



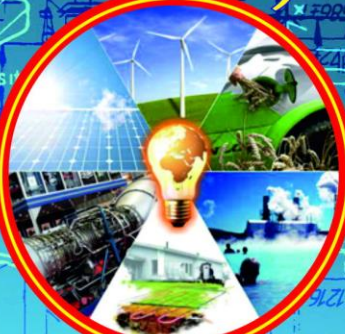
Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI:10.37128/2520-6168-2024-1

№1 (124)



2024

Machinery
Energetics
Transport
of Agribusiness

ТЕХНІКА
ЕНЕРГЕТИКА
ТРАНСПОРТ АПК



Всеукраїнський науково-технічний журнал

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

№ 1 (124) / 2024

м. Вінниця - 2024

*Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» /
Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та інші. Вінниця, 2024. № 1 (124). С. 148.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету
(протокол № 10 від 22.04.2024 р.)*

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.

*Журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» включено до переліку наукових фахових видань
України з технічних наук (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України
від 02.07.2020 року №886);*

*Згідно рішення Національної ради України з питань телебачення та радіомовлення від
25.04.2024 р. №1337 науковому журналу «Техніка, енергетика, транспорт АПК» присвоєно
ідентифікатор медіа R30-05173.*

- присвоєно ідентифікатор цифрового об'єкта (Digital Object Identifier – DOI);

- індексується в CrossRef, Google Scholar;

- індексується в міжнародній наукометричній базі [Index Copernicus Value](#) з 2018 року.

Головний редактор

Токарчук О.А. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Заступник головного редактора

Веселовська Н.Р. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Відповідальний секретар

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., професор, академік НААН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Солоня О.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Граняк В.Ф. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Спірін А.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Іванчук Я.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

Твердохліб І.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Іскович – Лотоцький Р.Д. – д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет

Цуркан О.В. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Купчук І.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Яронуд В.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

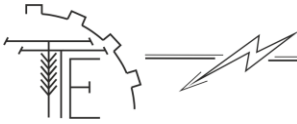
Йордан Максимов – д.т.н., професор, Технічний університет Габрово (Болгарія)

Аудріус Жунда – к.т.н., доцент, Університет Вітовта Великого (Литва)

Відповідальний секретар редакції Полєвода Ю.А. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет,
тел. (0432) 46–00–03

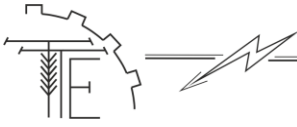
Сайт журналу: <http://tetapk.vsau.org/>

Електронна адреса: pophv@ukr.net



ЗМІСТ

I. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО. ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ	
<i>Grygorii KALETNIK, Vitalii YANOVYCH, Svitlana LUTKOVSKA, Yurii POLIEVODA, Olena SOLONA</i> APPLICATION OF THERMAL ANEMOMETRY FOR TURBULENT FLOW ASSESSMENT...	5
<i>Kateryna VYNARCHUK</i> THE ROLE AND PERSPECTIVE OF THE USE OF METAL NANOPARTICLES IN THE CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS.....	16
<i>КУПЧУК Ігор Миколайович, ВОЛИНЕЦЬ Євгеній Олександрович</i> ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНАКТИВАЦІЇ АНТИПОЖИВНИХ РЕЧОВИН СОЇ....	26
<i>ПАЗЮК Вадим Михайлович, ТОКАРЧУК Олексій Анатолійович, ШАПОВАЛЮК Сергій Олександрович</i> ТЕПЛОВІ НАСОСИ ЯК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЗАСІБ СУШННЯ ЗЕРНА.....	33
<i>Sergiy BURLAKA, Roman YAROSHCHUK</i> TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF A MIXED FUEL FILTER FOR DIESEL AND BIOFUELS.....	41
<i>Sergii SHARGORODSKIY, V. HALANSKYI</i> JUSTIFICATION OF CONSTRUCTION AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE STRIP-TILL SECTION FOR STRIP TILLAGE WITH THE APPLICATION OF FERTILIZERS.....	47
<i>ЯРОПУД Віталій Миколайович</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ ТВАРИНИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ.....	56
II. АГРОІНЖЕНЕРІЯ	
<i>АЛІЄВ ЕЛЬЧИН Бахтияр огли, БЕЗВЕРХНІЙ Петро Євгенович, АЛІЄВА Ольга Юрійвна</i> РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАСПОКОЮВАЧА НАСІННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ВИСІВНОЇ СЕКЦІЇ ПНЕВМАТИЧНОЇ СІВАЛКИ.....	73
<i>Anatoliy HRYTSUN, Olena SOLONA</i> OVERVIEW OF MECHANIZED CARE EQUIPMENT BY THE HOOVES OF CATTLE.....	82
<i>БУРЛАКА Сергій Андрійович, ГАЛУЩАК Олександр Олександрович, БОРИСЮК Дмитро Вікторович, БАРАНОВ Владислав Анатолійович</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ЧАСТИНОК ПАЛИВА У ЗМІШУВАЧІ.....	89
<i>ЄЛЕНИЧ Анатолій Павлович</i> КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ CASE ІН СЕРІЇ «AXIAL-FLOW».....	95
<i>КОНДРАТЮК Дмитро Гнатович, ТРУХАНСЬКА Олена Олександрівна, ПРЯДКІН Максим Олександрович</i> АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РОТАЦІЙНИХ КОСАРОК – ПЛЮЩИЛОК.....	106
III. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА	
<i>Serhii BOIKO, Olexsii ZHUKOV, Andriy KOVAL, Vdym BOMBIK</i> PRINCIPLES OF APPLICATION OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN REGIONS WITH LIMITED DRINKING WATER RESOURCES.....	115
<i>ГРАННЯК Валерій Федорович, РОГАЧ Валентин Петрович</i> КОНЦЕПЦІЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРЕЦИЗІЙНОЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОЛЕКТОРНИМ ДВИГУНОМ ВЕРСТАТУ ЧПК.....	122
<i>ДУБЧАК Віктор Миколайович, НОВИЦЬКА Людмила Іванівна, МАНЖОС Ельвіра Олександрівна</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЕЛИКОГО ВОДОСХОВИЩА, ВСТАНОВЛЕННЯ ТА ЗНАХОДЖЕННЯ ЙОГО ОСНОВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	129
<i>Olexsii TOKARCHUK, Dina TOKARCHUK, Mykola MYTKO, Vladyslav BAHRII</i> MODERN INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND MATERIALS FOR ENHANCING THE EFFICIENCY OF SOLAR PANELS.....	140



