я людини через вміст глікоалкалоїдів (ГА) — групи нітрогеновмісних сполук, які природним чином виробляються різними видами культурних і декоративних рослин родини пасльонових. Ці сполуки виконують захисну функцію, підвищуючи стійкість рослин до шкідників і хвороб. ГА складаються зі стероїдного аглікону та бічного ланцюга, утвореного олігосахаридами. У найбільш поширених комерційних сортах картоплі головними ГА є  $\alpha$ -чаконін і  $\alpha$ -соланін, у баклажанах (*S. melongena*) переважають глікоалкалоїди  $\alpha$ -соламаргін і азолазонін, у томатах (*S. lycopersicum*) основними ГА є  $\alpha$ -томатин і  $\alpha$ -дегідротоматин. Приклади нехарчових рослин із родини пасльонових

включають тютюн, петунію та пасльонові гірко-солодкі. ГА, що містяться в картоплі, більш токсичні, ніж ті, що містяться в помідорах і томатах [5, 6]. Підвищений вміст таких сполук у харчових продуктах супроводжується появою гірко-смаку. Алкалоїдні глікозиди, такі як  $\alpha$ -соланін і  $\alpha$ -чаконін, можуть мати шкідливий вплив на травну систему. У великих кількостях надходження в організм цих речовин можуть спричинити прискорене серцебиття, збої в роботі нервової системи й навіть становити загрозу життю як для людини, так і для сільськогосподарських тварин [7].

У сучасних умовах проблема безпечності та якості харчових продуктів набула пріоритетного значення і особливої актуальності, стала важливим фактором підвищення рівня життя та забезпечення продовольчої безпеки. Безпечний харчовий продукт — харчовий продукт, який не створює шкідливого впливу на здоров'я людини безпосередньо чи опосередковано за умов його виробництва та обігу з дотримання вимог санітарних заходів і споживання за призначенням. Таким чином, питання контролю вмісту  $\alpha$ -соланіну і  $\alpha$ -чаконіну є актуальним як для продовольчої картоплі, так і картоплі для промислової переробки.

Представляє науково-практичний інтерес аналіз стану даних щодо токсичності  $\alpha$ -чаконіну і  $\alpha$ -соланіну, їх методи виявлення та контролю в харчових продуктах, оскільки картопля залишається одним із найважливіших харчових продуктів та сировиною для виробництва ряду продуктів харчування і, звичайно, картопляного крохмалю.

**Огляд останніх досліджень і публікацій.** У картоплі міститься отруйна речовина — соланін, глікозид, що складається з алкалоїду соланідину і трисахариду, який містить глюкозу, галактозу, рамнозу. Багато глікозидів у поверхневих шарах бульби і особливо в шкірці. Вміст соланіну різко збільшується при зберіганні картоплі на світлі. Соланін — один із видів сапоніну, який є сильним піноутворювачем, що робить його шкідливою домішкою у виробництві [8]. Соланін проявляє свою негативну дію при вмісті понад 2,0 мг/кг. Особливо багато його в позеленілих бульбах і пророслих паростках.

Комісія експертів Європейського агентства з безпеки харчових продуктів (EFSA) з питань забруднюючих речовин у харчовому ланцюзі (CONTAM) провела оцінку ризику, пов'язаного з глікоалкалоїдами у кормах і харчових продуктах, зокрема в картоплі та продуктах на її основі. Для цих ефектів група CONTAM визначила найнижчий рівень, при якому спостерігається шкідлива дія (LOAEL) як орієнтир для оцінки ризику при гострому впливі, що становить 1 мг загального вмісту глікоалкалоїдів картоплі на кг маси тіла на добу [5, 14]. У Рекомендації Комісії ЄС 2022/561 від 6 квітня 2022 року щодо моніторингу вмісту глікоалкалоїдів у картоплі та продуктах її переробки [14] встановлено індикативний рівень у 100 мг/кг для суми  $\alpha$ -соланіну та  $\alpha$ -чаконіну.

