

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет біотехнології та екологічного контролю
Кафедра біотехнології і мікробіології

«До захисту в ЕК»
Декан факультету
Наталія ГРЕГІРЧАК
(підпис) (прізвище та ініціали)

«02» грудня 2024р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Віктор СТАБНІКОВ
(підпис) (прізвище та ініціали)

«02» грудня 2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»
освітньо-професійної програми «Промислова та фармацевтична біотехнологія»
на тему: «Екологічно безпечні барвники грибного походження»

Виконала: здобувачка II курсу, групи ПФБ-2-1М

ПОБУТА Олександр Олександрівна

(прізвище, ім'я, по-батькові повністю)

(підпис)

Керівник КРАСІНЬКО Вікторія Олегівна

(прізвище, ім'я, по-батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

Маргарита ЛОМБЕРГ

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надав (-ла) в не одержував (-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач (ка)

(підпис)

Київ – 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет біотехнології та екологічного контролю

Кафедра біотехнології і мікробіології

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Промислова та фармацевтична біотехнологія»

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри біотехнології і мікробіології

Віктор СТАБНІКОВ

«08» жовтня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

ПОБУТИ Олександрі Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Екологічно безпечні барвники грибного походження»

Керівник роботи КРАСІНЬКО Вікторія Олегівна, к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

затвердені наказом закладу вищої освіти від 07 жовтня 2024р. № 875-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01.12.2024

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Реферат, Вступ, Літературний огляд РОЗДІЛ 1. Характеристика барвників грибного походження. РОЗДІЛ 2. Перспективи використання нафтохінонових барвників грибного походження та їх переваги над хімічно синтезованими барвниками. РОЗДІЛ 3. Особливості біосинтезу та виділення нафтохінонових барвників. Технологічна частина РОЗДІЛ 4. Техніко-економічне обґрунтування. РОЗДІЛ 5. Обґрунтування вибору стадій технологічного процесу. РОЗДІЛ 6. Опис технологічної схеми виділення та виготовлення порошкоподібного ксиліндеїну. РОЗДІЛ 7. Технологічні особливості отримання готового продукту з субстанції. РОЗДІЛ 8. Контроль виробництва. РОЗДІЛ 9. Проект патентної заявки одержання ксиліндеїну, як барвника для тканини.

5. Перелік графічного матеріалу Технологічні схеми : одержання ксиліндеїну – 1 аркуш формату А1. Апаратурні схеми одержання ксиліндеїну – 1 аркуш формату А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 08 жовтня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	01.10.24р.-10.10.24р.	
2	Техніко-економічне обґрунтування	11.10.24р.-14.10.24р.	
3	Обґрунтування вибору стадій післяферментаційного виділення та очищення ксиліндеїну	15.10.24р.-18.10.24р.	
4	Підбір технологічного обладнання із урахуванням матеріальних потоків	19.10.24р.-20.10.24р.	
5	Складання специфікації обладнання для одержання ксиліндеїну	21.10.24р.-24.10.24р.	
6	Опис технологічної схеми виділення та очищення ксиліндеїну	25.10.24р.-29.11.24р.	
7	Контроль виробництва ксиліндеїну	30.10.24р.-04.11.24р.	
8	Технологічний процес виробництва чистого ксиліндеїну якбарвника для текстилю	05.11.24р.-08.11.24р.	
9	Складання патентної заявки на корисну модель	09.11.24р.-14.11.24р.	
10	Графічна частина	15.11.24р.-19.11.24р.	
11	Оформлення роботи та посилань на літературні джерела	20.11.24 р.-22.11.24р.	

Здобувач

_____ (підпис)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олександра ПОБУТА

_____ (ім'я та прізвище)

Вікторія КРАСІНЬКО

_____ (ім'я та прізвище)

ЗМІСТ

ABSTRACT	6
РЕФЕРАТ	7
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	10
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА БАРВНИКІВ ГРИБНОГО ПОХОДЖЕННЯ	10
1.1 Нафтохінонні пігменти грибного походження	11
1.2 Каротиноїдні пігменти грибного походження	11
1.3 Азафілонні пігменти грибного походження	12
РОЗДІЛ 2. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НАФТОХІНОНОВИХ БАРВНИКІВ ГРИБНОГО ПОХОДЖЕННЯ ТА ЇХ ПЕРЕВАГИ НАД ХІМІЧНО СИНТЕЗОВАНИМИ БАРВНИКАМИ	13
2.1 Проблеми використання хімічно синтезованих барвників та їх характеристика	13
2.1.1 Азобарвники	13
2.1.2 Антрахінони	14
2.1.3 Триарилметани	15
2.2 Характеристика нафтохінонових барвників: переваги та недоліки	15
2.2.1 Драмада	16
2.2.2 Ксиліндеїн	18
2.3 Перспективи використання нафтохінонових пігментів грибного походження ...	19
2.3.1 Драмада	19
2.3.2 Ксиліндеїн	20
РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ БІОСИНТЕЗУ ТА ВИДІЛЕННЯ НАФТОХІНОНОВИХ БАРВНИКІВ	22
3.1 Культивування грибів – продуцентів пігментів	22
3.1.1 <i>Scytalidium cuboideum</i>	22
3.1.2 <i>Chlorociboria aeruginascens</i>	22
3.2 Виділення та очищення грибних пігментів	23
3.2.1 Драмада	23
3.2.2 Ксиліндеїн	24
ВИСНОВКИ ДО ЛІТЕРАТУРНОГО ОГЛЯДУ	26

НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
		Побута О.О.			ЗМІСТ	Літ.	Арк.	Акрушів
		Красінько В.О.					4	2
						Кафедра БТМ ⁴		
		Рецензент						
		Н. Контр.						
		Затверд.	Стабніков В.П.					

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	28
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	28
4.1 Характеристика та перспективи використання ксиліндеїну	28
4.2. Характеристика ксиліндеїну, як тканинного барвника	30
4.3. Огляд цільового ринку барвників для текстилю та місце ксиліндеїну на даному ринку	32
4.4. Розрахунок річної потужності	33
РОЗДІЛ 5. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СТАДІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ..	35
5.1. Обґрунтування післяферментаційних стадій одержання барвника.....	35
5.1.1. Вибір та обґрунтування способу відокремлення біомаси	35
5.1.2. Обґрунтування та вибір способу дезінтеграції клітин	44
5.1.3. Обґрунтування вибору способу вилучення цільового продукту.....	46
5.1.4. Обґрунтування вибору способу упарювання та сушіння	47
5.1.5. Обґрунтування вибору подрібнювача пластин пігменту	47
5.2. Підбір технологічного обладнання з врахуванням матеріальних потоків по стадіям	48
5.3. Специфікація обладнання.....	51
РОЗДІЛ 6. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИДІЛЕННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОШКОПОДІБНОГО КСИЛІНДЕЇНУ	56
РОЗДІЛ 7. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ ГОТОВОГО ПРОДУКТУ З СУБСТАНЦІЇ	59
7.1 Обґрунтування форми випуску ксиліндеїну	59
7.2 Обґрунтування вибору первинної упаковки для порошкоподібного барвника ..	59
РОЗДІЛ 8. КОНТРОЛЬ ВИРОБНИЦТВА	63
8.1 Перевірка зовнішнього вигляду	63
8.2 Перевірка ваги пігменту.....	63
8.3 Перевірка спектру поглинання сполуки.....	63
8.4 Визначення вмісту сухих речовин	64
РОЗДІЛ 9. ПРОЄКТ ПАТЕНТНОЇ ЗАЯВКИ ОДЕРЖАННЯ КСИЛІНДЕЇНУ ЯК БАРВНИКА ДЛЯ ТКАНИНИ	66
9.1 Галузь і застосування корисної моделі	66
9.2 Відомі аналоги та їх основні недоліки	66
9.3 Постановка задачі корисної моделі та шлях її вирішення	67
9.4 Опис запропонованого способу	67
9.5 Формула корисної моделі	70
9.6 Реферат.....	70
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

ABSTRACT

The qualification work is devoted to the analysis and review of studies by domestic and foreign scientists regarding fungal-origin dyes and their application in textile dyeing, particularly the pigment xylindein synthesized by *Chlorociboria aeruginascens*. The work also presents a draft patent application for a utility model of the technology for extracting and purifying xylindein.

Known methods for post-fermentation production of naphthoquinone pigments have been analyzed, and the least toxic and most optimal method for pigment extraction has been selected. The work proposes a draft patent application with the final product in the form of pure pigment in powder form, as this form ensures safe pigment transportation and long-term storage.

It's anticipated that the pigment will be used for dyeing various types of fabrics. The following characteristics will be controlled: moisture and the absorption spectrum of the compound.

The qualification work consists of an introduction, 9 chapters, and a list of references containing 64 sources. The work comprises 80 pages, figures - 3, formulas – 3, and tables – 7.

Keywords: xylindein, *Chlorociboria aeruginascens*, textile dye, patent.

НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
					ABSTRACT	Літ.	Арк.	Акрушіє
Розробив		Побута О.О.					6	1
Керівник		Красінько В.О.						
Рецензент								
Н. Контр.								
Затверд.		Стабніков В.П.				Кафедра БТМ		
							6	

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційну роботу присвячено аналізу та ознайомленню з роботами вітчизняних та зарубіжних вчених щодо барвників грибного походження та їх використання у фарбування текстилю, а саме пігменту ксиліндеїну, синтезованого *Chlorociboria aeruginascens*. Також у роботі представлено проєкт заявки на патент корисної моделі технології виділення та очищення ксиліндеїну.

Проаналізовано відомі методи післяферментаційного одержання нафтохінонових пігментів та обрано найменш токсичний та оптимальний спосіб виділення пігменту. У роботі запропоновано проєкт заявки на патент з кінцевим продуктом у вигляді чистого пігменту у порошкоподібній формі, оскільки така форма дозволяє безпечно транспортувати пігмент та забезпечує його довготривале зберігання.

Передбачається, що пігмент використовуватиметься для фарбування тканин різного типу. При цьому будуть контролюватись наступні ознаки: вологість та спектр поглинання сполуки.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, 9 розділів та списку літератури, що містить 64 джерел. Кількість сторінок роботи – 80, кількість рисунків – 3, кількість формул – 3 та кількість таблиць – 7.

Ключові слова: ксиліндеїн, *Chlorociboria aeruginascens*, барвник текстильний, патент.

НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ

РЕФЕРАТ

Кафедра БТМ 7

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Арк.	Акрушів
		Побута О.О.				7	1
		Красінько В.О.					
		Стабніков В.П.					

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДХМ

дихлорметан

МЕК

метилетилкетон

					НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>	<i>Побута О.О.</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Красінько В.О.</i>				8	1	
<i>Рецензент</i>					Кафедра БТМ 8		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Стабніков В.П.</i>						
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ							

ВСТУП

Нині у текстильній індустрії широко використовуються великі обсяги й різноманітність хімічно синтезованих барвників для фарбування тканини та пряжі, які мають негативний вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище (Плюта, 2022; Стотика, 2023). Тож аби зменшити негативний вплив на людину та навколишнє середовище, необхідними є дослідження природних барвників, розвиток технологій їх виготовлення, застосування та впровадження у промисловому виробництві (Zschätzsch та ін., 2021).

Активний розвиток біотехнологій став запорукою появи зростаючої зацікавленості у барвниках для текстилю бактеріального, рослинного та грибного походження. Природні барвники мають багато переваг перед хімічно синтезованими барвниками, як з точки зору збереження здоров'я та покращення стану навколишнього середовища, так і з точки зору стійкості та довговічності кольору (Télliez-Télliez, & Díaz-Godínez, 2022). За останні роки почало з'являтися все більше досліджень пов'язаних із пігментами грибного походження.

Гриби – різноманітні та поширені еукаріоти відомі своєю стійкістю та здатністю розвиватись навіть за умов екстремальних екосистем, що дало цим організмам змогу виробляти вторинні метаболіти з різноманітними властивостями (Venil, Velmurugan, Dufossé, Renuka Devi, & Veera Ravi, 2020).

Нафтохінонові пігменти грибного походження, а саме ксиліндеїн, синтезований *Chlorociboria* spp., як вторинний метаболіт, проявляє найбільшу стійкість в якості барвника для тканини (Hinsch, Weber, Chen, & Robinson, 2015), а також виявляє найменшу токсичність (Almurshidi та ін., 2021). Тож у даній роботі запропоновано технологію найменш токсичного одержання ксиліндеїну в якості порошкоподібного барвника.

НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Побута О.О.				Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Красінко В.О.					9	1
Рецензент					Кафедра БТМ		
Н. Контр.							
Затверд.	Стабніков В.П.						
					9		

ABSTRACT

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА БАРВНИКІВ ГРИБНОГО ПОХОДЖЕННЯ

У світі існує велика кількість хімічно синтезованих барвників для текстилю, які мають канцерогенні та мутагенні властивості (Плюта, 2022; Стотика, 2023). Найбільший вплив на здоров'я людини відбувається переважно при промисловому фарбуванні тканин через утворення пилу різних хімічних речовин (Бідяк, 2018). Також масштабне виробництво та подальше використання хімічно синтезованих барвників часто спричиняє негативний вплив на довкілля та робить текстильну галузь промисловості екологічно небезпечною через скиди та викиди токсичних речовин, особливо в країнах які активно розвиваються. Тож щоб зменшити вплив на здоров'я людини й покращити стан навколишнього середовища та зменшити подальший вплив на нього, необхідні дослідження природних барвників для розвитку технологій їх виготовлення та застосування у промисловому виробництві (Zschätzsch та ін., 2021).

Із активним розвитком біотехнологій почала з'являтися все більша зацікавленість у барвниках для текстилю грибного, бактеріального та рослинного походження. Природні барвники мають значні переваги перед хімічно синтезованими барвниками саме з точки зору зменшення забруднення навколишнього середовища та збереження здоров'я людини під час використання барвників чи пофарбованих текстильних виробів (Télliez-Télliez, & Díaz-Godínez, 2022). За останні роки почало з'являтися все більше досліджень пов'язаних із пігментами грибного походження.

Гриби є дуже різноманітними та поширеними еукаріотами, а їх стійкість та здатність розвиватись навіть у екстремальних екосистемах дає їм змогу виробляти нові вторинні метаболіти (Venil, Velmurugan, Dufossé, Renuka Devi, & Veera Ravi, 2020).

					НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА БАРВНИКІВ ГРИБНОГО ПОХОДЖЕННЯ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Побута О.О.</i>						10	3
<i>Керівник</i>	<i>Красінько В.О.</i>					Кафедра БТМ		
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Стабніков В.П.</i>				10			

Тож до пігментних вторинних метаболітів грибного походження належать сполуки кількох класів, а саме каротиноїди, азафілони, нафтохінони, меланіни, антрахінони, гідроксіантрахінони та ін. (Kalra, Conlan, & Goel, 2020). У наступних підрозділах розглянуто деякі з наведених типів пігментних сполук.

1.1 Нафтохінонні пігменти грибного походження

Одним із найпоширеніших класів сполук, що використовуються у текстильній промисловості є хінони. Порівняно із альтернативними каротиноїдами та антоціанами, хінони проявляють більшу стійкість кольору та насиченість, завдяки своїй хімічній будові, що включає насичене карбонільне кільце (Dulo, 2021; López, 2023).

Хінони поділяють на бензохінони (одне карбонільне кільце), нафтоханони (два карбонільних кільця) та антрахінони (три карбонільних кільця). Серед хінонів найпоширенішими та найбільш застосовуваними є нафтохінони та антрахінони (Dulo, 2021; Duval, 2016; Dumur, 2023; López, 2023). Антрахінони мають високу біологічну активність, тому у цьому розділі розглянемо нафтохінони.

Нафтохінони – органічні структури, які зазвичай зустрічаються в багатьох деревних та трав'янистих рослинах (флавіолін, лапахол, лаузон, нафтазарін, менадїон, юглон, шиконін та ін.), а іноді у грибах і лишайниках (клиліндеїн, драмада та ін.) (Dumur, 2023). Ці речовини, зарахунок наявності стійкого електроакцепторного хінону є яскраво забарвленими сполуками з широким спектром поглинання світла, що захоплює частину видимого діапазон спектру, а також проявляють високу стійкість кольору (Dumur, 2023).

1.2 Каротиноїдні пігменти грибного походження

Каротиноїдні пігменти грибного походження знайшли застосування у харчовій промисловості (Téllez-Téllez, & Díaz-Godínez, 2022), проте стійкості на тканині дані пігменти не проявляли.