CONTENTS

I. APPLIED MECHANICS. MATERIALS SCIENCE. INDUSTRY MACHINERY BUILDING

<i>Grygorii KALETNIK, Vitalii YANOVYCH, Svitlana LUTKOVSKA, Yurii POLIEVODA, Olena SOLONA</i> APPLICATION OF THERMAL ANEMOMETRY FOR TURBULENT FLOW ASSESSMENT...	5
<i>Kateryna VYNARCHUK</i> THE ROLE AND PERSPECTIVE OF THE USE OF METAL NANOPARTICLES IN THE CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS.....	16
<i>Ihor KUPCHUK, Yevhenii VOLYNETS</i> REVIEW OF MODERN TECHNOLOGIES FOR INACTIVATION OF ANTI-NUTRIENTS IN SOYBEANS.....	26
<i>Vadym PAZIUK, Oleksii TOKARCHUK, Serhii SHAPOVALIUK</i> HEAT PUMPS AS AN ENERGY-EFFICIENT MEANS OF GRAIN DRYING.....	33
<i>Sergiy BURLAKA, Roman YAROSHCHUK</i> TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF A MIXED FUEL FILTER FOR DIESEL AND BIOFUELS.....	41
<i>Sergii SHARGORODSKIY, Vadym HALANSKYI</i> JUSTIFICATION OF CONSTRUCTION AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE STRIP-TILL SECTION FOR STRIP TILLAGE WITH THE APPLICATION OF FERTILIZERS.....	47
<i>Vitalii YAROPUD</i> STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING PROCESS OF THE MECHATRONIC SYSTEM OF ENSURING THE MICROCLIMATE OF ANIMAL PREMISES.....	56

II. AGROENGINEERING

<i>Elchyn ALIIEV, Petro BEZVERKHNIY, Olha ALIIEVA</i> РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАСПОКОЮВАЧА НАСІННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ВИСІВНОЇ СЕКЦІЇ ПНЕВМАТИЧНОЇ СІВАЛКИ.....	73
<i>Anatoliy HRYTSUN, Olena SOLONA</i> OVERVIEW OF MECHANIZED CARE EQUIPMENT BY THE HOOVES OF CATTLE.....	82
<i>Serhii BURLAKA, Oleksandr HALUSHCHAK, Dmytro BORYSIUK, Vladyslav BARANOV</i> RESEARCH OF THE TRAJECTORY OF THE MOVEMENT OF FUEL PARTICLES IN THE MIXER.....	89
<i>Anatoliy YELENYCH</i> DESIGN FEATURES OF GRAIN HARVESTING COMBINEERS CASE IH "AXIAL-FLOW" SERIES.....	95
<i>Dmytro KONDRATUK, Olena TRUKHANSKA, Maksym PRIADKIN</i> ANALYSIS OF ROTARY MOWER DESIGNS – CONDITIONERS.....	106

III. ELECTRICAL ENERGY, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

<i>BOIKO Serhii, ZHUKOV Oleksii, KOVAL Andriy BOMBIK Vdym</i> PRINCIPLES OF APPLICATION OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN REGIONS WITH LIMITED DRINKING WATER RESOURCES.....	115
<i>Valerii HRANIAK, Valentyn ROHACH</i> CONCEPT OF IMPLEMENTATION OF PRECISION MICROPROCESSOR CONTROL SYSTEM OF COLLECTOR ENGINE OF CNC MACHINE.....	122
<i>Viktor DUBCHAK, Liudmyla NOVYTSKA, Elvira MANZHOS</i> MATHEMATICAL MODEL OF A LARGE RESERVOIR, ESTABLISHING AND FINDING ITS MAIN ENERGY CHARACTERISTICS.....	129
<i>Oleksii TOKARCHUK, Dina TOKARCHUK, Mykola MYTKO, Vladyslav BAHRII</i> MODERN INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND MATERIALS FOR ENHANCING THE EFFICIENCY OF SOLAR PANELS.....	140