В Україні активними розробками портативних систем для аналізу вмісту ГА в картоплі на основі біосенсорів, які використовували антихолінестеразну активність глікоалкалоїдів, займалися на початку 2000 років. Так, у працях [9—12] запропоновано використовувати потенціометричний біосенсор, який дає змогу селективно визначати ГА на фоні іонів важких металів і фосфороорганічних пестицидів. Вказаний біосенсор, метод високоефективної рідинної хроматографії й тонкошарової хроматографії були використані для виявлення ГА у сортах картоплі, що вирощуються в Україні, також підтверджено високу валідність результатів. У подальшому розробка була вдосконалена: оптимізовано процедуру підготовки зразків бульб картоплі, від-

працьовані аналітичні методики й експериментальні протоколи для кількісного визначення ГА, досліджено вплив параметрів зберігання зразків на чутливість і відтворюваність сенсорного сигналу, сама методика перевірена на різних сортах врожайності 2007 і 2008 років [13]. Фактично в Україні в подальшому не фіксувалось додаткових наукових доробок у галузі дослідження ГА картоплі.

Серед рекомендованих аналітичних методів — рідинна хроматографія з ультрафіолетовим фотодіодним детектором (LC-UV-DAD) та рідинна хроматографія в поєднанні з мас-спектрометрією (LC-MS). Можна також застосовувати альтернативні методи за умови надання підтверджень їх надійності для визначення конкретних глікоалкалоїдів. Межа кількісного визначення (LOQ) для кожного глікоалкалоїду, зазвичай, має становити близько 1 мг/кг і не повинна перевищувати 5 мг/кг [14].

Для якісного визначення соланіну бульбу картоплі розрізають на пластинки за товшки 1 мм від верхівки до середини, з боків і біля вічок. Пластинки поміщають у фарфорову чашку і на них наносять по краплях спочатку оцтову (80—90%), а потім — сірчану кислоту і кілька крапель 5-відсоткового розчину перекису водню. Зрізи з вмістом соланіну швидко червоніють — і тим інтенсивніше, чим більше соланіну знаходиться в картоплі. Кількісне визначення вмісту соланіну проводять методом, який описано у [15].

На території України чинний Національний стандарт України «ДСТУ 9221:2023 Картопля продовольча. Технічні умови» не передбачає контроль вмісту ГА в картоплі. Цей стандарт поширюється на технологію вирощування продовольчої картоплі, яку заготовляють і поставляють для споживання у свіжому вигляді, а також для перероблення на продукти харчування. У стандарті вказано кількість бульб із виростами, наростами, з плямами блідо-зеленого кольору загальною площею понад 2 см<sup>2</sup>, але не більше ніж 1/4 поверхні бульби, сукупно відсоток не більше ніж 2,0—10,0% від маси, залежно від того, рання картопля чи пізня. Завдяки наведеному гранично допустимому вмісту токсичних елементів і речовин у продовольчій картоплі, таких як свинець, кадмій, ртуть, миш'як, мідь, цинк, папулін, нітратів, є можливість контролювати вміст шкідливих речовин у картоплі та надавати споживачу безпечний харчовий продукт [16].

Однак слід зазначити, що в «ДСТУ 4993:2008 Картопля для промислового перероблення» регламентують вміст позеленілих і недозрілих бульб не більше 2%, що є непрямим критерієм підвищення вмісту соланіну [17]. Цей стандарт установлює вимоги до картоплі, призначеної для промислового перероблення на продукти харчування (картопляні чипси, заморожений напівфабрикат (картопля фрі) та сухе картопляне пюре), спирт і крохмаль.

**Мета дослідження:** аналіз актуальної інформації про властивості і токсичність  $\alpha$ -соланіну та  $\alpha$ -чаконіну, перспективи використання ГА як потенційних лікарських засобів, методи контролю вказаних ГА в картоплі для промислового перероблення та картоплі продовольчої.