Каротиноїди не так широко поширені у вищих грибах, як у рослинах, проте, барвники такої хімічної структури були виділені з кількох видів *Cantharellus Juss* (тривіальна назва – лисички), що мають жовту пігментацію. Hyde та команда

дослідників (2019) зазначають, що золоті лисички *S. cibarius* має пігмент який формується в основному з суміші β -каротину, також присутні лікопін, α -каротин і два інших типи каротину, γ - і δ -ізомери або ксантофіл кантаксантин, що притаманний *S. cinnabarinus* та виступає основним пігментом та дає забарвлення від рожевого до жовто-гарячого кольору (Hyde та ін., 2019).

1.3 Азафілонні пігменти грибного походження

Азафілони є грибними полікетидними пігментами, що містять біциклічне ядро піранохінону з високим вмістом кисню. (Pavesi, 2021; Chen, 2020) Деякі сполуки такого типу мають високу біологічну активність та антибактеріальні властивості (Хандюк, & Литвиненко, 2018).

Пігменти азафінольної структури також є дуже поширеними та налічують 252 сполуки. Такі пігменти застосовуються у харчовій та косметичній промисловості, тоді як у якості текстильних барвників ці пігменти поки не використовувались, проте також мають великі перспективи за рахунок різноманітності кольорів та продуцентів таких барвників (Pimenta, Gomes, Cardoso, & Takahashi, 2021).

Отже, найбільшу стійкість у тканині та яскравість кольору, за результатами одержаними Hinsch та співавт., проявляють пігменти похідні нафтохінону, а саме ксиліндеїн – вторинний метаболіт *Chlorociboria spp.* та драмада – вторинний метаболіт *Scytalidium cuboideum* (Hinsch, Weber, Chen, & Robinson, 2015). У наступних розділах буде більш детально розглянуто саме ці пігменти грибного походження.

РОЗДІЛ 2. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НАФТОХІНОНОВИХ БАРВНИКІВ ГРИБНОГО ПОХОДЖЕННЯ ТА ЇХ ПЕРЕВАГИ НАД ХІМІЧНО СИНТЕЗОВАНИМИ БАРВНИКАМИ

2.1 Проблеми використання хімічно синтезованих барвників та їх характеристика

Більшість синтетичних барвників створюють серйозні проблеми для здоров'я людини та спричиняють екологічні ризики (Kasiri, 2014; Пахолук, 2023). Барвники, які використовують у текстильній промисловості найбільше впливають на навколишнє середовище (Khattab, 2020; Varjani, 2020; Ardila-Leal, 2021). Забарвлені стічні води, іноді містять барвники, що можна ідентифікувати неозброєним оком (Mojsov, Andronikov, Janevski, Kuzelov, & Gaber, 2016). Ці води часто скидаються в поверхневі або підземні водойми, спричиняють зниження концентрації розчиненого кисню у воді, підвищують значення ХСК (Zhou, Xu, Cheng, Xu, & Jia, 2017) та БСК, концентрацію загального азоту, загального фосфору та речовин що не біодеградують або майже не піддаються біодеградації. Також, стічні води цієї промисловості мають мінливе значення рН, а також містять у своєму складі важкі метали, такі як хром, мідь і цинк (Berradi та ін., 2019).

Загалом, синтетичні барвники не піддаються біологічному розкладанню через їхні хімічні властивості та структуру, створюючи несприятливий вплив на навколишнє середовище та надовго зберігаючись незмінними або зв'язаними із іншими речовинами (Ardila-Leal, Poutou-Piñales, Pedroza-Rodríguez, & Quevedo-Hidalgo, 2021).

2.1.1 Азобарвники

Одними із найчастіше використовуваних барвників у текстильній промисловості є азобарвники, які мають низьку вартість, високу інтенсивність та

					НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Побута О.О.			РОЗДІЛ 2. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НАФТОХІНОНОВИХ БАРВНИКІВ ГРИБНОГО ПОХОДЖЕННЯ ТА ЇХ ПЕРЕВАГИ НАД ХІМІЧНО СИНТЕЗОВАНИМИ БАРВНИКАМИ	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник		Красінько В.О.					13	9
Рецензент						Кафедра БТМ 13		
Н. Контр.								
Затверд.		Стабніков В.П.						

стійкість кольору, що й призвело до широкого використання цього класу барвників (близько 60% світового ринку) (Khattab, 2020; Varjani, 2020; Ardila-Leal, 2021). Проте близько 70% азобарвників несуть значну загрозу через високу токсичність, канцерогенні властивості та стійкість до відомих методів фізико-хімічного очищення стічних вод (Berradi та ін., 2019). Токсичність цього виду барвників проявляється після їх хімічного відновлення й подальшого утворення ароматичних амінів (бензидину, диметоксибензидину і диметилбензидину). Токсичність утворених ароматичних амінів зумовлена їх подальшим метаболічним окисненням, оскільки це генерує електрофільні відновні посередники, які дозволяють сполуці ковалентно зв'язуватися із молекулами ДНК, тож ці сполуки є мутагенними (Varjani, Rakholiya, Ng, You, & Teixeira, 2020).

2.1.2 Антрахінони

Іншими найбільш використовуваними барвниками у текстильній промисловості є антрахінони, які характеризуються своєю ефективністю фарбування, легкою доступністю та низькою вартістю. Проте антрахінонові барвники мають високу біологічну активність (Shukla, 2017; Diaz-Munoz, 2018), що розкриває їх великий потенціал у багатьох галузях промислового виробництва і паралельно несе загрозу у використанні в якості барвників для текстильної промисловості (Khattab, 2020; Varjani, 2020; Ardila-Leal, 2021; Dulo, 2021; Duval, 2016).

Антрахінонові барвники є найбільш токсичними, незважаючи на широке застосування. Дослідження токсичності та біорозкладання наведені у роботі Ardila-Leal та співавт. (2021) вказують на те, що антрахінони мають обмежену дію порівняно з азобарвниками. Мутагенність двох типів барвників (антрахінонів та азобарвників) визначали за допомогою тесту Еймса з використанням *Salmonella typhimurium* (His⁻) (Ardila-Leal, 2021). Автори виявили, що антрахіноновий барвник синього кольору мав найбільшу токсичність і продемонстрував мутагенні властивості «in vitro».

Деякі антрахіноїдні барвники також є дуже стійкими до хімічного окислення через їх стабільність, забезпечену ароматичною структурою (Chaudhari, Paul, Dhotre, & Kodam, 2017). Це збільшує стійкість сполук барвнику у стічних водах і створює проблеми в подальшому очищенні текстильних стічних вод з високим вмістом антрахіноїдних барвників.

2.1.3 Триарилметани

Барвники класу триарилметану спричиняють серйозний вплив на метаболізм, накопичуються та проникають у шкіру, викликають подразнення при потраплянні у шлунково-кишковий тракт та дихальні шляхи, мають канцерогенні ефекти. Дослідження Velpaire та співавт., проведене у водоймах у Бельгії для виявлення рівня й накопичення барвників у диких видах риб, які перебувають під загрозою зникнення, дало наступні результати – вугор виявився дуже забруднений барвниками (понад 75% забруднених органів) (Velpaire, 2015; Deniz, 2023).

2.2 Характеристика нафтохінонових барвників: переваги та недоліки

Природні барвники, переважно рослинного та грибного походження, мають переваги перед хімічно синтезованими барвниками у першу чергу з точки зору зменшення забруднення навколишнього середовища та впливу на здоров'я людини. Технології виробництва пігментів саме грибного походження зазвичай не потребують використання великої кількості води та енергії, що зумовлено стійкістю грибів до несприятливих умов.

Грибні пігменти мають також значну перевагу в тому, що вони можуть вироблятися з використанням відносно дешевих джерел вуглецю та азоту, наприклад з відходів харчової промисловості або аграрного сектору (Bezirhan Arıkan, Canlı, Caro, Dufossé, & Dizge, 2020). Розглянемо детальніше нафтохінонові пігменти, як ті що проявляють найбільшу стійкість у фарбуванні тканин.

2.2.1 Драмада

Драмада або драконін червоний це сполука нафтохінонової структури, що має кристалічну будову, яка вперше була підтверджена у дослідженнях Gutierrez (2018a, 2018b) та має яскраве червоне забарвлення та є вторинним метаболітом *Scytalidium cuboideum* (Gutierrez та ін., 2018a; Gutierrez та ін., 2018b). *Scytalidium cuboideum* є симбіотичними аскоміцетами, що уражають стовбури листяних дерев та повалену деревину і зустрічаються по всьому світу. Ці нитчасті гриби утворюють рожево-червоне забарвлення під впливом УФ-випромінювання чи за певних умов (додавання до середовищ культивування або вирощування на певних видах деревини: цукровому клені, сосні тощо), а також за даними із статті Diplock та співавт. (2023) ці гриби можуть бути інгібуючим фактором при вирощуванні їстівних грибів, а саме *Quercus griffithii* (шиїтаке) (Diplock та ін., 2023).

У якості розчинника для даного пігменту можна використовувати природні олії чи будь-які полярні розчинники. Хоча для екстрагування пігменту більшу ефективність показують саме натуральні олії, окрім сирової лляної, яка дає найкращий ефект у подальшій стійкості кольору на деревині (Palomino Agurto, Gutierrez, Van Court, Chen, & Robinson, 2020).

Пігмент може бути використано як додатковий компонент у покритті деревини для запобігання її «посивінню». Драмада має дуже високу стійкість до УФ-випромінювання, що підтверджують роботи деревообробного мистецтва створені у 1400-х роках. (Gutierrez та ін., 2021).

Також драмада може бути використаний, як заміна класичному червоному барвнику у целюлозній та паперовій промисловості через значну стійкість кольору та велику кількість розчинників. Також цей пігмент має перспективи для заміни класичних червоних чорнил для принтерів та інших канцелярських та художніх пігментах (Stone, 2022; Robinson, 2018).

У якості барвника для текстилю драмада можна використовувати, як і для повного фарбування тканин шляхом занурення (Hinsch, Weber, Chen, & Robinson, 2015), так і для струминного друку на тканині (Gutierrez та ін., 2019).

Результати дослідження Hinsch підтвердили, що колір отриманий на тканинах з вовни, поліестеру та поліаміду за допомогою даного барвника навіть після звичайного прання та прання з відбілювачем не призвели до значної втрати кольору. Також авторами було проведено тест із впливом поту на барвник у тканині, у результаті якого лише поліакрил не зазнав змін кольору (Hinsch, Weber, Chen, & Robinson, 2015).

Вплив на навколишнє середовище, за попередньою оцінкою багатьох авторів, драмада матиме значно менший порівняно із традиційними барвниками таких самих відтінків, проте загрозу становитимуть синтетичні розчинники, які можуть бути використані для екстракції та подальшого розчинення пігмента для нанесення на тканину, папір чи деревину (Pittis, 2018; Almurshidi, 2021). Ці ж розчинники в основному і будуть нести загрозу людині через легку летючість та токсичність для організму людини, проте за умови використання натуральних олій при виробництві драмади та використанні будуть мати значно менший вплив на здоров'я людини.

Детально токсичність барвника синтезованого *Scytalidium cuboideum* дослідив Almurshidi з командою вчених (2021). Досліди проводили на ембріонах *Danio rerio* (рибки Даніо), які використовуються для дослідження біологічно активних речовин і терапевтичних сполук для подальшого фармацевтичного застосування, а також для визначення впливу на механізми ембріонального та постембріонального розвитку (Gehrig, 2018; MacRae, 2015). Використання такої моделі токсикологічних досліджень було прийнято на міжнародному рівні в якості альтернативи моделі тестування на тваринах для оцінки небезпеки та ризику (Zuberi, Eeza, Matysik, Berry, & Alia, 2019).

У результаті проведених досліджень було визначено, що суміші пігменту з дихлоретаном (ДХМ), а також супернатант проявляють певну токсичність. Також наведено дані, що драмада навіть у вигляді повністю очищених кристалів пігменту має біологічну активність, що за концентрацією 50 мкМ спричинило майже 100% летальність через 24 години після запліднення (Almurshidi та ін., 2021). Навіть зважаючи на те, що для людини летальна доза буде значно

більшою, а також на те, що людина не матиме такого тісного контакту із барвником, драмада може виявити інші небажані ефекти.

2.2.2 Ксиліндеїн

Ксиліндеїн це сполука нафтохінонової структури, що має забарвлення від синьо-зеленого до синього. У відносно чистому вигляді є темно-синім чи темно-зеленим порошком. Пігмент синтезується як вторинний метаболіт дереворуйнівними грибами *Chlorociboria* spp. у відповідь на несприятливі умови навколишнього середовища для продуцента, такі як кисле рН чи УФ-випромінення, а також у відповідь на обмеження азоту у субстраті (Stange та ін., 2019a; Stange та ін., 2019b).

Chlorociboria spp. це ксилотрофні аскоміцети, що ростуть на поваленій деревині листяних дерев. Зустрічаються у північній півкулі, в Україні найчастіше зустрічаються в Карпатах та Прикарпатті.

Ксиліндеїн акумулюється у гіфах грибів, тому його екстракція потребує попереднього руйнування гіфів. Також пігмент не розчинний у більшості органічних розчинників, окрім ДХМ, метилетилкетону (МЕК), теплового хлороформу, ацетонітрил та деяких комбінацій розчинників для високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) (Zschätzsch, 2021; Boonloed, 2016). Частіше всього для екстракції та подальшого розчинення барвника використовують саме ДХМ, хоча результати дослідження проведеного командою вчених на чолі із Pittis (2018) свідчать що ацетонітрил може стати більш доступною альтернативою для повторного розчинення пігменту (Pittis, Rodrigues de Oliveira, Gutierrez, & Robinson, 2018).

Вплив на довкілля, за попередніми дослідженнями, ксиліндеїн буде мати значно менший у порівнянні з традиційними хімічно синтезованими барвниками аналогічних відтінків. Проте, як і у випадку з драмадою, основну загрозу становитимуть розчинники необхідні для екстракції та подальшого розчинення для нанесення на тканину чи деревину (Pittis, 2018; Almurshidi, 2021). Якщо проаналізувати вплив ДХМ, який найчастіше застосовується для ксиліндеїну, то можна з'ясувати, що даний розчинник викликає отруєння, подразнення

дихальних шляхів тощо. Проте, при використанні закритої системи для екстракції, використання та повторного розчинення, можна буде не лише мінімізувати вплив розчинника на здоров'я людини, а й використовувати випарований розчинник повторно.

Токсичність ксиліндеїну також розглянули у своїй роботі Almurshidi з командою (2021). У дослідженнях за тією ж методикою що і для драмади було з'ясовано, що у випадку коли барвник не очищений від розчинника (ДХМ), а також супернатант є токсичними та викликали високий відсоток смертності та мутацій, хоча порівняно з драмадою результат був кращим. Також дослідники наводять дані, які вказують на відсутність токсичності відносно чистого ксиліндеїну. Такі результати дають зрозуміти, що ксиліндеїн не має біологічної активності, що є його перевагою в якості використання як барвника для текстилю (Almurshidi та ін., 2021). Дані щодо рівня токсичності повністю очищеного ксиліндеїну поки не наведені у науковій літературі, що може бути пояснено відсутністю еталонно чистої сполуки.

2.3 Перспективи використання нафтохінонових пігментів грибного походження

2.3.1 Драмада

Драмада у першу чергу дуже добре показує себе в як додатковий компонент для покриття деревини так і самостійне покриття, аби запобігти втраті кольору під впливом УФ-випромінювання. Також драмада надає деревині приємного кольору, за допомогою цього пігменту можна досягти від помаранчевих до рожевих відтінків на деревині (Gutierrez, 2021; Palomino Agurto, 2020; Pittis, 2018).

Також драмада добре показує себе в якості барвника для тканини, як для занурювального фарбування так і для струминного друку (Palomino Agurto, 2020; Gutierrez, 2019; Hirsch, 2015).

Окрім успішних досліджень у фарбуванні текстилю та деревини, Robinson із командою вчених (2018) провели дослідження перспективи використання драмади як пігменту масляних та акрилових фарб. У результаті проведених

досліджень було визначено, що акрил погано змішується з барвником розчиненим в олії, а при змішуванні пігменту з масляними фарбами пігмент знебарвлюється. Авторами було припущено, що втрата кольору відбувається через реакцію драмади з олійними компонентами фарби (Robinson та ін., 2018).

2.3.2 Ксиліндеїн

Ксиліндеїн зацікавив вчених забарвленням деревини, тож дослідження цього пігменту почалось з його використання як барвника для виробів з дерева. Gutierrez та співавт. (2021) у своєму дослідженні визначили, що ксиліндеїн, як і драмада, запобігає посивінню деревини при нанесенні пігменту у суміші з олією, а дослідження Robinson та співавт. (2014) вказує, що при нанесенні пігменту з ДХМ, відбувається лише не значна зміна кольору. Проте дослідження проведене Zschätzsch та команди вчених (2021) показало, що можливо проводити культивування *Chlorociboria* spp. одразу на деревині. Забарвлена в такий спосіб деревина мала більш насичений колір, через проростання гіфів через деревину, та також не втрачала колір під дією УФ-випромінювання. Метод пророщування грибів одразу на деревині не вимагає використання розчинників, тож такий метод є безпечним і при виробництві і при подальшому використанні деревини (Robinson, 2014; Zschätzsch, 2021; Gutierrez, 2021).