УДК 637.533.7:664.614

DOI: 10.37128/2520-6168-2024-1-3

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНАКТИВАЦІЇ АНТИПОЖИВНИХ РЕЧОВИН СОЇ

КУПЧУК Ігор Миколайович, к.т.н., доцент
ВОЛИНЕЦЬ Євгеній Олександрович, асистент
Вінницький національний аграрний університет

Ihor KUPCHUK, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Yevhenii VOLYNETS, Assistant
Vinnytsia National Agrarian University

В дослідженні розглянуто технології інактивації антипоживних речовин сої такі як інгібітори протеолітичних ферментів. Крім того, соя має два інгібітори трипсину, які зв'язують цистин і метіонін. До інгібіторів протеаз відносяться інгібітори трипсину та хімотрипсину - це речовини, які закладені самою природою в соєвий біб для його захисту від поїдання птахами, гризунами та від розвитку в ньому мікрофлори. Відповідно до термостійкості антипоживні речовини можуть бути класифіковані на теплочутливі та теплостійкі. Метою проведених досліджень було вивчення сучасних методів та технологічних рішень, спрямованих на оптимізацію збереження корисних характеристик сої та зменшення вмісту антипоживних компонентів. З метою інактивації зазначених антипоживних речовин застосовують фізичні, хімічні та біологічні методи обробки зернобобів. У результаті термообробки підвищується поживна цінність бобів, а саме: перетравність білків зростає до 90 %, значно знижується зараженість бобів мікрофлорою. Кількість інгібітора трипсина у соєвих бобах після смаження ростером вірогідно знизилась в 2,45 раз, а активність ліпоксигенази – у 2,71 рази. Із найбільш привабливих та високоефективних, але не достатньо досліджених є метод термічної обробки насіння зернобобових культур під назвою мікронізація. При цьому процес інактивації антипоживних речовин бобів сої відбувається дуже швидко – протягом 50...70с, значно підвищується поживна цінність білка, також енергетична цінність збільшується (приблизно від 7800 до 16000 кДж/кг). Розглянута технологія знешкодження анти поживних речовин бобів сої, яка ґрунтується на їх термічній обробці в 2,5 %-му розчині гідроксиду кальцію. Обробка бобів сої по розробленій технології дає змогу отримати корм без уреазної активності, а вміст інгібітору трипсину знаходиться на рівні 2-3 мг/г.

Ключові слова: соя, антипоживні речовини, інактивація, мікронізація, інгібітори трипсину, уреаз, фітогемаглютиніни, фітати.

Рис. 1. Табл. 4. Літ. 18.

1. Постановка проблеми

Соя, залежно від сортових особливостей та умов вирощування, може містити 27-50% білка, 15- 28 % олії, 14-33,2 % вуглеводів. Також соя містить оптимальну кількість таких корисних речовин як: мінеральні солі від 3,2 до 4,2%; кальцій від 320 до 350 мг; залізо від 9,2 до 14,9%; фосфор в значних кількостях вітаміни Р, С, РР, Е, і в невеликих А, В1, В2, В3, В6, К - все це свідчить про високу потенційну поживну цінність сої [1].

Негативним фактором є те, що соєві білки містять інгібітори протеолітичних ферментів. Крім того, соя має два інгібітори трипсину, які зв'язують цистин і метіонін. Найбільш негативний вплив мають інгібітори трипсину - водорозчинний Куніца та спирторозчинний Баумана-Бірка [2].

Потрапляючи в шлунок, лише частина соєвих інгібіторів втрачає до 30-40 % своєї активності. Інша частина, потрапляючи в травну систему в активній формі, інгібує ферменти, що виробляються підшлунковою залозою, що призводить до її гіпертрофії та різко знижує засвоюваність соєвого білка. Цим пояснюється актуальність досліджень спрямованих на обґрунтування технологій, що знижують інгібуючу активність сої під час її переробки [3].

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Соя – єдина з кормових культур, що є одночасно суперконцентратом білка та валової енергії. Боби сої багаті поліненасиченими жирними кислотами, фосфоліпідами, макро-, мікроелементами, вітаміном Е, клітковиною. Однак, соя містить більше десятка антипоживних речовин [4].



Відповідно до термостійкості антипоживні речовини можуть бути класифіковані на теплочутливі та теплостійкі (табл. 1) [5].

Таблиця 1

Антипоживні речовини в соєвих бобах

Теплочутливі	Теплостійкі
Інгібітори протеази	Сапоніни
Лектини	Естрогени
Гойтрогени	Ціаногени
	Фітати
	Олігосахариди
	Антигени

Антипоживні речовини сої також можна класифікувати за їхнім хімічним складом та властивостями. Загальна класифікація антипоживних речовин у сої наведена у таблиці 2.