**Викладення основних результатів дослідження.** У їстівній картоплі (*Solanum tuberosum*) основними ГА є  $\alpha$ -соланін і  $\alpha$ -чаконін. Як показано на рис. 1,  $\alpha$ -чаконін має розгалужений бічний ланцюг вуглеводу  $\beta$ -чакотріозу (біс- $\alpha$ -L-рамнопіранозил- $\beta$ -D-глюкопіраноза), приєднаного до 3-ОН групи агліконасоланідину. У свою чергу,  $\alpha$ -соланін містить схожий розгалужений ланцюг  $\beta$ -солатріозу ( $\alpha$ -L-рамнопіранозил- $\beta$ -D-глюкопіранозил- $\beta$ -галактопіраноза), який також зв'язаний із тією ж гідроксильною групою аглікона. Обидва трисахаридні ланцюги можуть бути послідовно розщеплені під

дією кислотного або ферментативного гідролізу, в результаті чого утворюється аглікон — соланідин. У картоплі можуть бути присутні невеликі кількості таких продуктів гідролізу, як  $\beta$ - і  $\gamma$ -чаконіни, соланіни та соланідин [18, 19].

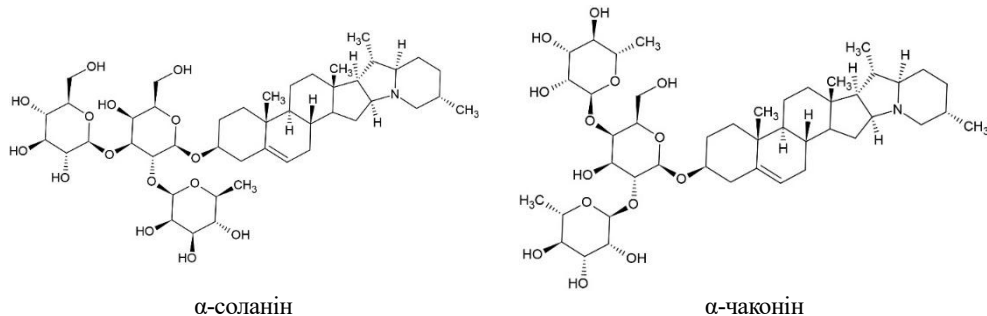


Рис. 1. Структурні формули  $\alpha$ -соланіну і  $\alpha$ -чаконіну

ГА  $\alpha$ -соланін і  $\alpha$ -чаконін є твердими безбарвними речовинами, які кристалізуються із метанолу у формі голчастих кристалів і мають температуру плавлення 286 °C для  $\alpha$ -соланіну та 243 °C для  $\alpha$ -чаконіну відповідно. Вони практично нерозчинні у воді (1,38 мг/л), етері і хлороформі. При дослідженнях на щурах при внутрішньочеревинному введенні для  $\alpha$ -соланіну LD<sub>50</sub> складало 67,0 мг/кг, для  $\alpha$ -чаконіну — 84,0 мг/кг [20—22].

У правильно вирощеній, зібраній і збереженій картоплі вміст ГА, зазвичай, становить від 20 до 100 мг/кг. Однак у деяких випадках результати аналізів зразків картоплі фіксують рівні ГА, що перевищують 200 мг/кг [23].

Європейське агентство з безпеки харчових продуктів (EFSA) встановило, що середній вміст  $\alpha$ -соланіну та  $\alpha$ -чаконіну в картоплі становить 51,2 мг/кг. Максимальне зафіксоване значення становить 276,6 мг/кг. З огляду на можливий гострий харчовий вплив, особливу стурбованість викликає ризик для здоров'я немовлят і дітей раннього віку. Для дорослих потенційні ризики виникають лише у випадках надмірного споживання [5].

$\alpha$ -Чаконін і  $\alpha$ -соланін становлять приблизно 95% загального вмісту ГА у бульбах картоплі. Їхня концентрація може змінюватися під впливом екологічних та генетичних чинників. У зрілих плодах рівень соланіну зазвичай є мінімальним. До основних факторів, які сприяють підвищенню вмісту соланіну, належать: фізичне ушкодження рослини, певні сорти картоплі, фізіологічний стрес, недостиглість, температурні фактори та вплив світла. Позеленіння бульб після збору врожаю є ознакою зберігання в неналежних умовах. Наприклад, у Китаї це призводить до 15% втрати врожаю картоплі [24, 25]. Однак варто зазначити, що позеленіння картоплі не завжди може свідчити про підвищення рівня ГА. Це лише кольорова індикація можливої проблеми.