Також ксиліндеїн є хорошою альтернативою для фарбування текстилю, як тканин так і пряжі та готових виробів (Weber, Chen, Hinsch, Freitas, & Robinson, 2014). За дослідженням Hinsch та співавт. (2015) ДХМ не пошкоджує тканину, а ксиліндеїн проявляє стійкість на усіх типах тканин, як після традиційного прання так і прання з відбілювачем без зміни кольору для усіх типів тканин окрім вовни та поліакрилу на яких колір потемнішав. У цій же статті наведено дані щодо стійкості кольору навіть під впливом поту, без істотних змін забарвлення (Hinsch, 2015; Hernández, 2018; Hernández, 2019).

Окрім яскравого та стійкого забарвлення деревини та текстилю ксиліндеїн також проявляє дивовижні опто-електричні властивості про що свідчать дослідження Giesbers та співавт. наведені у трьох статтях. Наведені дані вказують на стійкість ксиліндеїну. Також було зазначено, що штам *Chlorociboria*

aeruginascens UAMH 7614 має здатність накопичувати ксиліндеїн з найкращими електронними властивостями (рухливість електронів – $0.012 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$; типові піки поглинання 600-700 нм), що в свою чергу свідчить про більшу чистоту пігменту та меншу забрудненість іншими вторинними метаболітами, що робить цей штам перспективним для майбутніх досліджень ксиліндеїну щодо його опто-електронних властивостей, хоч і цей штам проявив найповільнішу швидкість утворення пігменту (Giesbers, 2018; Giesbers, Krueger та ін. 2019; Giesbers, Van Schenck та ін. 2019, Court, 2020). Також вже були проведені перші дослідження щодо оптимізації виробництва ксиліндеїну для використання у опто-електроніці (Court, Giesbers, Ostroverkhova, & Robinson, 2020).

Таким чином, нафтохінонові барвники грибного походження мають ряд переваг над хімічно синтезованими барвниками аналогічних відтінків, а саме менша або відсутня біологічна активність, а також менший вплив на здоров'я людини та стан навколишнього середовища під час виробництва та використання таких пігментів. Також до переваг можна віднести значну стійкість ксиліндеїну навіть під впливом поту та УФ-випромінювання.

До недоліків пігментів грибного походження можна віднести значну тривалість їх одержання, зумовлену часом культивування продуцента.

Пігменти нафтохінонової структури можуть бути використані, як для фарбування текстилю та деревини, так і для застосування у опто-електроніці у випадку із ксиліндеїном.

РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ БІОСИНТЕЗУ ТА ВИДІЛЕННЯ НАФТОХІНОНОВИХ БАРВНИКІВ

Культивування грибів *Scytalidium cuboideum* та *Chlorociboria spp.* не потребує складних умов та надто дорогих субстратів. Проте процеси екстракції, очищення та використання можуть бути менш доступними, тож у цьому розділі розглянемо найменш затратні та безпечні шляхи одержання барвників.

3.1 Культивування грибів – продуцентів пігментів

3.1.1 *Scytalidium cuboideum*

Культивування *Scytalidium cuboideum* проводили до цього часу лише у лабораторних масштабах. Більшість статей, у яких вчені досліджують драмату чи *Scytalidium cuboideum*, проводять культивування за методом описаним Robinson (2014). Культивування проводили на чашках Петрі із середовищем 2% солодового агару з додаванням стружки цукрового клену. Інкубацію проводили частіше всього при температурі 21...28°C та при відносній вологості 75...80%, не менше 8 тижнів без доступу світла (Robinson, Hinsch, Weber, & Freitas, 2014).

3.1.2 *Chlorociboria aeruginascens*

Дослідження умов культивування *Chlorociboria aeruginascens* дозволило виділити декілька середовищ, сприятливих для росту грибів і синтезу пігменту ксиліндеїну. У роботі Stange (2019b) описано, що найбільше виробництво біомаси спостерігається при використанні чашок Петрі з середовищем 2% солодового агару з додаванням 15 г/л бактеріологічного агару та стружки цукрового клену, таке ж середовище було використано у роботах Gutierrez (2021) та Pittis (2018) (Stange, 2019b; Gutierrez, 2021; Pittis, 2018). Також Stange (2019b) зазначив, що найкращим джерелом азоту для *C. aeruginascens* виступає

НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Побута О.О.			РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ БІОСИНТЕЗУ ТА ВИДІЛЕННЯ НАФТОХІНОНОВИХ БАРВНИКІВ	Лім.	Арк.	Акрушів
Керівник		Красінько В.О.					22	4
Рецензент						Кафедра БТМ 22		
Н. Контр.								
Затверд.		Стабніков В.П.						

дріжджовий екстракт. Також у тій же статті зазначено, що за високих концентрацій глюкози за азоту біомаса не утворює ксиліндеїн. Той самий автор у іншому дослідженні зазначає, що найкращим середовищем для оптимального виробництва пігменту та біомаси є рідке середовище, що містить 5% апельсинового соку, а також тверде поживне середовище з 50% апельсинового соку та 30 г/л бактеріологічного агар-агару (Stange та ін., 2019a; Stange та ін., 2019b).

Отже, аналіз доступної наукової літератури дозволив визначити, що найоптимальнішими умовами для рідинного культивування *C. aeruginascens* з максимальним виробництвом пігменту та біомаси є температура 20...22°C, швидкість мішалки 160 об/хв, рН 4, аеробні умови культивування та помірна інтенсивність освітлення. Краще проводити періодичне культивування з тривалістю одного циклу 14 днів.

Культивування *Chlorociboria aeruginascens* проводили частіше у лабораторних масштабах, проте у дослідженні Zschätzsch (2021) було наведено спосіб успішного масштабування культивування до об'єму ферментера 70 л. Поступове масштабування проводили починаючи з інокуляту 2 см² колоній пророщених на твердому поживному середовищі, який вносили у 150 мл рідкого поживного середовища 5% апельсинового соку. Далі 200 мл інокуляту вносили у ферментер об'ємом 3л, після чого відбирала 500 мл інокуляту та вносили його у ферментер об'ємом 7л і нарешті 5л інокуляту вносили у ферментер об'ємом 70л. Умови культивування у реакторі на 70л були наступні: температура 22°C, швидкість мішалки 100 об/хв, швидкість аерації 0,27 об/об/хв.

3.2 Виділення та очищення грибних пігментів

3.2.1 Драмада

Для виділення драмади необхідно попередньо подрібнити пластинки з середовищем та біомасою. Подрібнення можна проводити з попереднім сушінням під витяжною шафою при температурі 21°C протягом 48 годин або ж без попереднього сушіння. Подрібнення відбувається до однорідного розміру фрагментів 5мм (Gutierrez, 2021; Almurshidi, 2021).

Після подрібнення біомасу переміщують у колби та додають ДХМ із розрахунком 30 мл ДХМ на одну пластинку середовища, щільно закупорюють та залишають на 30 хв на перемішувальній пластині при 200 об/хв для екстракції. Потім суміш проціджують, а осад знову заливають екстрагентом для повторної екстракції. Цей процес повторюють двічі після чого ДХМ з пігментом відкривають та залишають у витяжній шафі накриваючи пластиною для осідання кристалів пігменту (Gutierrez, 2021; Almurshidi, 2021).

Для повторного розчинення пігменту, його зберігання та подальшого використання у якості розчинника можна використовувати природні олії (Gutierrez, 2021; Palomino Agurto, 2020).

3.2.2 Ксиліндеїн

Виділення ксиліндеїну починають з фільтрування культурального середовища у випадку з рідинним культивуванням. Потім проводять подрібнення біомаси яку можна попередньо просушити, або ж використати гомогенізатор високого тиску у випадку із свіжою біомасою. До подрібнених гіфів додають ДХМ або інший екстрагент (метилетилкетон, ацетон, теплий хлороформ та ін.) у пропорції 1:1 та проводять екстракцію протягом 30 хв на пластині для перемішування з частотою обертань 200 об/хв. Таких екстракцій необхідно провести 3-6 для повного вилучення пігменту. Між екстракціями необхідно відфільтровувати розчин від біомаси та повторювати екстракцію за таким принципом з відфільтрованою біомасою. Екстракцію також можна провести і для культуральної рідини, проте назовні виділяється зовсім невелика кількість пігменту. Отриманий розчин випарюють у роторному випарнику при температурі 40°C. В результаті отримують сухі пластини ксиліндеїну (Stange, 2019a; Zschätzsch, 2021).

Щодо екстракції ксиліндеїну вирощеного на твердому середовищі, то спочатку пластинки агару з колоніями сушать при кімнатній температурі (20°C) протягом 48 годин після чого механічно подрібнюють їх та додають ДХМ або інший розчинник у кількості 30 мл екстрагенту на одну пластинку. Час екстракції

та кількість циклів збігаються із процесом екстракції з аналогічним для рідинного культивування (Stange, 2019a; Zschätzsch, 2021).

Таким чином, у процесі культивування *Scytalidium cuboideum* та *Chlorociboria aeruginascens* не потрібно використовувати дороговартісні середовища, а також, за рахунок того що культивування відбувається за кімнатної температури, не витрачається велика кількість енергії.

Щодо процесів виділення та очищення, використовувані розчинники для драмади можуть бути більш безпечними (натуральні олії), тоді як ксиліндеїн розчинний у невеликій кількості розчинників більшість з яких є летючими та небезпечними для здоров'я людини (ДХМ, метилетилкетон, теплий хлороформ, ацетон тощо).

ВИСНОВКИ ДО ЛІТЕРАТУРНОГО ОГЛЯДУ

1. Хімічно синтезовані барвники несуть шкоду довкіллю та здоров'ю людини через їх складну біодеградацію, біологічну активність, канцерогенність та мутагенність. Також при фарбуванні тканини хімічно синтезованими барвниками найчастіше застосовують методи які потребують великої кількості води та енергії, а в результаті такого фарбування велика кількість барвника залишається у стоках.
2. Серед барвників грибного походження, найбільшу яскравість кольору та стійкість у тканині проявляють нафтохінонові пігменти, а саме ксиліндеїн – вторинний метаболіт *Chlorociboria spp.* та драмада – вторинний метаболіт *Scytalidium cuboideum*
3. Пігменти нафтохінонової структури можуть бути використані, як для фарбування текстилю та деревини, так і для застосування у оптоелектроніці у випадку із ксиліндеїном, що робить їх дослідження та вдосконалення технологій одержання перспективними.
4. До недоліків пігментів грибного походження можна віднести значну тривалість їх одержання, зумовлену часом культивування продуцента.
5. Нафтохінонові барвники грибного походження мають також ряд переваг над хімічно синтезованими барвниками аналогічних відтінків, а саме менша або відсутня біологічна активність, а також менший вплив на здоров'я людини та стан навколишнього середовища під час виробництва та використання таких пігментів. Також до переваг можна віднести значну стійкість барвників грибного походження навіть під впливом поту та УФ-випромінювання.
6. У процесі культивування *Scytalidium cuboideum* та *Scytalidium cuboideum* не потрібно використовувати дорогі середовища, а також, за

НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
		Побута О.О.			РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ БІОСИНТЕЗУ ТА ВИДІЛЕННЯ НАФТОХІНОНОВИХ БАРВНИКІВ	Літ.	Арк.	Акрушів
		Красінько В.О.					26	2
						Кафедра БТМ		
						26		
		Стабніков В.П.						

рахунок того що культивування відбувається за кімнатної температури, не витрачається велика кількість енергії.

7. Щодо процесів виділення та очищення, використовувані розчинники для драмади можуть бути більш безпечними (натуральні олії), тоді як ксиліндеїн розчинний у невеликій кількості розчинників більшість з яких є летючими та небезпечними для здоров'я людини (ДХМ, метилетилкетон, теплий хлороформ, ацетон тощо).

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

4.1 Характеристика та перспективи використання ксиліндеїну

Ксиліндеїн – це сполука нафтохінонової структури, що має забарвлення від синьо-зеленого до синього. У відносно чистому вигляді є темно-синім чи темно-зеленим порошком. Пігмент синтезується як вторинний метаболіт дереворуйнівними грибами *Chlorociboria spp.* у відповідь на несприятливі умови навколишнього середовища для продуцента, такі як кисле рН чи УФ-випромінення, а також у відповідь на обмеження азоту у субстраті (Stange та ін., 2019a; Stange та ін., 2019b). Технічні характеристики ксиліндеїну, що були визначені до теперішнього часу наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики ксиліндеїну

№ з/п	Показник	Значення показника	Метод визначення
1	Піки спектру поглинання	600–700 нм	Спектрофотометричний метод Згідно зі статтею Giesbers (2018)
2	Молярна маса	569,1448	Згідно зі статтею Giesbers (2019)
3	CIE Lab*	L=82,28, a=-11,06, b=-5,4	Метод визначення колірного простору Згідно зі статтею Hinsch (2015)

* CIE Lab – це тривимірний колірний простір, що має дві кольорові осі з діапазонами від червоного (+a) до зеленого (-a) і від жовтого (+b) до синього (-b). Нуль по кожній з двох осей означає сірий колір. Третя вісь (L) коливається від білого (L = 100) до чорного (L = 0) (Hinsch, Weber, Chen, & Robinson, 2015).

					НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Побута О.О.				ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Красінько В.О.						28	7
Рецензент						Кафедра БТМ 28		
Н. Контр.								
Затверд.	Стабніков В.П.							

Chlorociboria spp. це ксилотрофні аскоміцети, що ростуть на поваленій деревині листяних дерев. Зустрічаються у північній півкулі, в Україні найчастіше зустрічаються в Карпатах та Прикарпатті (Шульга, 2007).

Ксиліндеїн акумулюється переважно у гіфах грибів, тому його екстракція потребує попереднього руйнування гіфів. Також пігмент не розчинний у більшості органічних розчинників, окрім ДХМ, МЕК, теплового хлороформу, ацетонітрил та деяких комбінацій розчинників для високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) (Zschätzsch, 2021; Boonloed, 2016). Частіше всього для екстракції та подальшого розчинення барвника використовують саме ДХМ, хоча результати дослідження проведеного командою вчених на чолі із Pittis (2018) свідчать що ацетонітрил може стати більш доступною альтернативою для повторного розчинення пігменту (Pittis, Rodrigues de Oliveira, Gutierrez, & Robinson, 2018).

Токсичність ксиліндеїну було розглянуто у роботі Almurshidi з командою (2021). Досліди проводили на ембріонах *Danio rerio* (рибки Даніо), які використовуються для дослідження біологічно активних речовин і терапевтичних сполук для подальшого фармацевтичного застосування, а також для визначення впливу на механізми ембріонального та постембріонального розвитку (Gehrig, 2018; MacRae, 2015). Використання такої моделі токсикологічних досліджень було прийнято на міжнародному рівні в якості альтернативи моделі тестування на тваринах для оцінки небезпеки та ризику (Zuberi, Eeza, Matysik, Berry, & Alia, 2019). У результаті дослідження було з'ясовано, що у випадку коли барвник не очищений від розчинника (ДХМ), а також супернатант є токсичними та викликали високий відсоток смертності та мутацій, хоча порівняно з іншими перевіреними барвниками результат був кращим. Також дослідники наводять дані, які вказують на відсутність токсичності відносно чистого ксиліндеїну. Такі результати й дали змогу зрозуміти, що ксиліндеїн не має біологічної активності, що є його перевагою в якості використання як барвника для текстилю (Almurshidi та ін., 2021). Дані щодо рівня токсичності повністю очищеного ксиліндеїну поки не наведені у

науковій літературі, що може бути пояснено відсутністю еталонно чистої сполуки.

Ксиліндеїн зацікавив вчених забарвленням деревини, тож використання цього пігменту почалось в якості барвника для деревини та меблів. Gutierrez та співавт. (2021) запропонували наносити ксиліндеїн у суміші з олією та визначили, що, окрім гарного кольору, пігмент запобігає посивінню деревини (Gutierrez, Stone, He, Vega Gutierrez, Walsh, & Robinson, 2021). Інше дослідження проведене Zschätzsch та співавт. (2021) показало, що культивування *Chlorociboria spp.* можливо проводити одразу на деревині, що забезпечує більш насичений колір деревини, через проростання гіфів крізь волокна деревини, та також мала стійкість до впливу УФ-випромінювання. Метод пророщування одразу на деревині є екологічно вигідними, бо не вимагає використання будь-яких розчинників, і така деревина буде безпечною при подальшому використанні (Robinson, 2014; Zschätzsch, 2021; Gutierrez, 2021).