Таблиця 2

Вміст антипоживних речовин в сої

Речовина	Вміст в сої (на 100 г)
Фітати (фітинова кислота)	1.0-2.2 г
Лектини	0.2-1.0 г
Протеази (протеїнази)	менше 0.1 г
Інгібітори трипсину	менше 0.2 г
Фітоестрогени (ізофлавоїди)	20-100 мг
Сапоніни	0.01-0.03 г
Оксалати (оксалатна кислота)	до 0.2 г
Трипсин інгібітори	3-20 мг
Фітіназа (фітаза)	100-700 ФТА одиниць
Антиоди (антигоди)	менше 0.01 г

До інгібіторів протеаз відносяться інгібітори трипсину та хімотрипсину - це речовини, які закладені самою природою в соєвий біб для його захисту від поїдання птахами, гризунами та від розвитку в ньому мікрофлори. Якщо сира соя вживається нежуйними тваринами, інгібітори протеаз зв'язують ферменти трипсин та хімотрипсин, які виділяються підшлунковою залозою тварин, і, тим самим, знижується ефективність перетравлення білка корму. Згодовування нативних бобів сої веде до зниження темпів росту тварин і до зменшення коефіцієнту конверсії кормів. У сирих бобах сої присутні два основні інгібітори протеаз – інгібітор Кунітца й інгібітор Баумана-Бірка. Останній більш стійкий до дії тепла, лугів та кислот. У сирих бобах сої наявність цих інгібіторів складає 1,4 і 0,6 % відповідно. Максимально допустима активність інгібіторів трипсину для молодняку тварин 3 мг/г на натуральну сою або на кожні 10 % протеїну повинно припадати не більше 1 мг/г інгібіторів трипсину [6].

Лектини або фітогемаглютеніни сої – це глікопротеїди, вміст яких в бобах складає 3 %, із ними пов'язують токсичність бобів сої, вони викликають множинні тромбози в капілярах слизової оболонки шлунково-кишкового тракту тварин, що призводить не тільки до різкого зниження засвоєння їжі, але й до значного розладу функції травлення. Установлено також, що, крім еритроцитів, лектини можуть аглютинувати й інші тваринні клітини, зокрема епітеліальні клітини слизової оболонки кишечника й лімфоцити. Соеві лектини зменшують виробництво інсуліну в щурів і знижують затримку азоту в організмі тварин та підвищують виділення азоту з сечею, вказуючи на зв'язок із білковим обміном [7].

Сапоніни – поверхнево-активні речовини які є медіаторами (посередниками) мембранного транспорту в рослині. Вони надають сирих бобам гіркий присмак і мають гемолітичну дію на червоні кров'яні тільця. В якості анти поживного фактора їх роль не визначена [8, 17].

До факторів, що викликають гормональні розлади у тварин, відносяться глюкозиди, які належать до групи естрогенних ізофлавоїдів, таких як геністеїн і даїдзеїн, вміст яких близько 0,1 % у білку бобів сої. Вони в експериментах на самках щурів і мишей викликали естрогенну реакцію та знижували вміст кальцію в кістках, що сприяло розвитку рахіту. Досить шкідливі естрогенні ізофлавоїди для репродуктивного здоров'я тварин. Вони блокують ароматазу, це фермент який перетворює андрогени в естрогени, а в самців – 5-альфа-редуктазу, що пригнічує синтез



дигідротестостерону. Також естрогенні ізофлавоїни пригнічують секрецію лютеїнізуючого гормону та стимулюють синтез печінкою білка який зв'язує вільні статеві гормони [9].

Олігосахариди формують більшу частину вуглеводної фракції соєвих бобів. Лише близько 2% вуглеводної фракції складають крохмаль і 6% - целюлозні сполуки. Некрохмальні олігосахариди погіршують травлення (кишкові спазми, діарея та метеоризм) через відсутність відповідних травних ферментів.

Антигенні речовини (гліцинін і β -конгліцинін) викликають утворення антитіл у сироватці крові телят і маленьких поросят, які перебувають у стадії статевої зрілості. Вони перешкоджають розмноженню певних корисних бактерій у шлунково-кишковому тракті. Тому використання соєвого шроту несе певні ризики в раціонах для молодих сільськогосподарських тварин.

З метою інактивації зазначених антипоживних речовин застосовують фізичні, хімічні та біологічні методи обробки зернобобів [6, 10].

Теплова (фізична) обробка здавна використовується як основний метод руйнування антипоживних речовин які знаходяться в сирих соєвих бобах. Розроблені різні технології в основу яких покладено єдиний принцип: боби нагріваються протягом певного часу (табл. 3) [11].

Сучасним методом та технічним засобом післязбиральної обробки бобів сої, зокрема термічної обробки у більш повному обсязі присвячені роботи [12].

Якщо зерно сої не піддати попередній тепловій обробці, то його не можна використовувати в годівлі сільськогосподарських тварин. Більше того, такий корм може ще й негативно вплинути на здоров'я тварин. Це тому, що в сої є активні антипоживні речовини білкової природи, що втрачають свою активність при дії термічного фактора [13].