Соланін разом із чаконіном синтезується в картоплі з ацетил-коензиму А і холестерину [18, 26]. У картопляній шкірці концентрація ГА значно перевищує їхній рівень у м'якоті. Щоб ефективно видалити токсичну частину соланіну, достатньо очистити картоплю на глибину 3—4 мм. Це зменшить вміст соланіну на 30—80% порівняно з неочищеною картоплею, знижуючи ризик надлишкового споживання глікоалкалоїдів. Це ж стосується і паростків картоплі, які проростають як відповідь на стресові умови зберігання. Вміст  $\alpha$ -соланіну можна оцінити органолептичним спо-

собом: гіркий смак шкірки свідчить про його високу концентрацію. Якщо після споживання невеликого шматочка відчувається печіння в роті, це свідчить про рівень соланіну понад 0,2 мг/г. Для дорослих токсичним вважається дозування 200—400 мг, а для дітей критичною може стати вже доза 20—40 мг. Доза понад 600 мг потенційно небезпечна для життя [24, 25, 27, 28]. Типове співвідношення  $\alpha$ -чаконіну до  $\alpha$ -соланіну в бульбі становить приблизно 60:40 [29].

Процеси нарізання та промивання картоплі у воді мають лише незначний вплив на зменшення рівня ГА. Бланшування є трохи ефективнішим, оскільки під час цієї процедури частково видаляються водорозчинні ГА. Однак навіть при цьому рівень їх зниження залишається недостатньо високим. Варіння картоплі у воді більш суттєво сприяє зниженню концентрації ГА у бульбах. Це пояснюється підвищенням їх розчинності у воді при піднятті температури води до її кипіння. Ще більше понижує вміст рівня ГА смаження за рахунок високої температури цього процесу [30, 31].

Токсичну дію ГА картоплі  $\alpha$ -чаконіну та  $\alpha$ -соланіну пов'язують з численними випадками отруєнь, зокрема летальних, зафіксованих у ХХ ст. в Німеччині та Великій Британії. Повідомлялося, що  $\alpha$ -чаконін є високоцитотоксичним глікоалкалоїдом у картоплі. А тератогенний потенціал  $\alpha$ -соланіну підтверджено в експериментальних дослідженнях на тваринних моделях (мишах та амфібіях), де спостерігалися вроджені аномалії розвитку, зокрема ураження центральної нервової системи [32—34]. Результати сукупної токсикологічної оцінки свідчать, що ГА картоплі проявляють токсичну дію на людину навіть у дуже низьких дозах, що робить її більш чутливою до цих сполук порівняно з іншими видами тварин [35].

Структура  $\alpha$ -соланіну демонструє схожість із стероїдними гормонами людини, зокрема андрогенами, естрогенами, прогестероном та іншими статевими гормонами. Як стероїдний алкалоїд соланін характеризується широким спектром біологічної активності: в низьких концентраціях він виявляє протизапальні властивості, чинить протиалергічну дію, сприяє профілактиці бронхіальної астми, а також впливає на регуляцію метаболічних процесів і функціонування ендокринної системи. На сьогодні кілька досліджень *in vitro* та *in vivo* показали його антипроліферативну активність проти раку:  $\alpha$ -соланін пригнічує ріст ракових клітин печінки (HepG2), лімфоми (U937), товстої кишки (HT29), шлунка (AGS і KATO III) і ракових клітин шийки матки (HeLa). Ці дослідження показують, що  $\alpha$ -соланін може бути потужним засобом для майбутньої протипухлинної терапії [36, 37].