Окрім естетичних аспектів використання ксиліндеїну, ця сполука також має дивовижні опто-електричні властивості, що наведено у трьох статтях Giesbers та співавт. (2018, 2019). Наведені у дослідженнях дані вказують на стійкість ксиліндеїну, а також було зазначено, що штам *Chlorociboria aeruginascens* UAMH 7614 накопичує ксиліндеїн з найкращими електронними властивостями (рухливість електронів – $0.012 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$) (Giesbers, 2018; Giesbers, Krueger та ін. 2019; Giesbers, Van Schenck та ін. 2019, Court, 2020).

Також ксиліндеїн є хорошою альтернативою для фарбування текстилю, як тканин так і пряжі та готових виробів (Weber, Chen, Hirsch, Freitas, & Robinson, 2014).

4.2. Характеристика ксиліндеїну, як тканинного барвника

Порошок ксиліндеїну має дуже темний синьо-зелений колір, використовуючи його в якості барвника можна пофарбувати тканину у синьо-зелений чи бірюзовий колір різних відтінків та насиченості.

У дослідженні Hirsch та співавт. (2015) наведено дані, які підтверджують, що ксиліндеїн проявляє стійкість на усіх типах тканин, як після традиційного

прання, так і прання з відбілювачем без зміни кольору для усіх типів тканин окрім вовни та поліакрилу на яких колір потемнішав після відбілювача. У цій же статті наведено дані щодо стійкості кольору навіть під впливом поту, без істотних змін забарвлення (Hinsch, 2015; Hernández, 2018; Hernández, 2019).

Окрім впливу самої сполуки через те що найчастіше використовуваним розчинником для неї є ДХМ було розглянуто і його вплив на тканину та виявлено, що він не пошкоджує тканину (окрім діацетату, через руйнівну реакцію з ДХМ), а також допомагає ксиліндеїну проникнути всередину шляхом розм'якшення волокна. Після вивітрювання того ж розчинника волокно повертає свою структуру, затримуючи пігмент і забезпечуючи додаткову стійкість кольору (Hinsch, 2015; Hernández, 2018; Hernández, 2019).

Щодо кількості розчину барвника яка необхідна для фарбування тканини, точної інформації у наукових статтях поки не наведено. Тож, спираючись на метод занурювального фарбування описаний у статті Weber та співавт. (2014), необхідна концентрація пігменту 0,5 г/л. Відповідно, спираючись на аналогічну витрату хімічно синтезованого барвнику, для фарбування 1 кг тканини необхідно 10 л розчину барвника, який міститиме 5 г сухого пігменту (Weber, Chen, Hinsch, Freitas, & Robinson, 2014).

Для фарбування тканини необхідно підготувати розчин барвника з ДХМ у пропорції 0,5 г/л та занурити тканину у розчин на 20-30 хв. По завершенню процесу фарбування, тканину необхідно буде витягти з розчину та залишити на 30 хвилин для випаровування розчинника при кімнатній температурі. Під час такого фарбування, за умови використання закритої системи, ДХМ можна буде повернути у виробництво.

Вплив фарбування ксиліндеїном на довкілля, за попередніми дослідженнями, буде значно меншим у порівнянні з фарбуванням традиційними хімічно синтезованими барвниками аналогічних відтінків. Це зумовлено легшою біодеградацією, відсутністю необхідності у великій кількості води та теплової енергії на фарбування.

Проте основну загрозу становитиме розчинник необхідний для екстракції та подальшого розчинення для нанесення на тканину (Pittis, 2018; Almurshidi, 2021). Якщо проаналізувати вплив ДХМ, то можна з'ясувати, що даний розчинник викликає отруєння, подразнення дихальних шляхів тощо. Проте, при використанні закритої системи для екстракції, повторного розчинення та використання, можна буде не лише мінімізувати вплив розчинника на здоров'я людини, а й використовувати випаруваний розчинник повторно (Hinsch, 2015; Weber, 2014).

4.3. Огляд цільового ринку барвників для текстилю та місце ксиліндеїну на даному ринку

За доступними даними державного комітету статистики України, за 2016 рік було виготовлено 2 203 119 кг тканини і пряжі. Ця статистика є самою актуальною через кризи останніх років. Зважаючи на різноманіття кольорів та постійну зміну модних тенденцій, можна припустити, що потреба у такому барвнику складе 1% ринку тканин та пряжі.

Також необхідно врахувати, що оскільки більшість виробників вже забезпечені необхідними барвниками, виробництво буде в основному націлене на невеликі крафтові підприємства та буде покривати 0,02% ринку, що складає 4 406,2 кг тканини і пряжі.

Для визначення необхідної для покриття 0,02% ринку кількості сухого пігменту необхідно провести розрахунки за наведеною формулою, враховуючи витрату сухого пігменту наведену у попередньому підрозділі даної кваліфікаційної роботи:

$$T * P_1 = P, \quad (4.1)$$

де T – кількість тканини, що складає 0,02% від ринку, кг;

P_1 – витрата сухого пігменту на 1 кг тканини, кг (за середньостатистичною витратою аналогічних барвників 5 г/кг_{ткан.});

P – необхідна кількість сухого пігменту для покриття 0,02% ринку, кг.

Відповідно до наведеної формули проводим розрахунок:

$$4\,406,2 * 0,005 = 22,031.$$

Тож для того щоб покрити 0,02% річного ринку тканин необхідно 22 кг сухого ксиліндеїну.

4.4. Розрахунок річної потужності

За даними наведеними у статті Zschätzsch та співавт. (2021) за найкращих умов культивування пігмент складає 5% від сухої біомаси.

Відповідно необхідну кількість біомаси для одержання 22 кг пігменту можна розрахувати за наступною формулою:

$$\frac{П*100\%}{5\%} = Б,, \quad (1.2)$$

де П – необхідна кількість сухого пігменту для покриття 0,02% ринку, кг;

5% – частка пігменту в сухій біомасі;

Б – необхідна кількість сухої біомаси для одержання 22 кг пігменту, кг.

Відповідно до формули проведемо розрахунок:

$$\frac{22 * 100\%}{5\%} = 440 \text{ кг} = 440\,000 \text{ г.}$$

.

Також за даними тієї ж статті за 1 цикл культивування, що складає 14 днів, можна отримати 1,7 г/л сухої біомаси. Розрахуємо необхідну кількість культуральної рідини ($V_{кр}$, л):

$$V_{кр} = \frac{440\,000 * 1}{1,7} = 258\,823,5 \text{ л} = 258,8 \text{ м}^3.$$

Отже, для отримання 440 000 г сухої біомаси необхідно 258,8 м³ культуральної рідини.

Додатково необхідно врахувати втрати цільового продукту під час його одержання та очищення, які можуть складати 30%:

$$258\,823,5 / (1-0,3) = 369\,747,9 \text{ л} = 369,8 \text{ м}^3.$$

Тривалість циклу ферментації становитиме 340 годин, або 15 діб (миття та огляд – 1,5 год, перевірка герметичності – 0,5 год, завантаження поживного середовища – 1,5 год, засів культурою – 0,5 год, ферментація – 336 год).

Ефективний фонд робочого часу складатиме 360 годин (15 діб * 24 год = 360 год).

Спираючись на ці дані для отримання необхідної кількості пігменту було вирішено провести 12 циклів культивування, що складає 180 дні у ферментері з геометричним об'ємом 50 м³ та коефіцієнтом заповнення 0,62.

РОЗДІЛ 5. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СТАДІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

5.1. Обґрунтування післяферментаційних стадій одержання барвника

У результаті культивування *Chlorociboria aeruginascens* одержують культуральну рідину, що окрім цільового продукту, що акумулюється у гіфах грибів, містить також поживне середовище та інші вторинні екзогенні метаболіти *Chlorociboria aeruginascens*. Тож для отримання очищеного цільового продукту необхідні наступні стадії технологічного процесу:

1. Відокремлення біомаси;
2. Дезінтеграція біомаси;
3. Екстрагування;
4. Упарювання екстракту з подальшим сушінням;
5. Подрібнення пластин ксиліндеїну.

5.1.1. Вибір та обґрунтування способу відокремлення біомаси

Першим необхідним етапом після культивування буде відокремлення біомаси від культуральної рідини, щоб виключити потрапляння екзогенних вторинних метаболітів *Chlorociboria aeruginascens* та частин культурального середовища у кінцевий продукт. Нині використовують наступні методи відокремлення біомаси від середовища культивування: центрифугування, відстоювання, флотація, фільтрування.

У біотехнологічній промисловості *центрифугування* широко використовуються для розділення різних суспензій на рідку й тверду фази, які містять різні продукти біосинтезу. Центрифуги використовують у тих випадках, коли треба одержати біомасу вільну від фільтрувальних матеріалів, а також, коли осад погано фільтрується та у процесі виробництва необхідно підтримувати постійні стерильні умови.

					НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 5. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СТАДІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Побута О.О.					35	21
Керівник		Красінько В.О.						
Рецензент								
Н. Контр.								
Затверд.		Стабніков В.П.				Кафедра БТМ ₃₅		

Проте центрифуга має у своїй будові обертальний вал, який знаходиться в безпосередньому контакті з культуральною рідиною та біомасою. Зважаючи на те, що продуцентом ксиліндеїну є нитчасті гриби, є ризик того що продуцент буде перешкоджати роботі центрифуги.

Переваги: висока швидкість та ефективність розділення рідкої та твердої фази, компактність установки.

Недоліки: велика енергоємність процесу та висока вартість обладнання, складність роботи з нитчастими грибами.

Також для відділення клітин продуцента від середовища культивування часто застосовується *метод флотації*, який нині використовується для одержання концентратів клітин дріжджів. Зокрема, метод флотування призначений для концентрування «важких» клітин, таких як дріжджі та мікроміцетів і зовсім не підходить для відокремлення бактеріальних клітин. Даний метод вирізняється доступністю та простотою технічного оформлення. Використання такого способу відділення біомаси має максимальний економічний ефект.

Окрім того існують й недоліки, першу чергу цей метод характеризується низькою чистотою виходу біомаси, так як у результаті флотації утворюється напівпродукт із концентрацією біомаси лише в 2...4 рази більшою, ніж у поданій культуральній рідині (Карлаш, & Красінько, 2022).

Переваги: висока швидкість процесу, відносна дешевизна, низькі енергетичні витрати, простота обладнання.

Недоліки: порівняно низька концентрація біомаси та високі втрати.

Розділення сумішей під впливом сил земного тяжіння, а інакше *відстоювання* також є одним із найпривабливіших процесів розділення, що характеризується простотою, надійністю та дешевизною. Проте незважаючи на переваги, цей метод має й недоліки: низька ефективність й чистота розділення, низька швидкість перебігу процесу. Основною метою розділення є одержання чистої біомаси з мінімальними домішками культуральної рідини, що робить цей метод недоцільним для подальшого виділення.

Переваги: простота та дешевизна обладнання.

Недоліки: низька швидкість процесу та концентрація біомаси.

Також одним із процесів одержання біомаси є фільтрування. Цей метод характеризується простотою, надійністю та економічною вигідністю. На сучасних біотехнологічних виробництвах широко застосовують методи фільтрування вакуум – фільтрами, мікрофільтрація тощо, але існують певні недоліки цих методів, на які варто звернути увагу. Проведення процесу фільтрування є надзвичайно трудомістким. Варто також звернути увагу на те, що фільтри можуть швидко забиватись, що також може стати проблемою при розділенні фаз.

Переваги: простота методу, дешевизна обладнання, простота оформлення.

Недоліки: висока трудомісткість та можливе забивання фільтрувального матеріалу.

Наведені дані, для кращого аналізу, було зведено у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2. – Характеристика методів відокремлення біомаси

Назва методу	Переваги	Недоліки
1	2	3
Центрифугування	<ul style="list-style-type: none">• висока швидкість розділення;• висока ефективність розділення;• компактність установки;	<ul style="list-style-type: none">• велика енергоємність;• висока вартість обладнання;• міцелій може перешкоджати нормальній роботі обладнання
Флотація	<ul style="list-style-type: none">• висока швидкість процесу;• низькі енергетичні витрати;• простота обладнання;	<ul style="list-style-type: none">• порівняно низька концентрація біомаси;• високі втрати
Відстоювання	<ul style="list-style-type: none">• простота обладнання;• дешевизна обладнання;	<ul style="list-style-type: none">• низька швидкість процесу;• низька концентрація біомаси;• високі втрати

Продовження таблиці 5.2

1	2	3
Фільтрування	<ul style="list-style-type: none">• простота методу;• дешевизна обладнання;• простота оформлення;	<ul style="list-style-type: none">• висока трудомісткість;

Беручи до уваги наведені дані, можна зробити висновок, що найкращим способом розділення біомаси і культуральної рідини є фільтрація. Тож для фільтрування біомаси було обрано фільтр через його простоту та дешевизну.

Для вибору конкретного виду фільтру також проведемо порівняння доступних видів фільтрувальних апаратів.

Нутч-фільтр. Це фільтри періодичної дії, призначені для розділення суспензій, що функціонує під вакуумом. На фільтрат водночас і в одному напрямі діє сила тяжіння й створений в апараті вакуум, що зумовлює високу ефективність процесу. Нутч-фільтри застосовують при фільтруванні розчинів, які у тому ж числі можуть містити агресивні компоненти.

Принцип роботи нутч-фільтра дозволяє здійснювати ефективне фільтрування при малих та середніх об'ємах культуральної рідини, у зв'язку з чим його широко застосовують у фармацевтичній, хімічній, харчовій галузях, у дослідницьких центрах та лабораторіях. В основі стандартної конструкції нутч-фільтра є вертикальна ємність циліндричної форми й вакуумний насос. Корпус ємності додатково може бути обладнаний сорочкою для терморегуляції. Всередині, у нижній частині ємності є решітчаста перегородка (хибне дно), на яку зверху укладений фільтрувальний матеріал. Культуральну рідину подають у ємність, вона стікає на решітку з фільтрувальним матеріалом, за допомогою підключеного до нижньої частини апарату під решіткою вакуумного насоса відкачується повітря та утворюється вакуум, який з силою тяжіння і змушує фільтрат стікати вниз, проходячи крізь фільтрувальний матеріал, де він й видаляється з апарату.

Виходячи з усіх вищезазначених даних, нутч-фільтри застосовуються для фільтрації суспензій у вакуумі, коли необхідне ретельне виділення твердих речовин. Ці фільтри забезпечують високу ефективність процесу, що дозволяє якісно розділяти рідини та тверді частки. Деякі моделі мають можливість повної автоматизації, що значно спрощує їх використання та підвищує ефективність роботи.

Однак нутч-фільтри також мають свої обмеження. Їх продуктивність є дещо обмеженою, тому вони найкраще підходять для роботи з невеликими обсягами виробництва. Процес фільтрації може бути досить тривалим, особливо коли мова йде про обробку густих або складних суспензій, до яких і можна віднести культуральну рідину, що містить аскоміцети, яким і є *Chlorociboria aeruginascens*. Крім того, ці фільтри можуть бути складними у очищенні та обслуговуванні, що потребує додаткових зусиль та часу від персоналу, а це може впливати на загальну ефективність виробничого процесу.

Переваги: висока ефективність, можливість автоматизації.

Недоліки: обмежена продуктивність, тривалість процесу, складність у очищенні та обслуговуванні.

Друк-фільтр. Це пристрої, що застосовуються для фільтрування суспензій під дією високого тиску, через що їх корпуси виробляють з матеріалів дуже високої міцності. Даний вид фільтрування застосовують при роботі з щільними суспензіями (до 5 г/см³), колоїдними розчинами, в'язкими або з великим питомим опором осаду рідинами. Ці пристрої використовують також для розчинів, які містять леткі сполуки.

Промислові й лабораторні друк-фільтри є ефективними, також, при необхідності роботи з полідисперсними та дрібнозернистими осадами, що схильні забивати дрібні пори різних фільтрувальних матеріалів, знижуючи тим самим швидкість та ефективність фільтрування. Надлишковий тиск, що застосовується в друк-фільтрах, дозволяє уникнути подібних проблем і досягти високих якісних результатів.

Тож, завдяки своїй конструкції, друк-фільтри здатні обробляти значні обсяги суспензій, що робить їх ефективними для масштабних виробничих

процесів. Ці фільтри забезпечують тонку фільтрацію, дозволяючи видаляти навіть дуже дрібні частинки, що є важливим у випадках, коли потрібна висока чистота кінцевого продукту. Окрім того, друк-фільтри мають можливість повної автоматизації, що спрощує їх використання та підвищує ефективність виробництва, знижуючи потребу в ручному контролі.