Таблиця 3

Характеристика промислових способів теплової обробки бобів сої

Спосіб обробки	Режим роботи		Застосоване обладнання
	тривалість, хв.	температура, °C	
Варіння або запарювання	60	100	Пароварильний котел МЗС-244а, 374, Д9-41А, ВК-1
Прожарювання	10-20	180-200	Обжарювальний агрегат А9-ЮЖА, газова піч, сушильня ВС10-49
Екструдювання	0,2-0,3	110-160	Екструдери КМЗ-2, КМЗ-2М, ПЭК-125×8
Мікронізація	1-1,5	140-200	Конвеєрні установки для мікронізації
НВЧ-обробка	6-9	110	НВЧ-печі конвеєрного і карусельного типу
Вологотеплова обробка	5-30	120-140	Пропарювачі АСК-5 і АСК-10, апарат Неруша, А9-5П5, шнековий пропарювач, вібропропарювач, тепла камера КТС02

Однак, низькомолекулярні сполуки антигормони і антивітаміни мають високу термостабільність. Контроль за знешкодженням антипоживних речовин і придатність до згодовування тваринам кормів із сої у світовій практиці проводиться шляхом визначення активності інгібіторів трипсину. Інгібітори трипсину володіють приблизно половиною антипоживної активності серед антипоживних сполук бобів сої, вони також найбільш термостабільні порівняно з іншими білковими антипоживними речовинами. На практиці рівень термоінактивації антипоживних речовин у бобах сої визначають за активністю уреазу, інактивація якої відбувається паралельно з інактивацією інгібіторів трипсину [6, 13].

3. Мета дослідження

Дослідженні сучасних методів та технологічних засобів, які забезпечують максимальну збереженість корисних властивостей сої та зниження вмісту антипоживних складових.

4. Виклад основного матеріалу

Процес термоінактивації антипоживних речовин сої до заданого рівня за часом має нелінійний характер, що можна представити наступним рівнянням $t = aT - b$, де t – час термообробки, T – температура, a і b – коефіцієнти характерні для даного способу обробки (рис. 1).

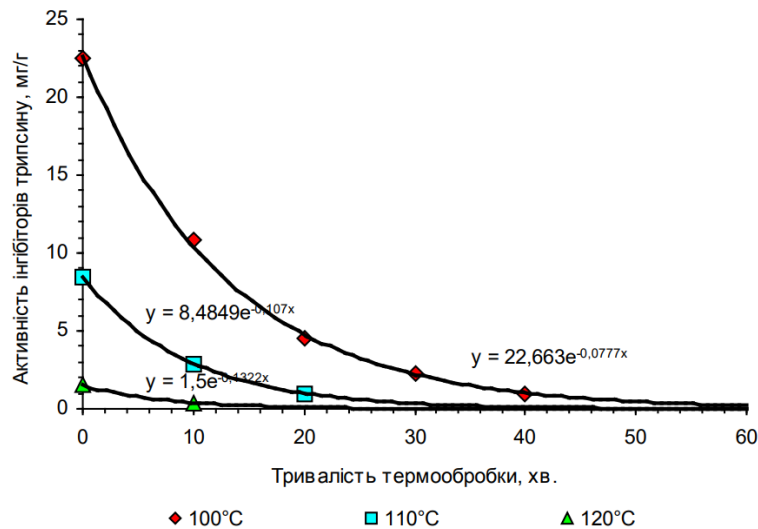


Рис. 1. Руйнування інгібіторів трипсину сої при 100°C, 110°C, 120°C у залежності від тривалості термообробки

У результаті термообробки підвищується поживна цінність бобів, а саме: перетравність білків зростає до 90 %, значно знижується зараженість бобів мікрофлорою [6, 14].

Згідно досліджень [15] кількість антипоживних речовин у соєвих бобах після обробки ростером Roast-A-Matic суттєво зменшується (табл. 4).

Уреазна активність у зернобобах після смаження знизилась до безпечного і практично мінімального середнього рівня в $0,04 \pm 0,003$ од. рН. Показники сирі сої містять високонебезпечний рівень активності уреаз, що ще раз підтверджує необхідність попередньої обробки сої перед згодовуванням. Кількість інгібітора трипсина у соєвих бобах після смаження ростером вірогідно знизилась в 2,45 раз, а активність ліпоксигенази – у 2,71 рази.

Таблиця 4

Зміни деяких компонентів у сої після смаження ростером Roast-A-Matic

Склад	Сира соя	Смажена соя
Уреазна активність, од. рН	$2,16 \pm 0,14$	$0,04 \pm 0,003$
Інгібітор трипсина, мг/г	$7,20 \pm 0,63$	$2,94 \pm 0,58$
Активність ліпоксигенази, од. акт.	$0,19 \pm 0,045$	$0,07 \pm 0,006$

Із найбільш привабливих та високоефективних, але не достатньо досліджених є метод термічної обробки насіння зернобобових культур під назвою мікронізація, тобто обробка зернобобових культур під назвою мікронізація, тобто обробка насіння інфрачервоними променями із довжиною хвилі 1500...3500 нм. При цьому процес інактивації антипоживних речовин бобів сої відбувається дуже швидко – протягом 50...70с, значно підвищується поживна цінність білка, також енергетична цінність збільшується (приблизно від 7800 до 16000 кДж/кг).

Ефективність мікронізації бобів сої залежить від таких основних факторів:

- максимального (більш повного) використання променевого потоку інфрачервоного випромінювання;
- забезпечення максимально рівномірного опромінення всієї поверхні бобів сої;
- забезпечення рівномірного руху бобів сої в термокамері;
- максимального ступеню автоматизації процесу.

Порівняно з іншими методами термічної обробки бобів сої «високотемпературна мікронізація» має значні переваги, зокрема при сучасних темпах розвитку інформаційних технологій цей процес може бути повністю автоматизовано і мати найвищу ефективність [16].