Для визначення вмісту глікоалкалоїдів (ГА) було розроблено низку аналітичних методів, зокрема: ультрафіолетова спектрофотометрія, високоефективна тонкошарова хроматографія, імунологічні методи аналізу, високоефективна рідинна хроматографія з ультрафіолетовим детектором, рідинна хроматографія з мас-спектрометрією, а також матрична лазерна десорбційно-іонізаційна часпролітна мас-спектрометрія. Серед зазначених методів хроматографічні методи найбільш поширені завдяки їх високій чутливості й точності. Водночас їх аналітичні характеристики можуть значно погіршуватись у присутності складних матриць. Зазначено, що з метою підвищення надійності результатів, необхідно застосовувати ефективні методи попередньої обробки зразків, зокрема селективної екстракції та ізоляції цільових глікоалкалоїдів перед проведенням інструментального аналізу [38]. Пропонуються різні способи оптимізації обробки зразка. Зокрема ефективним та екологічним показав себе метод обробки зразків ультразвуком [39, 40] або з використанням мікрохвильової екстракції [41].

Офіційний метод АОАС застосовує колонку C18 та елюент 60:40 ацетонітрил/вода з фосфатним буфером pH 7,6. Детектування проводять на довжині хвилі 202 нм. Зразки попередньо заморожують, ліофільно сушать і екстрагують суму ГА водним розчином вода/оцтова кислота/NaHSO<sub>3</sub> (100:5:0,5 — о/о/м). Потім ГА концентрують і виділяють методом твердофазної екстракції на картриджах C18 з подальшим зберіганням зразка при понижений температурі [42].

**Висновок.** Картопля як один із найбільш важливих харчових продуктів може містити потенційно небезпечні рівні концентрацій глікоалкалоїдів, зокрема  $\alpha$ -соланіну та  $\alpha$ -чаконіну. Підвищення їх вмісту залежить від багатьох факторів, зокрема від сортових особливостей, умов вирощування та зберігання, ступеня зрілості й фізичної цілісності бульби. ЄС вимагає контролю за рівнем глікоалкалоїдів у картоплі та продуктах з неї від держав-членів та операторів харчового бізнесу. Вивчення ГА картоплі активізувалось в останні роки, оскільки важливими є показники вмісту описаних речовин для прямого використання продовольчої картоплі та її промислового перероблення. Методи контролю були зосереджені на використанні сучасних інструментальних методів аналізу із удосконаленням процедур обробки і підготовки проб.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Федосій, І. О., Комар, О. О., Фурдига, М. М., Захарчук, Н. А. (2022). *Картоплярство: навчальний посібник*. Київ: ФОП Ямчинський.
2. Ruiz de Galarreta, J. I., Pascualena, J., Legorburu, F. J. et al. (2006). The History of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Research in Spain. *Potato Research*, 49, 19—25. DOI: 10.1007/s11540-006-9001-6.
3. Maiti, R. K., and Singh, V. (2022). A mini review on origin, history and taxonomic status of the potato. *Farm. Manage.*, 7, 21—35. DOI:10.31830/2456-8724.2022.FM-104.
4. Waseem, K., and others. (2020). Nutritional composition and health benefits of potato. *Adv Food & Nutr Sci.*, 5, 7—16. DOI:10.21065/25631 640.5.7.
5. EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain). (2020). Scientific Opinion — Risk assessment of glycoalkaloids in feed and food, in particular in potatoes and potato-derived products. *EFSA Journal*, 18(8):6222. DOI: 10.2903/j.efsa.2020.6222.
6. Glycoalkaloids in Foods. URL: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/reports-publications/food-safety/glycoalkaloids-foods.html> (дата звернення: 27.04.2025).
7. Edited By Leo, M. L., Nollet, Javed A. (2022). *Analysis of Naturally Occurring Food Toxins of Plant Origin*. CRC Press. DOI: 10.1201/9781003222194.
8. Грабовська, О. В. (2010). *Технологія крохмалю та крохмалепродуктів: курс лекцій*. К.: НУХТ.
9. Arkhypova, V. N. et al. (2004). Application of enzyme field effect transistors for fast detection of total glycoalkaloids content in potatoes. *Sensors Actuators B Chemical.*, 103(1), 416—422. DOI: 10.1016/j.snb.2004.04.070.
10. Nazarenko, E. A. et al. (2004). Potato glycoalkaloids detection based on conductometric sensor coupled to butyryl cholinesterase. *Biopolym. Cell.*, 20(4), 331—336. DOI: 10.7124/bc.0006B8.
11. Назаренко, О. А. та ін. (2005). Потенціометричний біосенсор для визначення глікоалкалоїдів картоплі: керована зміна аналітичних характеристик, порівняння з методом тонкошарової хроматографії. *Біополімери і клітина*, 21(3), 275—282.
12. Корпан, Y. I. et al. (2006). Sensitivity and specificity improvement of an ion sensitive field effect transistors-based biosensor for potato glycoalkaloids detection. *J. Agric. Food Chem.*, 54(3), 707—712. DOI: 10.1021/jf0529316.
13. Архипова, В. М. та ін. (2009). Біосенсорний аналіз глікоалкалоїдів у картоплі. *Biotechnology*, 2(3), 64—73.
14. Commission Recommendation (EU) 2022/561 of 6 April 2022 on monitoring the presence of glycoalkaloids in potatoes and potato-derived products. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022H0561> (дата звернення: 16.04.2025).