Проте друк-фільтри мають і певні недоліки, що можуть обмежувати їх застосування. Їхня вартість є досить високою як на етапі установки, так і під час обслуговування, що може бути вагомим чинником при виборі обладнання для виробництва. Конструкція друк-фільтрів є складною, що вимагає ретельного налаштування і догляду, а також кваліфікованого персоналу для їх експлуатації. Крім того, ці фільтри займають значну площу на виробництві, що може стати проблемою в умовах обмеженого простору.

Переваги: висока продуктивність, можливість тонкої фільтрації, можливість повної автоматизації процесу.

Недоліки: висока вартість обладнання, складність конструкції, велика габаритність.

Фільтр-прес. Це апарат для зневоднення тонкозернистих пульп з малим вмістом твердих частинок. Сама установка складається з серії пластин та рам, між якими розташовуються фільтрувальні тканини. Під тиском через ці тканини проходить суспензія, що дозволяє відокремити тверді частинки від рідини. Така конструкція забезпечує високу ступінь фільтрації, що дозволяє досягти високої чистоти кінцевого продукту. Завдяки великим площам фільтраційного матеріалу, фільтр-прес може ефективно обробляти великі обсяги матеріалів, що робить його продуктивним інструментом у масштабному виробництві. Окрім того, з точки зору енерговитрат, фільтр-прес є досить економічним, що знижує загальні експлуатаційні витрати.

Однак, використання фільтр-преса має свої недоліки, які можуть вплинути на ефективність виробничого процесу. Процес завантаження та розвантаження пластин є трудомістким і часто потребує значних зусиль і ручної праці, що може збільшити час простоїв та вимагати додаткової людської робочої сили. Крім того, цикл фільтрації та очищення займає значний час, що може уповільнити

виробничий процес. Також слід враховувати витрати на обслуговування, оскільки фільтрувальні тканини потребують регулярної заміни, що є причиною додаткових експлуатаційних витрат і вимагає постійного контролю стану обладнання. Також зважаючи на особливості біологічного агенту пори фільтрувальних матеріалів забиватимуться значно швидше.

Переваги: висока продуктивність, високий ступінь фільтрації дрібнодисперсного фільтрату, малі енерговитрати.

Недоліки: великі експлуатаційні витрати, трудомісткість, втрата часу.

Стрічковий вакуум-фільтр. Вакуум-фільтр безперервної дії з робочим органом у вигляді зацикленої гумової стрічки з отворами, із закріпленою на ній фільтрувальною тканиною. Призначені такі апарати для фільтрування крупнодисперсних (крупністю до 3 мм) швидкоосаджуваних суспензій й тонкоподрібнених матеріалів які з різних причин не можуть бути відокремлені іншими типами фільтрів.

Завдяки своїй здатності працювати безперервно, ці фільтри є ідеальним рішенням для великих виробництв, де необхідний постійний процес фільтрації. Вони здатні обробляти великі обсяги суспензій, що робить їх надзвичайно продуктивними в умовах інтенсивного виробництва. Окрім того, стрічкові вакуум-фільтри легко піддаються автоматизації, що значно знижує потребу в ручній праці та скорочує витрати на робочу силу.

Незважаючи на ці переваги, використання стрічкових вакуум-фільтрів має й певні обмеження. Через свій великий розмір ці фільтри займають значну площу на виробництві, що може бути проблематичним в умовах обмеженого простору. Крім того, обслуговування таких фільтрів може бути досить складним, особливо коли йдеться про чищення та заміну фільтрувальної стрічки, що потребує спеціалізованого обладнання та досвідченого персоналу. Ефективність стрічкових вакуум-фільтрів також може знижуватися при обробці густих або неоднорідних суспензій, оскільки такі фільтрати можуть ускладнювати процес фільтрації і вимагати додаткових налаштувань або модифікацій обладнання для забезпечення належної роботи.

Так як біологічний агент є неоднорідною масою, даний тип фільтру не підходить для використання у даному випадку.

Переваги: безперервна робота, можливість автоматизації, висока продуктивність.

Недоліки: велика габаритність, складність обслуговування, висока чутливість до концентрації та однорідності суспензії.

Серед фільтрів безперервної дії найпоширеніші **барабанні вакуум-фільтри**. Основна робоча частина фільтру – обертовий перфорований барабан циліндричної форми, вкритий металевою рифленою сіткою, на якій розташовано фільтруючу перегородку. Барабан занурений в суспензію на 30-40% своєї поверхні. Суспензія знаходиться у спеціальній ємності, в якій встановлено хитку мішалку для підтримки постійної однорідності суспензії.

Серед переваг даного фільтру слід зазначити його простоту у обслуговуванні, можливість фільтрування суспензій, що мають великий вміст твердої фази, а також гарні умови для промивання осаду, хоч і для даної технології одержання пігменту це не так важливо.

Проте підтримка вакууму у апараті вимагає значних енергетичних затрат, що може суттєво збільшити загальні виробничі витрати. Крім того, складність конструкції таких фільтрів означає, що вони потребують регулярного обслуговування, включаючи заміну фільтрувальної тканини, яка з часом зношується або забруднюється. Це є причиною додаткових витрат на обслуговування та вимагає залучення кваліфікованого персоналу. Ще одним обмеженням є те, що барабанні вакуум-фільтри найкраще працюють з рідинами середньої в'язкості, тоді як обробка дуже густих або дуже рідких суспензій може виявитися менш ефективною, що потребує додаткових налаштувань або навіть зміни типу фільтрувального матеріалу для досягнення оптимальних результатів.

Переваги: висока продуктивність, безперервність та можливість автоматизації процесу.

Недоліки: висока вартість обслуговування обладнання та складність конструкції, певні обмеження по концентрації та в'язкості суспензії.

Наведені дані щодо вибору типу фільтру, для кращого аналізу, було зведено у таблицю 5.3.

Таблиця 5.3. – Характеристика типів фільтрування біомаси

Назва обладнання	Переваги	Недоліки
1	2	3
Нутч-фільтр	<ul style="list-style-type: none"> • висока ефективність; • можливість автоматизації; 	<ul style="list-style-type: none"> • обмежена продуктивність; • тривалість процесу; • складний у обслуговуванні;
Друк-фільтр	<ul style="list-style-type: none"> • висока продуктивність; • можливість повної автоматизації процесу. 	<ul style="list-style-type: none"> • висока вартість обладнання; • складність конструкції; • велика габаритність.
Фільтр-прес	<ul style="list-style-type: none"> • висока продуктивність; • малі енерговитрати. 	<ul style="list-style-type: none"> • великі експлуатаційні витрати; • трудомісткість; • втрата часу.
Стрічковий вакуум-фільтр	<ul style="list-style-type: none"> • можливість автоматизації; • висока продуктивність. 	<ul style="list-style-type: none"> • велика габаритність; • складність обслуговування; • висока чутливість до концентрації та однорідності суспензії.
Барабанний вакуум-фільтр	<ul style="list-style-type: none"> • висока продуктивність; • можливість автоматизації процесу. 	<ul style="list-style-type: none"> • висока вартість обслуговування обладнання; • складність конструкції; • певні обмеження по концентрації та в'язкості суспензії.

Підсумовуючи дані наведені у таблиці 5.3, найкращим варіантом для відокремлення біомаси є друк-фільтр, який забезпечить найкраще розділення.

5.1.2. Обґрунтування та вибір способу дезінтеграції клітин

Наступним етапом необхідно провести дезінтеграцію відокремленої біомаси для руйнування гіфів у яких більшою мірою і накопичується ксиліндеїн. На сьогоднішній день відомі наступні методи дезінтеграції клітин: фізичні (механічне руйнування клітин, гомогенізація високого тиску, ультразвукова обробка, бісерний млин, осмотичний шок), хімічні (лізис), ферментативні (використання ферментних препаратів) (Карлаш, & Красінько, 2022).

Хімічні методи мають свої переваги, такі як висока ефективність та контрольованість реакцій. Також хімічні методи дезінтеграції можуть мати великий спектр дії. Проте такий метод очевидно матиме недоліки такі як висока вартість реагентів та їх домішки у кінцевому продукті, а також не варто забувати, що реагенти можуть нести небезпеку для навколишнього середовища та здоров'я людини (Карлаш, 2022; D'Hondt, 2017). Також невідомо як реагенти впливатимуть на барвник.

Ферментативні методи матимуть м'якші умови дезінтеграції такі як нейтральне значення рН та відносно низька температура. Також до переваг таких методів можна віднести відносну безпечність ферментних препаратів для навколишнього середовища на здоров'я людини. Однак цей метод має певні недоліки у використанні такі як тривалий час реакції, висока вартість ферментів, низька стабільність тих же ферментів. Так само як і у випадку з хімічною дезінтеграцією, поки нема відомостей про вплив ферментів на барвник. Цей метод також характеризується селективністю, яка може виступати як перевагою так і недоліком (Карлаш, 2022; D'Hondt, 2017).

Із багатьох відомих методів дезінтеграції більшість належить до методів механічної дезінтеграції, які і є найефективнішими. На відміну від хімічних методів, які потребують використання додаткових речовин, які можуть забруднювати кінцеву сполуку, механічні методи не потребують додавання допоміжних речовин (Карлаш, 2022; Nemer, 2021). Серед механічних методів

розрізняють балістичне руйнування, екструзійний метод та ультразвукову обробку.

Балістичне руйнування працює за принципом схожим до кульового млина та полягає у руйнуванні клітин подрібнювальними тілами (кульками із скла, металу чи пластмаси). Перевагами цього методу є ефективність, швидкість процесу та простота виконання. Проте обладнання для балістичного руйнування має високу вартість (D'Hondt, 2017; Nemer, 2021).

Екструзійний метод проводять шляхом продавлення клітинної маси через вузькі отвори, в результаті чого і відбувається подрібнення біомаси. Перевагою цього методу є висока швидкість та ефективність процесу, а також контрольованість та можливість масштабування. До недоліків даного методу можна віднести високі енергетичні витрати, складність та порівняно швидкий знос обладнання (Карлаш, & Красінько, 2022).

Ультразвуковий метод полягає у руйнуванні клітин ультразвуковими хвилями. Перевагами ультразвукового методу є швидкість та ефективність процесу. Щодо недоліків то тут можна сказати про можливість впливу ультразвукових хвиль на ксиліндеїн, проте таких досліджень поки не проводили. Також цей метод потребує спеціалізованого дороговартісного обладнання (Nemer, 2021;)

Наведені дані щодо механічних видів дезінтеграції, для кращого аналізу було зведено у таблицю 5.4.

Таблиця 5.4. – Характеристика механічних методів дезінтеграції

Назва методу	Переваги	Недоліки
1	2	3
Хімічний метод	<ul style="list-style-type: none">• висока швидкість;• висока ефективність;	<ul style="list-style-type: none">• висока вірогідність втрати кольору;• висока вартість реактивів;

Продовження таблиці 5.4

1	2	3
Ферментаційний метод	<ul style="list-style-type: none">• висока швидкість процесу;	<ul style="list-style-type: none">• висока вартість ферментних препаратів;• висока вірогідність втрати кольору;• відносно низька ефективність;
Балістичний метод	<ul style="list-style-type: none">• простота виконання;• швидкість процесу;	<ul style="list-style-type: none">• висока вартість обладнання;

Тож, виходячи з вищенаведених даних, найкращим методом руйнування гіфів виступає балістичний метод. В результаті такого подрібнення можна отримати рівномірно подрібнену біомасу, що дозволяє провести ефективну екстракцію ксиліндеїну, а також гарантовано отримати стабільний.

5.1.3. Обґрунтування вибору способу вилучення цільового продукту

Після дезінтеграції, наступним етапом необхідно провести вилучення цільового продукту. Через специфічність сполуки вилучення можливо провести лише шляхом екстракції, для якої найкращими розчинниками поки залишається ДХМ та МЕК, також ксиліндиїн добре розчиняється у підігрітому хлороформі, проте усі вони є токсичним (Zschätzsch, 2021; Stange, 2019a; Stange, 2019b). У даній роботі в якості розчинника обрано саме ДХМ, через можливість його рециркуляції, а також ефективності даного розчинника для ксиліндеїну, про що свідчить безліч досліджень та можливість зберігання пігменту у даному розчиннику без змін кольору (Pittis, 2018; Zschätzsch, 2021). Інші варіанти розчинників є або більш небезпечними (теплий хлороформ), або менш ефективними, або складнішими для масштабування (метод високоефективної рідинної хроматографії з комбінацією розчинників).

Щодо типу екстрактору, зважаючи на те, що ДХМ летка сполука, а також на те що виробництво ксиліндеїну у даній роботі малотонажне, для екстракції

знадобиться шнековий горизонтальний екстрактор закритого типу. За рахунок протитокової екстракції, процес є дуже ефективним. Такий екстрактор забезпечить найвищу ефективність екстракції, а також дозволить вловити екстрагент який встигне випаруватись в процесі екстракції (Чорний, Мисюра, Попова, & Зав'ялов, 2019).

За даними зі статей необхідною температурою екстракції буде 20...25°C (Pittis, 2018; Zschätzsch, 2021).

5.1.4. Обґрунтування вибору способу упарювання та сушіння

Наступним етапом буде одержання концентрату пігменту з екстракту. Для цього найдоцільніше використовувати упарювачі. Також за для кращої ефективності використання розчинника система повинна бути закритою, аби була можливість зібрати розчинник для повторного використання. За таких умов найкращим апаратом буде вакуум-випарювач.

Також зі схожими характеристиками, а саме герметичністю та можливістю зібрати ДХМ, для подальшого сушіння найдоцільнішим та найпростішим апаратом буде вакуум-сушильна шафа через простоту використання та швидкість.

5.1.5. Обґрунтування вибору подрібнювача пластин пігменту

Для більш точного дозування та кращої розчинності наступним необхідним етапом є подрібнення пластин пігменту у порошок. Найкраще для цього підходить молоткова дробарка, що оснащена внутрішнім ситом та дозволяє контролювати розмір подрібнених часточок.

Також молоткові дробарки оснащують рукавами для вловлення спилених подрібнених часточок, що скорочує додаткові втрати продукту.

5.2. Підбір технологічного обладнання з врахуванням матеріальних потоків по стадіям

№ п/п	Назва стадії (операції)	Матеріальні потоки	Кількість по стадіях			Необхідне обладнання
			Надійшло	Втрати	Вийшло	
1	2	3	4	5	6	7
ДР 1. Зберігання культуральної рідини						
1	ДР 1.1. Зберігання культуральної рідини	Культуральна рідина	30,8 м ³	-	30,8 м ³	Збірник об'ємом 35 м ³ з охолоджувальним кожухом та мішалкою
ТП 2. Відділення біомаси						
2	ТП 2.1 Фільтрування культуральної рідини	Культуральна рідина	30,8 м ³	-	-	Друк-фільтр FPP 500 з поверхнею фільтрації 5,3 м ² та об'ємом 6,58 м ³
		Супернатант	22,4 м ³	-	-	
		Біомаса 95% вода	1 047,2 кг	(5%)	994,84 кг	
ТП 3. Руйнування гіфів грибів						
3	ТП 3.1 Руйнування клітин балістичним методом дезінтеграції	Біомаса	994,84 кг	(5%)	-	Балістичний дезінтегратор ефективністю 500 кг/год
		Подрібнена біомаса	-	-	945,1 кг	

Продовження таблиці підрозділу 5.2.

1	2	3	4	5	6	7
ТП 4. Екстракція ксиліндеїну						
4	ТП 4.1 Екстракція у шнековому горизонтальному екстракторі закритого типу	Подрібнена біомаса	945,1 кг	(13,2%)	-	Шнековий горизонтальний екстрактор з об'ємом 0,6 м ³ , нахилений під кутом 10° відносно горизонту
		ДХМ	3,55 м ³	-	-	
		Екстракт ксиліндеїну	-	-	4,3 м ³ (5 671 кг)	
ТП 5. Упарювання екстракту						
5	ТП 5.1 Упарювання екстракту до утворення концентрату	Екстракт ксиліндеїну	4,3 м ³	(3%)	-	Вакуум-випарний апарат з площею поверхні нагріву 3,6 м ²
		Концентрат ксиліндеїну	-	-	2,05 м ³	
ТП 6. Сушіння та подрібнення пігменту						
6	ТП 6.1 Сушіння концентрату	Концентрат ксиліндеїну	2,05 м ³	(2%)	-	Вакуумна-сушильна шафа з робочим об'ємом 3 м ³
		Пластини ксиліндеїну	-	-	23,2 кг	

Продовження таблиці підрозділу 5.2.