В Інституті кормів та сільського господарства Поділля НААН розроблена технологія знешкодження анти поживних речовин бобів сої, яка ґрунтується на їх термічній обробці в 2,5 %-му розчині гідроксиду кальцію. Суть технології знешкодження анти поживних речовин в зерні сої полягає в тому, що боби подрібнюють на ДКУ до борошна, замочують водою в співвідношенні 1:4. У процесі замочування в таку кормову масу додають гідроксид кальцію в кількості 25 г/кг борошна. Величина рН суміші становить 11,6-12,0. Одразу після замочування суміш нагрівають до температури 90-95°C



при постійному помішуванні. Нагрівання можна здійснювати в будь-яких котлах типу ВК-100, ВК-1 при допомозі гострої пари (ВКВ300). Процес термообробки при заданій температурі триває 40 хв. Обробка бобів сої по розробленій технології дає змогу отримати корм без уразної активності, а вміст інгібітору трипсину знаходиться на рівні 2-3 мг/г.

Необхідно підкреслити, що теплові способи обробки зерна бобових культур на даний час є основними. При дії високої температури на біополімери відбуваються термохімічні реакції з відщепленням води: розрив дисульфідних зв'язків, внаслідок чого втрачається функціональна активність антиферментів. Треба пам'ятати, що при невідповідних режимах обробки відбуваються реакції взаємодії білків та амінокислот з редуруючими цукрами. Сполуки, що утворюються при цих реакціях, мають коричневе забарвлення і є токсичними для організму тварин [18].

5. Висновки

Дослідження підтверджують, що способи інактивації, такі як фізичні, хімічні та біологічні, ефективно знищують антипоживні речовини у сої, покращуючи її харчову цінність.

Важливою перевагою деяких технологій інактивації є їх здатність знищувати антипоживні речовини, не впливаючи на корисні складові сої, такі як білки та вітаміни.

Дослідження також підкреслюють важливість оптимізації процесу інактивації з метою забезпечення максимальної ефективності у знищенні антипоживних речовин, одночасно забезпечуючи збереження корисних складових.

Незважаючи на досягнуті успіхи, існують додаткові напрями досліджень, такі як використання комбінованих методів інактивації, щоб підвищити ефективність процесу та розробка нових технологій, спрямованих на подальше покращення якості та корисності обробленої сої.

Впровадження сучасних технологій інактивації може мати значний позитивний вплив як на промисловість, забезпечуючи покращену якість продуктів на основі сої, так і на здоров'я споживачів, знижуючи вміст антипоживних речовин, які можуть бути шкідливими.

Список використаних джерел

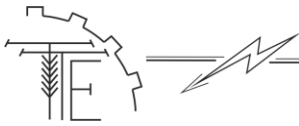
1. Заболотний Г. М., Мазур В. А., Циганська О. І., Дідур І. М., Циганський В. І., Панцирева Г. В. Агробіологічні основи вирощування сої та шляхи максимальної реалізації її продуктивності: монографія. Вінниця: ВНАУ. 2020. 303 с.
2. Мазур В. А., Ткачук О. П., Панцирева Г. В., Купчук І. М. Соя в інтенсивному землеробстві. Вінниця. ТВОРИ. 2022. 225 с.
3. Мандигра М. С., Долецький С. П., Куцан О. Т., Шевцова Г. М., Романько М. Є., Оробченко О. Л., Герилевич І. О. Вивчення впливу генномодифікованої сої лінії топ 89788 на організм лабораторних тварин. *Вісник аграрної науки*. 2018, № 9. С. 32–38. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201809-05>
4. Бербенець О. В. Світове виробництво сої як невичерпного джерела білків рослинного походження та місце України на світовому ринку торгівлі нею. *Агросвіт*, 2019. № 10. С. 41–45. DOI: 10.32702/2306-6792.2019.10.41
5. Peisker M. Manufacturing of soy protein concentrate for animal nutrition. *Feed manufacturing in the Mediterranean region. Improving safety: From feed to food*. Zaragoza: CIHEAM, 2001. P. 103–107.
6. Обертюх Ю. В. Антипоживні речовини сої, їх інактивація та технології переробки соєвих бобів на промисловій основі й в умовах господарства. *Корми і кормовиробництво*. 2012. Вип. 71. С. 62–71.
7. Czerwiński J., Leontowicz H., Leontowicz M., Gralak M. A. Response of rats to a moderate intake of soybean lectin. *Anim Feed Sci*. 2005. № 14 (1). P. 537–540.
8. Ireland P. A., Dziedzic S. Z., Kearsley M. W. Saponin content of soya and some commercial soya products by means of high-performance liquid chromatography of the saponinogens. *Sci. Food Agric*. 2008. № 37. P. 694–698.
9. Іваненко Ф. В., Сінченко В. М. Технологія зберігання та переробки сільськогосподарської продукції: Навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. К.: КНЕУ, 2005. 221 с.
10. Gilani G. S., Cockell K. A., Sepehr E. Effects of antinutritional factors on protein digestibility and amino acid availability in foods. *Journal of AOAC international*. 2005. Vol. 88 (3). P. 967–987.
11. Бандура В. М., Поп'як О. Г. Технологічні процеси сушіння сої. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2019. № 2 (105). С. 52–58. DOI: 10.37128/2520-6168-2019-2-7.