15. Ібатуллін, І. І., Мельник, Ю. Ф., Отченашко, В. В., та ін. (2015). *Практикум з годівлі сільськогосподарських тварин*: навчальний посібник. Під ред. академіка НААН України І. І. Ібатулліна.
16. ДСТУ 9221:2023 Картопля продовольча. Технічні умови. Київ, 2023, 17 с.
17. ДСТУ 4993:2008 Картопля для промислового перероблення. Технічні умови. Київ, 2008. 10 с.
18. Friedman, M. (2006). Potato Glycoalkaloids and Metabolites: Roles in the Plant and in the Diet. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 8655—8681. DOI: 10.1021/jf061471t.
19. Nepal, B., and Stine, K. J. (2019). Glycoalkaloids: Structure, Properties, and Interactions with Model Membrane Systems. *Processes*, 7, 513. DOI:10.3390/pr7080513.
20. The Merck Index: *An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*. (2013). Edited by M. J. O'Neil, Royal Society of Chemistry. Cambridge 15<sup>th</sup> Edition.
21. Alpha-Solanine. PubChem. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6537493> (дата звернення: 27.04.2025).
22. Alpha-Chaconine. PubChem. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/442971> (дата звернення: 27.04.2025).
23. FAQ to the BfR from 23 April 2018: Frequently asked questions about solanine (glycoalkaloids) in potatoes URL: <https://www.bfr.bund.de/cm/349/frequently-asked-questions-about-solanine-glycoalkaloids-in-potatoes.pdf> (дата звернення: 27.04.2025).
24. Karaca, M., Erbaş, O. (2024). Solanine Poisoning: Effects, Risks, and Management Strategies. *JEB Med. Sci.*, 5(2), 189—193. DOI: 10.5606/jebms.2024.1090.
25. Liu, J-M. et al. (2020). Antimicrobial Activity Against Phytopathogens and Inhibitory Activity on Solanine in Potatoes of the Endophytic Bacteria Isolated From Potato Tubers. *Front. Microbiol.*, 11:570926. DOI: 10.3389/fmicb.2020.570926.
26. Sebastian, B. et al. (2021). Biosynthesis of  $\alpha$ -solanine and  $\alpha$ -chaconine in potato leaves (*Solanum tuberosum* L.) — A  $^{13}\text{CO}_2$  study. *Food Chemistry*, 15:365:130461. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130461.
27. Izawa, K. et al. (2010). Human-environment interactions — Taste. *Comprehensive Natural Products II*, 631—671. URL: <https://pharmacy.hebmu.edu.cn/trywhx/resources/43/2019624171159.pdf> (дата звернення: 27.04.2025)
28. Duggan, T., Dawid, C., Baur, S., Hofmann, T. (2020). Characterization of Bitter and Astringent Off-Taste Compounds in Potato Fibers. *J. Agric. Food Chem.*, 68(41), 11524—11534 DOI: 10.1021/acs.jafc.0c04853.
29. Barceloux, D. G. (2009). Potatoes, tomatoes, and solanine toxicity (*Solanum tuberosum* L., *Solanum lycopersicum* L.). *Dis Mon.*, 55(6), 391—402. DOI: 10.1016/j.disamonth.
30. Zarins, R., Kruma, Z. (2017). Glycoalkaloids in potatoes: a review. 11th Baltic Conference on Food Science and Technology "Food science and technology in a changing world" Foodbalt 2017 Conference Proceedings. Jelgava, LLU, 7—11. DOI: 10.22616/foodbalt.2017.002.
31. Liu, H. et al. (2020). Effect of acid on glycoalkaloids and acrylamide in French fries. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo Risk Assess.*, 37, 938—945. DOI: 10.1080/19440049.2020.1743883.
32. Ordóñez-Vásquez, A. et al. (2019). Toxicity, teratogenicity and anti-cancer activity of  $\alpha$ -solanine: A perspective on anti-cancer potential. *Int. J. Pharmacol.*, 15, 301—310. DOI: 10.3923/ijp.2019.301.310.
33. He, Y. et al. (2021).  $\alpha$ -Chaconine Affects the Apoptosis, Mechanical Barrier Function, and Antioxidant Ability of Mouse Small Intestinal Epithelial Cells. *Front. Plant Sci.*, 12:673774. DOI: 10.3389/fpls.2021.673774.
34. *Handbook of plant and animal toxins in food: occurrence, toxicity, and prevention*. Edited by Gulzar Ahmad Nayik, & Jasmeet Kour, First edition. | Boca Raton: CRC Press, 2022. DOI: 10.1201/9781003178446.
35. Uluwaduge, D. I. (2018). Glycoalkaloids, bitter tasting toxicants in potatoes: A review. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 3, 188—193.
36. Pan, B. et al. (2016). Inhibition of prostate cancer growth by solanine requires the suppression of cell cycle proteins and the activation of ROS/P38 signaling pathway. *Cancer Med.*, 5(11):3214—3222. DOI: 10.1002/cam4.916. Epub 2016 Oct 10. PMID: 27726305; PMCID: PMC5119977.