1	2	3	4	5	6	7
7	ТП 6.2 Подрібнення пластин пігменту до стану порошку	Пластини ксиліндеїну	23,2 кг	(1%)	-	Молоткова дробарка продуктивністю 15-20 кг/год, фракція 100 мкм
		Порошок ксиліндеїну	-	-	23 кг	
ПМВ 7. Фасування, маркування, зберігання						
8	ПМВ 7.1 Фасування та маркування порошку	Порошок ксиліндеїну	24 кг	(0,8%)	23,8 кг	Фасувальна машина
9	ПМВ 7.2 Зберігання	Картонні коробки	-	-	-	Стелажі для зберігання

5.3. Специфікація обладнання

Позиція	Найменування	Кількість	Технічна характеристика
1	2	3	4
Р-1	Збірник культуральної рідини	1	<p>Збірник об'ємом 35 м³ обладнаний мішалкою, яка приводяться в рух за допомогою електроприводів. Також обладнаний сорочкою для охолодження, в якості охолоджувача використовується розсіл.</p> <p>Елементи і корпус виготовлені з нержавіючої сталі.</p> <p>Потужність електроприводу підбиратимуть виходячи з щільності і в'язкості продукту. Частота обертів мішалки 50 об/хв.</p>
Н-2 Н-4 Н-6 Н-9	Насос відцентровий	6	<p>Насоси горизонтальні відцентрові ВГВНВ 50-160 (12,5/32).</p> <p>Продуктивність 12.5 м³/год.</p> <p>Матеріал нержавіюча сталь.</p> <p>Можливе перекачування в'язких розчинів.</p> <p>Виробник BTS Engineering, Китай.</p>
Ф-3	Друк-фільтр	1	<p>Знімне або фіксоване днище, система вивантаження осаду, ліфтова система для верхньої частини.</p> <p>Перемішувальний пристрій підбирають під продукт та його особливості.</p>

1	2	3	4
			<p>Для вивантаження продукту передбачений бічний патрубков. Продуктивність фільтру 6,58 м³. Робочий тиск 0,15 мПа. FitroDryer, Італія.</p>
Д-5	Балістичний дезінтегратор	1	<p>Подрібнювач біомаси REDUNIT модульна структура для підлаштування під різні види продуктів подрібнення. Деталі та корпус із міцної нержавіючої сталі. Продуктивність 500 кг/год. Vogelsang Holding, Німеччина. ([Електронний-ресурс]: http://surl.li/wumadz)</p>
Е-7	Екстрактор шнековий горизонтальний з проміжним віджимом	1	<p>Екстрактор має в середині корпусу один шнек та послідовно розміщені секції, що складаються з циліндричної та конічної перфорованої частини, через яку екстрагент просочуватиметься до біомаси, та буде направлений проти течії біомаси. У кожній із секцій буде змінюватись крок та діаметр шнека. Ефективність 500 кг/год. (Чорний, Мисюра, Попова, & Зав'ялов, 2019)</p>
3-8	Збірник екстракту	1	<p>Збірник виготовлений з нержавіючої сталі об'ємом 5 м³.</p>

1	2	3	4
ВВУ-10	Вакуум-випарний апарат	1	<p>Потужність – 3 кВт. Площа поверхні нагріву – 3,6 м². Частота обертів мішалки – 47 об/хв. Апарат ємністю, яка разом з привареним до неї паровим відділом утворює парову камеру. У нижній частині днища апарату знаходиться патрубок для відведення конденсату. Розвантаження апарата здійснюється через патрубок, що спускається з краном.</p>
ВСШ-11	Вакуум-сушильна шафа	1	<p>СВП-3000-1257-00068 – сушильна шафа, камера якої виготовлена із надміцної нержавіючої сталі стійкої до корозій, агресивних речовин та високих температур. Всередині шафи візок з жорстким каркасним стелажем, на якому розміщують дека. Шафа призначена для сушіння густих рідин об'ємом від 750 л до 3 м³, максимальна температура сушіння 200°C. Потужність 380 В. UOSlab, Україна. ([Електронний-ресурс]: http://surl.li/nuhopc)</p>

1	2	3	4
ДМ-12	Молоткова дробарка	1	<p>Vega Grinder Small 15 – молоткова дробарка обладнана внутрішньою сіткою. Матеріал корпусу та робочих органів – нержавіюча сталь. Дробарка оснащення рукавом для збору подрібненого порошку та рукавом для вловлення пилу порошку та повернення часточок до загальної маси продукту, виконаних із щільної тканини, яка надається виробником апарату.</p> <p>Продуктивність 15-20 кг/год.</p> <p>Потужність 1,8 кВт.</p> <p>STvega, Україна.</p>
ФМ-13	Фасувальна машина	1	<p>Фасувальний та пакувальний автомат SW-200 – промислова фасувальна, пакувальна машина, з високою точністю зважування, призначена для пакування сипучих</p> <p>Складається з лінійного вібраційного вагового електронного дозатора, вертикального механічного автоматичного пакувального апарату та термотрансферного принтера для нанесення маркування. Апарат формує 3-х шовні пакети, у формі «саше», і автоматично пакує в них</p>

1	2	3	4
			різноманітні продукти від 1 до 200 г з продуктивністю до 15 пакетів на хвилину. Потужність 0,5 кВт. PACKHOUSE, Китай. ([Електронний-ресурс]: http://surl.li/yrswdq)
ММ-14	Маркувальна машина	1	Апарат для додаткового нанесення маркування номер партії, строк виготовлення та придатності, що йде у комплекті із ФМ-13
ПМ-15	Пакувальна машина	1	RQ-ZH-120L – автоматизована вертикальна пакувальна машина для пакування у картонні коробки. Максимальна продуктивність 131 коробка/хв. Розміри коробок довжина – 70-185 мм; ширина – 34-90 мм; висота – 13-50 мм. Потужність 725 Вт. RICH PACKING, Китай. ([Електронний-ресурс]: http://surl.li/elcaiv)

РОЗДІЛ 6. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИДІЛЕННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОШКОПОДІБНОГО КСИЛІНДЕЇНУ

Технологічна схема виробництва порошкоподібного барвника на основі ксиліндеїну включає певні допоміжні роботи (зберігання культуральної рідини), технологічні процеси (відділення біомаси, руйнування гіфів грибів, екстракція ксиліндеїну, упарювання екстракту ксиліндеїну, подрібнення пластин пігменту), а також подальше фасування, маркування та пакування. Технологічну схему одержання суспензії ксиліндеїну наведено у графічній частині даного звіту.

ДР 1. Зберігання культуральної рідини

ДР 1.1. Зберігання культуральної рідини

По закінченню процесу ферментації культуральну рідину об'ємом 30,8 м³ подають у збірник об'ємом 35 м³, де відбувається зберігання за температури 4 °С та з періодичним перемішуванням 50 об/хв.

ТП 2. Відділення біомаси

ТП 2.1 Фільтрування культуральної рідини

Культуральна рідина (з ДР 1.1) з збірника (Р-1) за допомогою відцентрового насоса (Н-2) подається у друк-фільтр (Ф-3), в якому відбувається фільтрація під тиском у 0,15 мПа протягом 3 год. Одержана біомаса за допомогою відцентрового насоса (Н-4) подається у балістичний дезінтегратор (Д-5).

ТП 3. Руйнування гіфів грибів

ТП 3.1 Руйнування клітин балістичним методом дезінтеграції

Отриману біомасу (від ТП 2.1) масою 994,84 кг направляють у балістичний

НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
					РОЗДІЛ 6. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИДІЛЕННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОШКОПОДІБНОГО КСИЛІНДЕЇНУ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Побута О.О.					56	3
Керівник		Красінко В.О.				Кафедра БТМ		
Рецензент								
Н. Контр.								
Затверд.		Стабніков В.П.			56			

дезінтегратор (Д-5) де відбувається руйнування гіфів біологічного агента протягом 2 годин. Подрібнена маса подається у екстрактор (Е-7).

ТП 4. Екстракція ксиліндеїну

ТП 4.1 Екстракція у шнековому горизонтальному екстракторі закритого типу

Подрібнена біомаса (з ТП 3.1) надходить у шнековий горизонтальний екстрактор з проміжним віджиманням біомаси (Е-7), де відбувається екстрагування ксиліндеїну у розчинник (ДХМ). Розчинник та біомаса подаються протитечією. Екстрагування триває 4 години. Екстракт в об'ємі 4,3 м³ далі насосом (Н-6) подається у збірник для екстракту (З-8).

ТП 5. Упарювання екстракту

ТП 5.1 Упарювання екстракту до стану сухих пластин

Екстракт (з ТП 4.1) зі збірника (З-8) подають насосом (Н-9) у вакуум-випарний апарат (ВВУ-10), де за температури 45 °С екстракт висушують до відносної вологості 50%. По завершенню процесу платини барвнику подають до вакуум-сушильної шафи (ВСШ-11).

ТП 6. Сушіння та подрібнення пігменту

ТП 6.1 Сушіння концентрату

Концентрат ксиліндеїну (з ТП 5.1) з вакуум-випарного апарату (ВВУ-10) надходять у вакуум-сушильну шафу (ВСШ-11), де концентрат висушують до стану пластин та 5% вологості. Далі пластини надходять у молоткову дробарку (ДМ-12).

ТП 6.2 Подрібнення пластин пігменту до стану порошку

Пластини ксиліндеїну (з ТП 6.1) з вакуумної сушильної шафи (ВСШ-11) надходять у молоткову дробарку (ДМ-12), де подрібнюються до 100 мкм. По

закінченню подрібнення, порошок ксиліндеїну надходить у фасувальну машину (ФМ-13).

ПМВ 7. Фасування, маркування, зберігання

ПМВ 7.1 Фасування та маркування порошку

Фасування порошку здійснюють на фасувальній машині (ФМ-13) у пакети типу «саше» по 10 г. Порошок (з *ТП 6.1*) подається у накопичувальний бункер фасувальної машини звідки дозатором розфасовується по сашетам, які формуються у той же час. Маркування здійснюється одразу на рулонах паперової упаковки до формування пакету на маркувальній машині (ММ-14).

ПМВ 7.2 Зберігання

Пакувальна машина (ПМ-15) розфасовує саше по картонним коробкам у яких і відбувається зберігання. Коробки переміщують на склад та зберігають за температури 20-25 °С.

РОЗДІЛ 7. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ ГОТОВОГО ПРОДУКТУ З СУБСТАНЦІЇ

. Пігмент ксиліндеїн – це сполука, що має темне забарвлення від синьо-зеленого до синього та має нафтохінонову структури. Сполука синтезується дереворуйнівними грибами *Chlorociboria spp.* у відповідь на несприятливі умови навколишнього середовища для продуцента та накопичується у гіфах (Stange та ін., 2019a; Stange та ін., 2019b).

7.1 Обґрунтування форми випуску ксиліндеїну

Ксиліндеїн є сполукою, що має специфічні фізичні властивості та розчиняється у обмеженій кількості розчинників, а саме у ДХМ, МЕК, теплому хлороформі та у деяких комбінаціях розчинників для високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) (Zschätzsch, 2021; Boonloed, 2016). У ДХМ та МЕК ксиліндеїн можна зберігати і транспортувати, проте усі перераховані вище розчинники є токсичними для людини та навколишнього середовища (Almurshidi та ін., 2021).

Даний пігмент у чистому вигляді також може зберігатись тривалий час, як і у вигляді концентрату з розчинником. Порошок ксиліндеїну не вступатиме в реакцію з водою, так як пігмент не розчинний у воді (Zschätzsch, 2021; Boonloed, 2016). У такій формі транспортування та зберігання пігменту буде більш безпечним, зважаючи на те що ДХМ та МЕК є токсичними та леткими сполуками, що у результаті проливу під час транспортування можуть нести загрозу здоров'ю людини та навколишньому середовищу.

7.2 Обґрунтування вибору первинної упаковки для порошкоподібного барвника

В якості пакування для порошкоподібних барвників найчастіше використовуються пластмасові пляшки, поліетиленові та паперові пакетики

					НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Побута О.О.			РОЗДІЛ 7. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ ГОТОВОГО ПРОДУКТУ З СУБСТАНЦІЇ		
Керівник		Красінко В.О.					
Рецензент							
Н. Контр.							
Затверд.		Стабніков В.П.					
					Літ.	Арк.	Акруїів
						59	4
					Кафедра БТМ ₉		

різних об'ємів та типів. Для зручності у використанні деякі типи пакування мають застібки чи кришки, тоді як інші, не маючи таких складових пакування розраховані на одноразове використання всього барвника для одного пакування.

Розглянемо переваги та недоліки цих видів пакування.

Пластмасові пляшки

Пластмасові пляшки з різними типами закупорювання є надійним захисником продукту від впливу багатьох зовнішніх факторів. У пляшках барвник буде захищено в основному від вологи, а у непрозорих пляшках ще й від УФ-випромінювання. Також пляшки більш стійкі до механічних пошкоджень, що гарантуватиме цілісність пакування та належну масу продукту в пляшці. Це надійний метод зберігання продукції, проте ксиліндеїн це стійка сполука особливо до впливу УФ-випромінювання, а також через свою обмежену розчинність волога не впливатиме на саму сполуку.

Також пляшки із пластмас після використання потребуватимуть специфічних способів переробки, які як і саме виробництво цих пляшок будуть мати значний вплив на довкілля. Тож такий тип пакування буде недоцільним для даного типу барвника.



Рис. 7.1. – Приклад пакування пластмасова пляшка

Поліетиленові пакети та саше

Таке пакування є зручним оскільки одразу міститиме необхідну для одного застосування кількість пігменту, розраховану на 2 кг тканини.

Цей тип пакування, як і вищенаведений тип упаковки, може забезпечити продукту захист від вологи та УФ-випромінювання, хоча таке пакування менш стійке до механічних пошкоджень, що може створити додаткові втрати при виробництві.

Також пакування такого виду несе екологічну загрозу через тип використовуваного матеріалу.



Рис. 7.2. – Приклад пакування поліетиленові пакети та саше

Парафіновані або вкриті поліетиленом паперові пакети та саше

Парафіновані паперові пакети та саше також будуть зручними оскільки вміст пакету буде розраховано на одне фарбування, що позбавить споживача від додаткових маніпуляцій з порошком та попередить спилення та можливі втрати пігменту. Також такі пакети будуть захищати продукт від вологи за рахунок шару парафіну чи поліетилену. Такі пакети легше відкриваються та придатні до переробки.

У випадку із парафінованими саше та пакетами цей тип пакування буде більш екологічним як у виробництві паперу для формування саше так і в подальшій переробці такого пакування.

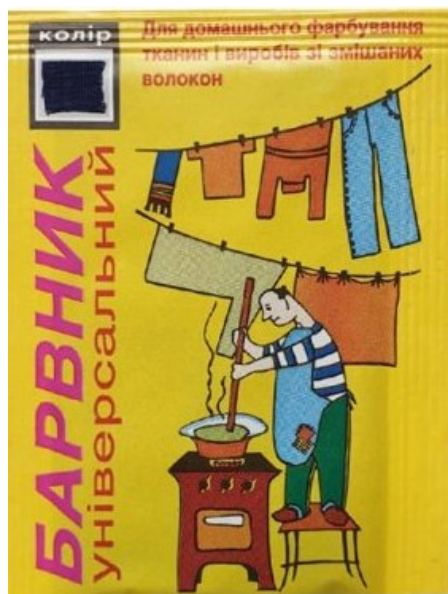


Рис. 7.3. – Приклад пакування парафінованого паперового саше

Тож, проаналізувавши доступні види пакування було обрано саме парафіновані паперові саше.

Щодо вторинного пакування, то найбільш зручними та екологічно вигідними будуть картонні коробки які міститимуть в собі фіксовану кількість саше з пігментом.

РОЗДІЛ 8. КОНТРОЛЬ ВИРОБНИЦТВА

8.1 Перевірка зовнішнього вигляду

Саше повинно бути без зовнішніх пошкоджень із правильним маркуванням з зазначеною датою виробництва та номером партії.

Порошок має темнозелено-синій колір, без домішків та сторонніх запахів, однорідний.

8.2 Перевірка ваги пігменту

Маса продукту у одній упаковці саше повинна відповідати 10 г ($\pm 0,3\%$).

Суть методу. Шляхом зважування на лабораторних вагах визначити правильність фасування порошку.

Засоби вимірювання, допоміжне обладнання і посуд. Лабораторні ваги, чашка Петрі, ножиці.

Порядок проведення аналізу.

Попередньо тарують чашку Петрі на вагах. Саше обережно відкривають ножицями, щоб не допустити спилення та обережно й повільно висипають порошок на чашку й зважують. Зрівнюють вагу вмісту саше на відповідність ваги продукту до стандарту.

8.3 Перевірка спектру поглинання сполуки

Для ксиліндеїну характерні специфічні спектри поглинання 600 та 700 нм, тож розчин сполуки у ДХМ можна перевірити за допомогою спектрофотометричних вимірювань. Це вимірювання буде доцільно, так як допоможе визначити чистоту та автентичність сполуки, а за площею піків ксиліндеїн обраховують кількісно.