12. Плавинська С. В. Мікронізація бобів сої – перспективний метод отримання якісного продукту для кормовиробництва (кормоприготування). *Сучасне птахівництво*. 2011. № 11/12. С. 26–28.
13. Радчук О. В., Плавинська С. В. Обґрунтування оптимального вибору методу теплової обробки зерна бобових культур. *Вісник СНАУ*. 2010. № 1 (21). С. 37–41.
14. García R., Martínez C. Optimization of Soybean Processing Parameters for Maximizing Nutritional Value. *Food Research International*, 2017. Vol. 96. P. 85–92. DOI:10.1007/s11694-017-9572-8
15. Шевченко А. М., Фещенко Д. В., Романишина Т. О. Ростерна обробка сої, як спосіб деактивації антипоживних речовин. Матеріали науково-практичної онлайн конференції «Безпечність та якість харчових продуктів у концепції «Єдине здоров'я» (м. Львів, 1-2 червня 2023 р.). Львів, 2023. С. 39–40.
16. Плавинський В. І., Плавинська С. В., Плавинська О. В. Проблеми мікронізації бобів сої. *Механізація та автоматизація виробничих процесів*, 2016. № 10/2 (30). С. 127–132.
17. Антипоживні речовини сої та способи їх нейтралізації. Сучасний технологічний погляд. *Анкорекс* : веб-сайт. URL: <https://www.ankores.com.ua/ua/publications/antipozhivni-rechovini-soyi-ta-sposobi-yih-nejtralizaciyi-suchasnij-tehnologichnij-poglyad/> (дата звертання 05.02.2024).
18. Ратич І., Гунчак А., Кирилів Б. Навмисна руйнація. *Наше птахівництво*. 2013. № 2. URL: https://agrotimes.ua/article/navmisna_rujnaciya/ (дата звертання 01.02.2024).

References

- [1] Zabolotnyi, H.M., Mazur, V.A., Tsyhanska, O.I., Didur, I.M., Tsyhanskyi, V.I., Pantsyрева, H.V. (2020). *Ahrobiolohichni osnovy vyroshchuvannya soi ta shliakhy maksimalnoi realizatsii yii produktyvnosti [Agribiological basis of soybean cultivation and ways to maximize its productivity]*. Vinnytsia: VNAU. [in Ukrainian].
- [2] Mazur, V.A., Tkachuk, O.P., Pantsyрева, H.V., Kupchuk, I.M. (2022). *Soia v intensyvnomu zemlerobstvi [Soybean in intensive farming]*. Vinnytsia: TVORY. [in Ukrainian].
- [3] Mandygra, M.S. et al. (2018). Vychennia vplyvu hennomodyfikovanoi soi linii mon 89788 na orhanizm laboratornykh tvaryn [Study of the effect of genetically modified soybean line mon 89788 on the organism of laboratory animals]. *Visnyk ahrarynoi nauky – Bulletin of Agrarian Science*, 9, 32–38. [in Ukrainian].
- [4] Berbenets, O.V. (2019). Svitove vyrobnytstvo soi yak nevycherpnoho dzhherela bilkiv roslynnoho pokhodzhennia ta mistse Ukrainy na svitovomu rynku torhivli neiu [World production of soybeans as an inexhaustible source of proteins of plant origin and Ukraine's place in the world market of soybean trade]. *Ahrosvit – Agrosvit*, 10, 41–45. [in Ukrainian].
- [5] Peisker, M. (2001). Manufacturing of soy protein concentrate for animal nutrition. *Feed manufacturing in the Mediterranean region. Improving safety: From feed to food*. Zaragoza: CIHEAM, 103–107. [in English].
- [6] Obertiukh, Yu.V. (2012). Antypozhyvni rechovyny soi, yikh inaktyvatsiia ta tekhnolohii pererobky soievych bobiv na promyslovii osnovi y v umovakh hospodarstva [Antinutrients of soybeans, their inactivation and technologies of soybean processing on an industrial basis and in farm conditions]. *Kormy i kormovyrobnytstvo – Feeds and feed production*, 71, 62–71. [in Ukrainian].
- [7] Czerwiński, J., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Gralak, M. A. (2005). Response of rats to a moderate intake of soybean lectin. *Anim Feed Sci.*, 14, (1), 537–540. [in English].
- [8] Ireland, P.A., Dzedzic, S.Z., Kearsley, M.W. (2008). Saponin content of soya and some commercial soya products by means of high-performance liquid chromatography of the sapogenins. *Sci. Food Agrie*, 37, 694–698. [in English].
- [9] Ivanenko, F.V., & Sinchenko, V.M. (2005). *Tekhnolohiia zberihannia ta pererobky silskohospodarskoi produktsii [Technology of storage and processing of agricultural products]*. Kyiv: KNEU. [in Ukrainian].
- [10] Gilani, G., Cockell, K., Sepehr, E. (2005). Effects of antinutritional factors on protein digestibility and amino acid availability in foods. *Journal of AOAC international*, 88 (3), 967–987. [in English].
- [11] Bandura, V.M., & Popiak, O.H. (2019). Tekhnolohichni protsesy sushinnia soi [Technological processes of soybean drying]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 2 (105), 52–58. [in Ukrainian].
- [12] Plavynska, S.V. (2011). Mikronizatsiia bobiv soi - perspektyvnyi metod otrymannia yakisnoho produktu dlia kormovyrobnytstva (kormopryhotuvannia) [Micronization of soybeans - a promising method of obtaining a quality product for feed production (feed preparation)]. *Suchasne ptakhivnytstvo – Modern poultry*, 11/12, 26–28. [in Ukrainian].
- [13] Radchuk, O.V., & Plavynska, S. V. (2010). Obgruntuvannia optymalnoho vyboru metodu teplovoi obrobky zerna bobovykh kultur [Substantiation of the optimal choice of the method of heat treatment of legume grain]. *Visnyk SNAU – Bulletin of the SNAU*, 1 (21), 37–41. [in Ukrainian].