37. Hassan, S. H. et al. (2021). Alpha Solanine: A Novel Natural Bioactive Molecule with Anticancer Effects in Multiple Human Malignancies. *Nutr. Cancer.*, 73(9), 1541—1552. DOI: 10.1080/01635581.2020.1803932. Epub 2020 Aug 7. PMID: 32762370.
38. Petrova, I., Ivanova-Petropolus, V., Koleva-Gudeva, L. (2023). HPLC-DAD method for analysis of glycoalkaloids alpha-solanine and alpha-chaconine in conventional potato. *Journal of International Scientific Publications: Agriculture & Food.*, 11, 312—320. DOI: 10.62991/AF1996325925.
39. Martínez-García, I., Gaona-Scheytt, C., Morante-Zarcero, S., Sierra, I. (2024). Development of a Green, Quick, and Efficient Method Based on Ultrasound-Assisted Extraction Followed by HPLC-DAD for the Analysis of Bioactive Glycoalkaloids in Potato Peel Waste. *Foods.*, 13, 651. DOI: 10.3390/foods13050651.
40. Martínez-García, I., Pérez-Quintanilla, D., Morante-Zarcero, S., Sierra, I. (2025). Effect of various culinary treatments on the glycoalkaloid content of potato peel, *Journal of Food Composition and Analysis*, 137(A), 106937. DOI: 10.1016/j.jfca.2024.106937.
41. Narasimharao, K., Jacob, S., McDougal, O. (2017). Determination of Glycoalkaloids in Potatoes and Potato Products by Microwave Assisted Extraction. *American Journal of Potato Research*, 94(2), 153—159. DOI: 10.1007/s12230-016-9558-9.
42. AOAC (2000). Glycoalkaloids ( $\alpha$ -solanine and chaconine) in potato tubers. Official method 997.13, 1—4.