Суть методу. Шляхом визначення специфічних піків поглинання шляхом спектрофотометричного аналізу вказує на те що сполука у екстракті є ксиліндеїном.

					НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Побута О.О.			РОЗДІЛ 8. КОНТРОЛЬ ВИРОБНИЦТВА	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник		Красінко В.О.					63	3
Рецензент						Кафедра БТМ ₆₃		
Н. Контр.								
Затверд.		Стабніков В.П.						

Засоби вимірювання, допоміжне обладнання і посуд. Спеткрофотометр СФ-46, кювети об'ємом 4,5 мл, піпетка калібрована місткістю 5 см³ з довжиною оптичного шляху 1 мм.

Підготовка спектрофотометра виконується згідно із методом описаним Шпилик (2017) (Шпилик, & Кушнірук, 2017).

Порядок проведення аналізу.

Для вимірювання піків поглинання необхідно відібрати пробу об'ємом 4,5 м³ із збірника екстракту, наповнити кювету та провести вимірювання. Необхідно проводити вимірювати у діапазоні 300–800 нм при кімнатній температурі (20...25 °С). Характерні піки ксиліндеїну (600-700 нм) вказують на автентичність сполуки.

8.4 Визначення вмісту сухих речовин

Вміст сухих речовин у порошку повен становити не менше 95%.

Суть методу. Визначення вмісту сухих речовин для визначення якості порошку.

Засоби вимірювання, допоміжне обладнання і посуд. Аналітичні терези, піпетки калібровані місткістю 1 см³, скляна пробірка об'ємом 10 мл з гумовою пробкою, металева бюкса з кришкою, скляна паличка, пінцет.

Порядок проведення аналізу.

Для проведення вимірювання необхідно відібрати зразки (2-3 пакети з партії) та пересипати їх вміст у пробірку, щільно закриваючи її гумовою пробкою між відборами зразків. Вручну ретельно перемішати зразки у колбі.

Перед початком аналізу необхідно підготувати металеву бюксу, для цього бюксу із відкритою кришкою необхідно просушити у сушильній шафі при температурі 60 °С 20-30 хв. Після висушування необхідно швидко закрити бюксу кришкою та помістити в ексікатор для повного охолодження протягом 20-30 хв, після чого, не відкриваючи бюксу, зважують її.

У бюксу швидко вносять зразок з колби та розрівнюють скляною лопаткою, після чого бюксу закривають кришкою та зважують.

Далі бюксу переносять у сушильну шафу та сушать з відкритою кришкою при температурі 60 °С 10-15 хв. Після висушування бюксу закривають кришкою та переміщують у ексікатор до повного охолодження на 20-30 хв. Охолоджену бюксу зважують.

Далі проводять розрахунки масової частки вологи W (%) за формулою 8.1.

$$W = \frac{(M - M_1) * 100}{M - M_0}, \quad (8.1)$$

де M – вага зразка у бюксі до висушування, г;

M_1 – вага висушеного зразка, г;

M_0 – вага підготовленої бюкси, г;

Для визначення масової частки сухих речовин C (%) необхідно провести наступний розрахунок:

$$C = 100 - W .$$

РОЗДІЛ 9. ПРОЄКТ ПАТЕНТНОЇ ЗАЯВКИ ОДЕРЖАННЯ КСИЛІНДЕЇНУ ЯК БАРВНИКА ДЛЯ ТКАНИНИ

9.1 Галузь і застосування корисної моделі

Даний винахід належить до галузі промислової біотехнології, а саме до текстильної промисловості та створення барвників для текстилю. Корисна модель запропонована у даному розділі стосується способу одержання чистого пігменту ксиліндеїну синтезованого *Chlorociboria aeruginascens* для використання у якості барвника для текстилю, як більш екологічної альтернативи хімічно синтезованим барвникам.

Барвник на основі ксиліндеїну призначений для фарбування тканин усіх типів, оскільки, як наведено у дослідженні Hinsch та співавт. (2015), ксиліндеїн дає досить яскраве забарвлення. Також, за необхідності пігмент можна буде застосовувати для захисту деревини від посивіння.

Корисна модель може бути впроваджена на підприємство в рамках екологізації виробництва для підтримки стратегії сталого розвитку та відмови від хімічно синтезованих барвників для тканин. Завдяки запропонованій технології одержання, найбільш токсичний компонент для одержання ксиліндеїну, а саме ДХМ – піддається рециркуляції.

9.2 Відомі аналоги та їх основні недоліки

Серед барвників текстильної промисловості найбільш поширеними є хімічно синтезовані барвники, а саме азобравники, антрахінони, триарилметани. Хоча вони дуже широко застосовуються у фарбуванні тканин, пряжі та одягу - Більшість синтетичних барвників значний негативний вплив на здоров'я людини та спричиняють екологічні ризики (Kasiri, 2014; Пахолук, 2023). Найбільше барвники використовувані у текстильній промисловості впливають на навколишнє середовище (Khattab, 2020; Varjani, 2020; Ardila-Leal, 2021). Стічні

					НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 9. ПРОЄКТ ПАТЕНТНОЇ ЗАЯВКИ ОДЕРЖАННЯ КСИЛІНДЕЇНУ ЯК БАРВНИКА ДЛЯ ТКАНИНИ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Побута О.О.					66	6
Керівник		Красінько В.О.				Кафедра БТМ ₆₆		
Рецензент								
Н. Контр.								
Затверд.		Стабніков В.П.						

води текстильної промисловості, іноді містять барвники, що можна ідентифікувати навіть неозброєним оком через їх характерне забарвлення (Mojsov, Andronikov, Janevski, Kuzelov, & Gaber, 2016). Такі стоки часто потрапляють в поверхневі або підземні водойми, тим самим спричиняючи зниження у воді концентрації розчиненого кисню, підвищення значень ХСК та БСК (Zhou, Xu, Cheng, Xu, & Jia, 2017), а у ґрунті змінюють концентрації загального азоту, речовин що не біодеградують або майже не піддаються біодеградації та загального фосфору. Також, стічні води цієї промисловості мають дуже мінливе значення рН та можуть містити у своєму складі важкі метали, такі як хром, мідь і цинк (Berradi та ін., 2019).

9.3 Постановка задачі корисної моделі та шлях її вирішення

Задача даної корисної моделі полягає у складанні оптимальної технології одержання барвника для текстилю на основі пігменту грибного походження ксиліндеїну. Однією з вимог до даного барвника є безпосередня стійкість кольору, яка зумовлена стійкістю сполуки ксиліндеїну до певних факторів навколишнього середовища та факторів впливу використання пофарбованих предметів текстилю, а також створення барвника що матиме здатність до простої біодеградації. Основною задачею корисної моделі є зменшення впливу виробництва та використання барвника на стан навколишнього середовища та здоров'я людини.

Поставлена задача вирішується шляхом використання в якості барвника пігмент грибного походження ксиліндеїн, що здатен до біодеградації, не є токсичним для людини та є стійким. Також зменшення впливу виробництва барвника на стан навколишнього середовища вирішується шляхом використання ізольованих апаратів на стадіях екстракції та висушування пігменту. Такі апарати використовують для вловлення випарованого розчинника для його подальшої регенерації та повторного використання.

9.4 Опис запропонованого способу

Проведений аналіз наукової літератури дозволив визначити, що найоптимальнішими умовами для отримання найбільшої кількості пігменту є рідинне культивування *C. aeruginascens* на поживному середовищі з 5% вмістом апельсинового соку за наступних умов: температура 20...22°C, швидкість мішалки 160 об/хв, рН 4, аеробні умови культивування та помірна інтенсивність освітлення. Краще проводити періодичне культивування з тривалістю одного циклу 14 днів.

По завершенню циклу культивування, біомаса *Chlorociboria aeruginascens* повинна пройти наступні стадії післяферментаційного виділення та очищення: відокремлення біомаси, руйнування гіфів грибів, екстракція ксиліндеїну, упарювання екстракту ксиліндеїну, подрібнення пластин пігменту, а також подальше фасування, маркування та пакування.

Відокремлення біомаси відбувається шляхом фільтрації, що є найбільш доцільною враховуючи морфологічні особливості біологічного агента. Цей процес дозволяє в подальшому більш ефективно подрібнити та екстрагувати ксиліндеїн.

Далі відокремлену біомасу подрібнюють у дезінтеграторі також для кращої подальшої екстракції у шнековому горизонтальному екстракторі. Екстрактор закритого типу дозволяє вловлювати випаруваний під час екстракції ДХМ. Після екстракції отриманий екстракт сушать у вакуум-випарному апараті також закритого типу, що дозволяє вловлювати і регенерувати більшу частину ДХМ.

У процесі висушування екстракту отримують пластини пігменту, які в такому вигляді складніше фасувати, зберігати та використовувати в подальшому, тож далі необхідним етапом є подрібнення пігменту до стану порошку.

Завершальними етапами виробництва барвника є фасування у заздалегідь промарковані пакети саше, а також пакування у картонні коробки для зручності.

Параметри якості готового барвника представлено у таблиці 9.1.

Таблиця 9.1. – Параметри якості барвника на основі ксиліндеїну

№ п/п	Назва показника	Норма та спосіб визначення	Метод контролю
1	2	3	4
1	Зовнішній вигляд	Порошок має темний зелено-синій колір, без сторонніх домішок та запахів, однорідний. Визначення проводять органолептично.	Описано у п. 8.1. даної роботи
2	Вага	Маса продукту у одному пакеті саше повинна відповідати 10 г з максимальною похибкою у $\pm 0,3\%$. Визначення проводять шляхом зважування.	Описано у п. 8.2. даної роботи
3	Ідентифікація сполуки	Для ксиліндеїну характерні специфічні спектри поглинання 600 та 700 нм, тож спектр поглинання барвника повинен відповідати пікам 600 та 700 нм. Визначення проводять шляхом спектрофотометричного аналізу.	Описано у п. 8.3. даної роботи
4	Відносна вологість	Вміст сухих речовин у порошку повинен становити не менше 95%. Визначення проводять шляхом висушування та зважування до та після висушування.	Описано у п. 8.4. даної роботи

9.5 Формула корисної моделі

Барвник на основі ксиліндеїну не поступається хімічно синтезованим барвникам у стійкості кольору на тканині, яка зумовлена стійкістю сполуки ксиліндеїну до певних факторів навколишнього середовища та факторів впливу використання пофарбованих предметів текстилю. Також основна ціль створення даного барвника це його здатність до швидкої та простої біодеградації.

Відокремлену та подрібнену у дезінтеграторі біомасу екстрагують у шнековому горизонтальному екстракторі. Даний екстрактор закритого типу дозволяє вловлювати випаруваний під час екстракції ДХМ, що дозволяє вже на цьому етапі почати його регенерацію. Після одержаний екстракту парують, для його концентрування та полегшення сушіння, упарують у вакуум-випарному апараті, який також може бути закритого типу, що дозволяє вловлювати основну частину ДХМ, регенерувати його та повернути у виробництво. Концентрат висушують у вакуумній сушильній шафі, що також дозволяє вловлювати та регенерувати ДХМ. Окрім вигідності регенерування ДХМ у економічному плані, таке виробництво, за умови справності обладнання, матиме значно менший вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище.

Виробництво завершується подрібненням пластин ксиліндеїну, що утворились в результаті сушіння. Утворений порошок фасують у саше.

9.6 Реферат

Винахід належить до галузі промислової біотехнології, а саме до текстильної промисловості та створення барвників для текстилю. Запропонована корисна модель стосується способу одержання більш екологічної альтернативи хімічно синтезованим барвникам для текстилю на основі чистого пігменту ксиліндеїну синтезованого *Chlorociboria aeruginascens*.

У винаході передбачено технологію, яка націлена на одержання чистого пігменту ксиліндеїну для подальшого використання в якості барвника для

текстилю, із використанням екстрактора та вакуум-випарного апарату закритого типу для вловлення парів ДХМ для подальшої регенерації.

Дослідження літератури вказують на те, що ДХМ є найбільш ефективним розчинником та екстрагентом для ксиліндеїну, проте він є токсичним, тож технологія, яка дозволяє майже повну його регенерацію, забезпечує найбільш екологічно нейтральне виробництво з мінімальними впливами на здоров'я людини.

ВИСНОВКИ

1. Використання ксиліндеїну в якості барвника для текстилю матиме менший вплив на здоров'я людини та стан навколишнього середовища порівняно із аналогічними хімічно синтезованими барвниками, через зменшення необхідності у витраті води та теплоенергії на фарбування. Барвник на основі ксиліндеїну не поступається у стійкості хімічно синтезованим барвникам аналогічного кольору.
2. Ксиліндеїн не є токсичним для людини та, через обмежену біологічну активність, з меншою вірогідністю викликатиме алергічні реакції.
3. Культивування *Chlorociboria aeruginascens*, що синтезує ксиліндеїн не вимагає значних затрат на культуральні середовища та специфічних умов культивування, що робить цей процес простим та не дороговартістним.
4. Технологія одержання порошку ксиліндеїну з біологічного агента вимагає герметичного обладнання на стадіях екстракції та сушіння для екологізації процесу та можливості регенерації ДХМ, як розчинника для пігменту. Використання наведеної у роботі технології одержання, окрім екологізації, також зменшує витрати на розчинник.

НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
					ВИСНОВКИ		
Розробив		Побута О.О.			Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник		Красінько В.О.				72	1
Рецензент					Кафедра БТМ 72		
Н. Контр.							
Затверд.		Стабніков В.П.					

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Автоматична пакувальна машина для картону. [Електронний-ресурс]:
<http://surl.li/elcaiv>

Бідяк, О. (2018). Шкідливий вплив хімічних речовин на стан здоров'я працюючих у текстильній промисловості. *Управління Держпраці у Тернопільській області*.

Пахолок, О., & Мартиросян, І. (2023). Екологічна безпека фарбування та обробки текстильних виробів. In *Актуальні проблеми хімії, матеріалознавства та екології*. Терен.

Плюта, К. В., & Снігур, Д. В. (2022). Вольтамперометричне визначення спеціального червоного АС з однієї краплі на вугільно-пастовуому електроді, модифікованому β -циклодекстрином.

Подрібнювач біомаси REDUNIT. [Електронний-ресурс]: <http://surl.li/wumadz>

Промислові вакуумні сушильні шафи СВП-3000-1257-00068 [Електронний-ресурс]: <http://surl.li/nuhopc>

Стотика, В. А. (2023). Розробка методик ідентифікації барвника еритрозину з використанням фізико-хімічних методів.

Фасувальний автомат сипучих продуктів SW100+FM100 Sachet electric, ваговий. [Електронний-ресурс]: <http://surl.li/yrswdq>

Хандюк, Т. В., & Литвиненко, Ю. І. (2018). Копрофільні аскоміцети–продуценти біологічно активних речовин. I. СУЧАСНІ АСПЕКТИ БІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ, 64.

					НУХТ БТЕК 02.01.16 КР ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Побута О.О.				Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Красінько В.О.					73	8
Рецензент					Кафедра БТМ 73		
Н. Контр.							
Затверд.	Стабніков В.П.						
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ							

- Чорний, В. М., Мисюра, Т. Г., Попова, Н. В., & Зав'ялов, В. Л. (2019). Вібраційні екстрактори періодичної дії та перспективи їх промислового використання (Doctoral dissertation). <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/29141>
- Шпилик, О. Б., & Кушнірук, Н. В. (2017). Методичні вказівки до лабораторної роботи № 3 з курсу „Інструментальні методи аналізу” Спектральні методи дослідження. Спектрофотометрія.
- Шульга, В.М., (2007). Хлороциборія синьо-зелена (*Chlorociboria aeruginosa*). Світ грибів України [Електронний ресурс] URL: <http://gribi.net.ua/chlorociboria-aeruginosa-chlorosplenium-aeruginosum>
- Almurshidi, B. H., Van Court, R. C., Vega Gutierrez, S. M., Harper, S., Harper, B., & Robinson, S. C. (2021). Preliminary examination of the toxicity of spalting fungal pigments: a comparison between extraction methods. *Journal of Fungi*, 7(2), 155. <https://doi.org/10.3390/jof7020155>
- Ardila-Leal, L. D., Poutou-Piñales, R. A., Pedroza-Rodríguez, A. M., & Quevedo-Hidalgo, B. E. (2021). A brief history of colour, the environmental impact of synthetic dyes and removal by using laccases. *Molecules*, 26(13), 3813. <https://doi.org/10.3390/molecules26133813>
- Belpaire, C., Reys, T., Geeraerts, C., & Van Loco, J. (2015). Toxic textile dyes accumulate in wild European eel *Anguilla anguilla*. *Chemosphere*, 138, 784-791. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.08.007>
- Berradi, M., Hsissou, R., Khudhair, M., Assouag, M., Cherkaoui, O., El Bachiri, A., & El Harfi, A. (2019). Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. *Heliyon*, 5(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02711>
- Bezirhan Arikan, E., Canli, O., Caro, Y., Dufossé, L., & Dizge, N. (2020). Production of bio-based pigments from food processing industry by-products (apple, pomegranate, black carrot, red beet pulps) using *Aspergillus carbonarius*. *Journal of Fungi*, 6(4), 240.