- [14] García, R., & Martínez, C. (2017). Optimization of Soybean Processing Parameters for Maximizing Nutritional Value. *Food Research International*, 96, 85–92. [in English].
- [15] Shevchenko, A.M., Feshchenko, D.V., Romanyshyna, T.O. (2023). Rosterna obrobka soi, yak sposib deaktyvatsii antypozhyvnykh rechovyn [Roaster treatment of soybeans as a way to deactivate anti-nutrients]. Proceeding from: *Bezpechnist ta yakist kharchovykh produktiv u kontseptsii «Iedyne zdorovia» – Food safety and quality in the concept of «One Health»*. (pp. 39-40). Lviv. [in Ukrainian].
- [16] Plavynskiy, V.I., Plavynska, S.V., Plavynska, O.V. (2016). Problemy mikronizatsii bobiv soi [Problems of micronization of soybeans]. *Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychkykh protsesiv – Mechanization and automation of production processes*, 10/2, 127–132. [in Ukrainian].
- [17] Sait Ankorex [Site Ankorex] www.ankores.com.ua. Retrieved from: <https://www.ankores.com.ua/ua/publications/antipozhivni-rechovini-soyi-ta-sposobi-yih-nejtralizaciyi-suchasnij-tehnologichnij-poglyad/>. [in Ukrainian].
- [18] Ratych, I., Hunchak, A., Kyryliv, B. (2013). Navmysna ruinatsiia [Deliberate destruction]. *Nashe ptakhivnytstvo – Our Poultry Farming*, 2. Retrieved from: https://agrotimes.ua/article/navmisna_rujnaciya/. [in Ukrainian].

REVIEW OF MODERN TECHNOLOGIES FOR INACTIVATION OF ANTI-NUTRIENTS IN SOYBEANS

The study examines technologies for inactivating anti-nutrients in soybeans, such as proteolytic enzyme inhibitors. In addition, soybeans have two trypsin inhibitors that bind cystine and methionine. Protease inhibitors include trypsin and chymotrypsin inhibitors, which are substances that are naturally present in soybeans to protect them from being eaten by birds and rodents and from the development of microflora. According to their heat resistance, antinutrients can be classified into heat-sensitive and heat-resistant. The purpose of the research was to study modern methods and technological solutions aimed at optimizing the preservation of useful characteristics of soybeans and reducing the content of anti-nutrients. To inactivate these anti-nutrients, physical, chemical and biological methods of legume processing are used. As a result of heat treatment, the nutritional value of beans increases, namely, the digestibility of proteins increases by up to 90%, and the contamination of beans with microflora is significantly reduced. The amount of trypsin inhibitor in soybeans after roasting with a roaster significantly decreased by 2.45 times, and lipoxigenase activity - by 2.71 times. One of the most attractive and highly effective, but not sufficiently researched methods is the method of heat treatment of legume seeds called micronization. In this case, the process of inactivation of anti-nutrients in soybeans is very fast - within 50...70 seconds, the nutritional value of protein is significantly increased, and the energy value increases (approximately from 7800 to 16000 kJ/kg). The technology of neutralization of anti-nutrients in soybeans based on their heat treatment in a 2.5 % solution of calcium hydroxide is considered. Processing of soybeans according to the developed technology allows to obtain feed without urease activity, and the content of trypsin inhibitor is at the level of 2-3 mg/g.

Key words: soybeans, antinutrients, inactivation, micronization, trypsin inhibitors, urease, phytohemagglutinins, phytates.

Fig. 1. Table. 4. Ref. 18.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

КУПЧУК Ігор Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв інженерно-технологічного факультету Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: kupchuk.igor@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2973-6914>).

ВОЛИНЕЦЬ Євгеній Олександрович – асистент кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві факультету технології виробництва, переробки та робототехніки в тваринництві Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: evgen110596@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3298-6316>).

Ihor KUPCHUK – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Processes and Equipment of Processing and Food Production, Faculty of Engineering and Technology of Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonychna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: kupchuk.igor@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2973-6914>).

Yevhenii VOLYNETS – Assistant of the Department of Labor Protection and Biotechnical Systems in Animal Husbandry, Faculty of Production Technology, Processing and Robotics in Animal Husbandry of Vinnytsia National Agrarian University (3 Sunny Street, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: evgen110596@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3298-6316>).