- Boonloed, A., Weber, G. L., Ramzy, K. M., Dias, V. R., & Remcho, V. T. (2016). Centrifugal partition chromatography: A preparative tool for isolation and purification of xylindein from *Chlorociboria aeruginosa*. *Journal of Chromatography A*, 1478, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.11.026>
- Chaudhari, A. U., Paul, D., Dhotre, D., & Kodam, K. M. (2017). Effective biotransformation and detoxification of anthraquinone dye reactive blue 4 by using aerobic bacterial granules. *Water Research*, 122, 603-613. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.005>
- Chen, C., Tao, H., Chen, W., Yang, B., Zhou, X., Luo, X., & Liu, Y. (2020). Recent advances in the chemistry and biology of azaphilones. *RSC advances*, 10(17), 10197-10220.
- Court, R. V., Giesbers, G., Ostroverkhova, O., & Robinson, S. C. (2020). Optimizing xylindein from *Chlorociboria* spp. for (Opto) electronic applications. *Processes*, 8(11), 1477. <https://doi.org/10.3390/pr8111477>
- Deniz, F., & Dogan, F. (2023). Effective cleaning of a hazardous synthetic triarylmethane-type dye from aquatic environment with a multifunctional waste biomass-based biosorbent. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(12), 10885-10892.
- Diaz-Munoz, G., Miranda, I. L., Sartori, S. K., De Rezende, D. C., & Diaz, M. A. (2018). Anthraquinones: an overview. *Studies in natural products chemistry*, 58, 313-338. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64056-7.00011-8>
- Diplock, N. D., Galea, V. J., Dorji, Norbu, Watanabe, K., & Terashima, Y. (2023). *Scytalidium cuboideum* Inhibits Shiitake Mycelial Growth and Causes Pink Staining in Shiitake Billets (*Quercus griffithii*) in Bhutan. *International Journal of Plant Biology*, 14(4), 949-958. <https://doi.org/10.3390/ijpb14040069>
- Dulo, B., Phan, K., Githaiga, J., Raes, K., & De Meester, S. (2021). Natural quinone dyes: A review on structure, extraction techniques, analysis and application potential. *Waste and Biomass Valorization*, 12(12), 6339-6374.

- Dumur, F. (2023). Recent advances on naphthoquinone-based photoinitiators of polymerization. *European Polymer Journal*, 112120. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112120>
- Duval, J., Pecher, V., Poujol, M., & Lesellier, E. (2016). Research advances for the extraction, analysis and uses of anthraquinones: A review. *Industrial Crops and Products*, 94, 812-833. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.056>
- D'Hondt, E., Martin-Juarez, J., Bolado, S., Kasperovicene, J., Koreiviene, J., Sulcius, S., ... & Bastiaens, L. (2017). Технології руйнування клітин. В Біопаливо та біопродукти на основі мікроводоростей (стор. 133-154). Видавництво Woodhead. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101023-5.00006-6>
- Gehrig, J., Pandey, G., & Westhoff, J. H. (2018). Zebrafish as a model for drug screening in genetic kidney diseases. *Frontiers in Pediatrics*, 6, 183. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00183>
- Giesbers, G., Krueger, T., Van Schenck, J., Van Court, R., Morré, J., Fang, C., ... & Ostroverkhova, O. (2019). Fungi-derived xylindein: effect of purity on optical and electronic properties. *MRS Advances*, 4, 1769-1777. <https://doi.org/10.1557/adv.2019.269>
- Giesbers, G., Van Schenck, J., Gutierrez, S. V., Robinson, S., & Ostroverkhova, O. (2018). Fungi-derived pigments for sustainable organic (opto) electronics. *MRS Advances*, 3(59), 3459-3464. <https://doi:10.1557/adv.2018.446>
- Giesbers, G., Van Schenck, J., Quinn, A., Van Court, R., Vega Gutierrez, S. M., Robinson, S. C., & Ostroverkhova, O. (2019). Xylindein: naturally produced fungal compound for sustainable (opto) electronics. *ACS omega*, 4(8), 13309-13318. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b01490>
- Gutierrez, S. M. V., Hazell, K. K., Simonsen, J., & Robinson, S. C. (2018a). Description of a naphthoquinonic crystal produced by the fungus *Scytalidium cuboideum*. *Molecules*, 23(8), 1905.

- Gutierrez, S. M. V., He, Y., Cao, Y., Stone, D., Walsh, Z., Malhotra, R., ... & Robinson, S. C. (2019). Feasibility and surface evaluation of the pigment from *Scytalidium cuboideum* for inkjet printing on textiles. *Coatings*, 9(4), 266.
- Gutierrez, S. M. V., Stone, D. W., He, R., Vega Gutierrez, P. T., Walsh, Z. M., & Robinson, S. C. (2021). Potential use of the pigments from *Scytalidium cuboideum* and *Chlorociboria aeruginosa* to prevent 'greying' decking and other outdoor wood products. *Coatings*, 11(5), 511. <https://doi.org/10.3390/coatings11050511>
- Gutierrez, S. M. V., Van Court, R. C., Stone, D. W., Konkler, M. J., Groth, E. N., & Robinson, S. C. (2018b). Relationship between molarity and color in the crystal ('dramada') produced by *Scytalidium cuboideum*, in two solvents. *Molecules*, 23(10), 2581. <https://doi.org/10.3390/molecules23102581>
- Hernández, V. A., Galleguillos, F., Thibaut, R., & Müller, A. (2019). Fungal dyes for textile applications: testing of industrial conditions for wool fabrics dyeing. *The journal of the Textile Institute*, 110(1), 61-66. <https://doi.org/10.1080/00405000.2018.1460037>
- Hernández, V. A., Galleguillos, F. A., Sagredo, N., & Machuca, Á. (2018). A note on the dyeing of wool fabrics using natural dyes extracted from rotten wood-inhabiting fungi. *Coatings*, 8(2), 77. <https://doi.org/10.3390/coatings8020077>
- Hinsch, E. M., Weber, G., Chen, H. L., & Robinson, S. C. (2015). Colorfastness of extracted wood-staining fungal pigments on fabrics: A new potential for textile dyes. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 9(3).
- Hyde, K. D., Xu, J., Rapior, S., Jeewon, R., Lumyong, S., Niego, A. G. T., ... & Stadler, M. (2019). The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially. *Fungal Diversity*, 97, 1-136.
- Kalra, R., Conlan, X. A., & Goel, M. (2020). Fungi as a potential source of pigments: harnessing filamentous fungi. *Frontiers in Chemistry*, 8, 369. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00369>

- Kasiri, M. B., & Safapour, S. (2014). Natural dyes and antimicrobials for green treatment of textiles. *Environmental chemistry letters*, 12(1), 1-13.
- Khattab, T. A., Abdelrahman, M. S., & Rehan, M. (2020). Textile dyeing industry: environmental impacts and remediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(4), 3803-3818.
- López, V., & Les, F. (2023). Fungal Quinones: Benzo-, Naphtho-, and Anthraquinones. In *Natural Secondary Metabolites: From Nature, Through Science, to Industry* (pp. 607-626). Cham: Springer International Publishing.
- MacRae, C. A., & Peterson, R. T. (2015). Zebrafish as tools for drug discovery. *Nature reviews Drug discovery*, 14(10), 721-731. <https://doi.org/10.1038/nrd4627>
- Nemer, G., Louka, N., Vorobiev, E., Salameh, D., Nicaud, J. M., Maroun, R. G., & Koubaa, M. (2021). Mechanical cell disruption technologies for the extraction of dyes and pigments from microorganisms: A review. *Fermentation*, 7(1), 36. <https://doi.org/10.3390/fermentation7010036>
- Palomino Agurto, M. E., Gutierrez, S. M. V., Van Court, R. C., Chen, H. L., & Robinson, S. C. (2020). Oil-based fungal pigment from *Scytalidium cuboideum* as a textile dye. *Journal of Fungi*, 6(2), 53. <https://doi.org/10.3390/jof6020053>
- Pavesi, C., Flon, V., Mann, S., Leleu, S., Prado, S., & Franck, X. (2021). Biosynthesis of azaphilones: a review. *Natural Product Reports*, 38(6), 1058-1071.
- Pimenta, L. P., Gomes, D. C., Cardoso, P. G., & Takahashi, J. A. (2021). Recent findings in azaphilone pigments. *Journal of Fungi*, 7(7), 541.
- Pittis, L., Rodrigues de Oliveira, D., Vega Gutierrez, S. M., & Robinson, S. C. (2018). Alternative carrier solvents for pigments extracted from spalting fungi. *Materials*, 11(6), 897. <https://doi.org/10.3390/ma11060897>
- Robinson, S. C., Hinsch, E., Weber, G., & Freitas, S. (2014). Method of extraction and resolubilisation of pigments from *C horociboria aeruginosa* and *S cytalidium cuboideum*, two prolific spalting fungi. *Coloration Technology*, 130(3), 221-225. <https://doi.org/10.1111/cote.12080>

- Robinson, S. C., Hinsch, E., Weber, G., Leipus, K., & Cerney, D. (2014). Wood colorization through pressure treating: The potential of extracted colorants from spalting fungi as a replacement for woodworkers' aniline dyes. *Materials*, 7(8), 5427-5437. <https://doi.org/10.3390/ma7085427>
- Robinson, S. C., Vega Gutierrez, S. M., Garcia, R. A. C., Iroume, N., Vorland, N. R., Andersen, C., ... & Huber, M. E. (2018). Potential for fungal dyes as colorants in oil and acrylic paints. *Journal of Coatings Technology and Research*, 15, 845-849. <https://doi.org/10.1007/s11998-017-0032-5>
- Shukla, V., Asthana, S., Gupta, P., Dwivedi, P. D., Tripathi, A., & Das, M. (2017). Toxicity of naturally occurring anthraquinones. In *Advances in molecular toxicology* (Vol. 11, pp. 1-50). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812522-9.00001-4>
- Stange, S., Steudler, S., Delenk, H., Werner, A., Walther, T., & Wagenführ, A. (2019a). Influence of environmental growth factors on the biomass and pigment production of *Chlorociboria aeruginascens*. *Journal of Fungi*, 5(2), 46. <https://doi.org/10.3390/jof5020046>
- Stange, S., Steudler, S., Delenk, H., Werner, A., Walther, T., & Wagenführ, A. (2019b). Influence of the nutrients on the biomass and pigment production of *Chlorociboria aeruginascens*. *Journal of Fungi*, 5(2), 40. <https://doi.org/10.3390/jof5020040>
- Stone, D. W., Gutierrez, S. M. V., Walsh, Z. M., & Robinson, S. C. (2022). Preliminary Exploration of the Red Pigment from *Scytalidium cuboideum* as a Cellulosic Pulp Colorant. *Challenges*, 13(1), 15. <https://doi.org/10.3390/challe13010015>
- Téllez-Téllez, M., & Díaz-Godínez, G. (2022). Mushroom pigments and their applications. *Biomolecules from natural sources: Advances and applications*, 82-100. <https://doi.org/10.1002/9781119769620.ch3>

- Varjani, S., Rakholiya, P., Ng, H. Y., You, S., & Teixeira, J. A. (2020). Microbial degradation of dyes: an overview. *Bioresource Technology*, 314, 123728. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123728>
- Venil, C. K., Velmurugan, P., Dufossé, L., Renuka Devi, P., & Veera Ravi, A. (2020). Fungal pigments: Potential coloring compounds for wide ranging applications in textile dyeing. *Journal of fungi*, 6(2), 68. <https://doi.org/10.3390/jof6020068>
- Weber, G., Chen, H. L., Hinsch, E., Freitas, S., & Robinson, S. (2014). Pigments extracted from the wood-staining fungi *Chlorociboria aeruginosa*, *Scytalidium cuboideum*, and *S. ganodermorphthorum* show potential for use as textile dyes. *Coloration Technology*, 130(6), 445-452. <https://doi.org/10.1111/cote.12110>
- Zhou, L., Xu, K., Cheng, X., Xu, Y., & Jia, Q. (2017). Study on optimizing production scheduling for water-saving in textile dyeing industry. *Journal of cleaner production*, 141, 721-727. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.047>
- Zschätzsch, M., Steudler, S., Reinhardt, O., Bergmann, P., Ersoy, F., Stange, S., ... & Werner, A. (2021). Production of natural colorants by liquid fermentation with *Chlorociboria aeruginascens* and *Laetiporus sulphureus* and prospective applications. *Engineering in life sciences*, 21(3-4), 270-282. <https://doi.org/10.1002/elsc.202000079>
- Zuberi, Z., Eeza, M. N., Matysik, J., Berry, J. P., & Alia, A. (2019). NMR-based metabolic profiles of intact zebrafish embryos exposed to aflatoxin B1 recapitulates hepatotoxicity and supports possible neurotoxicity. *Toxins*, 11(5), 258. <https://doi.org/10.3390/toxins11050258>

Побута О., Красінько В. Пігменти грибного походження для фарбування тканин //Матеріали 90 Ювілейної Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, НУХТ, 11-12 квітня 2024 р.). – Ч. 1. – С. 413.

90 International scientific conference of young scientist and students
"Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution",
April, 11–12, 2024. Book of abstract. Part 1. NUFT, Kyiv.

45. Пігменти грибного походження для фарбування тканин

Олександра Побута, Вікторія Красінько

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Нині світ активно рухається до екологізації усіх сфер життя, ця тенденція не обійшла й фарбування тканин. Стійкий синьо-зелений колір тканин можна отримати використавши ксиліндеїн – пігмент, що синтезують *Chlorociboria sp.* [1, 2].

Матеріали і методи. Проведено пошук і аналіз наукових праць, щодо стійкості та токсичності ксиліндеїну синтезованого *Chlorociboria sp.*, пігменту виділеного за допомогою екстракції дихлорметаном (ДХМ).

Результати. Одним із стійких пігментів грибного походження є ксиліндеїн – розширений хінон, який синтезують непатогенні дереворуйнівні гриби *Chlorociboria aeruginosa* та *C. aeruginascensma* як вторинний метаболіт, що здебільшого накопичується у гіфах та плодових тілах грибів. [1]

Багато наукових праць закордонних вчених визначають стійкість, простоту одержання та перспективність використання ксиліндеїну. Так дослідження Zschätzsch (2021) показало, що ксиліндеїн стійкий пігмент, який може мати багато напрямків використання (фарбування текстилю, шпону деревини, використання для виробництва опто-волокна). [1] Як барвник для тканини ксиліндеїн показав неймовірну стійкість при тривалому опроміненні сонячним світлом, а також при пранні, навіть з додаванням відбілювача. Проте деякі тканини, такі як вовна і поліестер, показали трохи меншу стійкість при пранні, але значних змін кольору не відбулось. Автори пояснюють хорошу проникність та стійкість ксиліндеїну на тканинах тим, що ДХМ у якості розчинника для даного пігменту забезпечує розбухання волокон, а після його випаровування тканина повертає свою структуру та затримує пігмент.

Для використання як тканинного барвника, не менш важливим аспектом подальшого широкого застосування ксиліндеїну є визначення ступеня його токсичності для людини. Попереднє дослідження токсичності ксиліндеїну було проведено у роботі Almurshidi (2021). Автори провели експеримент з використанням ембріонів рибок Данію, додаючи до акваріумної води цих риб очищений та неочищений від розчинника (ДХМ) ксиліндеїн. У результаті було встановлено, що значну смертність рибок Данію викликав саме неочищений ксиліндеїн із високим вмістом ДХМ, проте очищений затверділий більш чистий пігмент мав дуже обмежену біологічну активність. [2]

Висновки. Тож, використання ксиліндеїну, синтезованого *Chlorociboria sp.* та виділеного за допомогою екстракції дихлорметаном, як тканинного пігменту, є перспективним та безпечним екологічно та для людини напрямком у біотехнології.

Література

- Zschätzsch, M., Steudler, S., Reinhardt, O., Bergmann, P., Ersoy, F., Stange, S., ... & Werner, A. (2021), Production of natural colorants by liquid fermentation with *Chlorociboria aeruginascens* and *Laetiporus sulphureus* and prospective applications. *Engineering in life sciences*, 21(3-4), pp. 270-282.
- Almurshidi, B. H., Van Court, R. C., Vega Gutierrez, S. M., Harper, S., Harper, B., & Robinson, S. C. (2021), Preliminary examination of the toxicity of spalling fungal pigments: A comparison between extraction methods. *Journal of Fungi*, 7(2), p. 155.