DOI: 10.53230/tgm.1310-912X.2024.0006.01

МЕТОДИ ЗА ЕКСТРАКЦИЯ НА ЕСТЕСТВЕНИ БАГРИЛА: ТРАДИЦИОННИ И СЪВРЕМЕННИ ПОДХОДИ

Незабравка Попова-Недялкова
Нов български университет, департамент „Изкуства и дизайн“, програма „Мода“, 21 ул. „Монтевидео“, 1618, София, България
nezi_ned@abv.bg

METHODS FOR EXTRACTING NATURAL DYES: TRADITIONAL AND MODERN APPROACHES

Nezabravka Popova-Nedyalkova
New Bulgarian University, Department of Arts and Design, Fashion program, 21 Monteveo Str., 1618 Sofia, Bulgaria
nezi_ned@abv.bg

ABSTRACT:

This text aims to examine and compare various methods for extracting natural dyes, both traditional and modern. Natural dyes are becoming increasingly popular due to their eco-friendliness and safety, and the methods for extracting them vary in complexity and efficiency. Water extraction, for example, is one of the oldest and simplest methods, suitable for small-scale and individual projects. Fermentation is another traditional process, used for centuries to extract dyes, often resulting in richer colors.

Modern approaches include acid and alkaline extraction, which allow precise control over the chemical composition of the dyes, as well as solvent extraction, which is more effective for hard-to-reach sources. Technologies like enzymatic extraction, ultrasound, and microwave extraction offer faster and more energy-efficient processes. Supercritical fluid extraction, using carbon dioxide, is one of the most innovative techniques, enabling the extraction of dyes in an environmentally friendly way without the use of toxic chemicals.

In addition to the theoretical review, the author conducts an independent study on extracting dyes from Rubia tinctorum roots. The goal is to compare the results of different extraction methods performed in uncontrolled laboratory conditions and to analyze the effects of using hard and soft water in the process. This practical study enhances the understanding of how various conditions impact dye yield and quality, providing valuable insights for applying these methods outside of controlled laboratory settings.

Keywords: *natural dyes, extraction, methods, ecology, sustainability*

1. Въведение

Употребата на багрила и пигменти започва още с появата на човешката цивилизация, когато древни култури като индийската, египетската, римската и гръцката са използвали оцветители с естествен произход. С развитието на цивилизацията и нарастването на населението нуждата от багрила се увеличава и индустриите, използващи оцветители, започват да търсят начини за получаване на желаните цветове в необходимите количества на ниска цена и с висока трайност [1]. До средата на XIX век се използват само естествени багрила и пигменти, но през 1856 г. Уилям Хенри Перкин създава първото синтетично багрило – мовеина (или анилиновото лилаво) [2] и това дава началото на една нова наука и индустрия – тази на синтетичните багрила.

Съществува огромен брой синтетични багрила и индустрията за тяхното производство се развива непрекъснато. В момента в световен мащаб годишно се произвеждат приблизително 800 хиляди тона оцветители [3] и едва 1% от тях са с естествен произход [4]. Синтетичните багрила имат своите предимства пред естествените, но тяхното производство и употреба води до екологични и здравословни проблеми. Съществуват и такива, като някои съединения на имините, специално базите на Шиф и техните метални комплекси, които са екологично безопасни [5]. За устойчиви синтетични багрила се приемат тези, които са икономически ефективни и се синтезират по безопасни за околната среда методи.

От своя страна естествените ресурси могат да осигурят устойчиви природни материали, които да се комбинират с методи за екстракция и багрене, безопасни за околната среда и здравето на човека.

2. Екстракция на естествени багрила

Екстракцията на естествени багрила е основен процес, с който се цели да се отделят цветните компоненти от растителните материали. Това се постига чрез разрушаване на клетъчните стени на растението, при което багрилните молекули преминават от растението в разтвора. За успешното извличане е важно да се разберат свойствата на тези цветни молекули, включително тяхната разтворимост и химичен състав.

Съществуват различни техники, като всяка от тях има своите предимства и специфики. Методите за извличане на багрила могат да бъдат разделени на две основни категории: традиционни и съвременни (фиг.1).

Фигура 1. *Два метода за екстракция на естествени багрила*

Традиционните методи, като водна екстракция, ферментация или екстракция със спирт, се използват в занаятите, изкуството при домашни (нелабораторни), тъй като не изискват сложна апаратура и са подходящи за малки производствени мащаби и индивидуални проекти. Те предлагат разнообразни възможности за получаване на багрила с различни цветове и свойства, като позволяват на творците да експериментират и да създават уникални цветови палитри.

Съвременните методи, като ултразвукова, микровълнова и суперкритична флуидна екстракция, се използват предимно в научни лаборатории и индустриални производства. Тези методи изискват специализирана апаратура и имат по-висока енергийна консумация, което ги прави по-скъпи и трудоемки. Въпреки това, съвременните методи не са ограничени само до лабораторни условия. Дори извън лабораторията, хората, които се занимават с естествено багрене, търсят начини за усъвършенстване на своите методи за екстракция и багрене. Например, използването на ензими, микровълнова печка и ултразвукова вана в домашни условия позволява на неиндустриални потребители да експериментират с тези съвременни методи и да постигат добри резултати с по-малко специализирана апаратура. Въпреки че резултатите от нелабораторните, „домашни“ експерименти не могат да бъдат толкова прецизни и контролируеми, колкото тези в лабораторни условия, те предлагат нов поглед върху възможностите за извличане на естествени багрила и могат да доведат до иновации в методите за екстракция. Изкуството и науката могат да вървят ръка за ръка и взаимно да се развиват.

Изборът на метод зависи от вида на растителния материал, желания цвят, техническите възможности и разходите за процеса. За екстракция могат да се използват както пресни, така и изсушени растения или части от тях, като свежите и сухите материали могат да възпроизведат различни цветове. За художниците и занаятчиите, които търсят естествен и устойчив подход, традиционните методи могат да предложат гъвкавост и креативност, докато за учените и индустриалните производители, съвременните техники предлагат по-голяма ефективност и контрол.

3. Методи за извличане на естествени багрила

3.1. Водна екстракция

Това е един от най-старите и традиционни методи за извличане на багрила от растителни източници. Процедурата започва с нарязване или фино смилане на растителния материал, за да се улесни достъпът на водата до багрилните молекули. След това материалът се накисва във вода в нереактивни съдове (от неръждаема стомана или емайлирани), за да се разхлабят клетъчните стени и да се освободят багрилните вещества [6]. Температурата на разтвора се повишава бавно до желаните градуси и се поддържа за около 1-2 часа, за да може багрилото да се отдели от растителната тъкан. След това разтворът се оставя да се охлади и се прецежда (филтрира), за да се отстранят твърдите частици. За максимална ефективност и по-пълно извличане на багрилото, екстракцията може да се повтори.

Чрез регулиране на времето и температурата могат да се постигнат разнообразни цветови вариации.

Меката вода е най-подходяща за екстракция на почти всички естествени багрила, с изключение на някои, като резеда лутеола, кампешево и бразилско дърво, които се развиват по-добре в твърда вода, съдържаща калциеви и магнезиеви соли.

Водната екстракция е устойчива и безопасна техника и екстрактът може лесно да се прилага върху текстил. Недостатъците са голямата

продължителност на процеса (което е свързано с енергийния ресурс), необходимите големи количества вода и ниският добив на багрило, тъй като се извличат само водоразтворимите компоненти на багрилото. При водната екстракция с нагряване трябва да се вземе под внимание и факта, че чувствителните към топлина багрила се разрушават при високи температури.

3.2. Ферментация

Тази техника на екстракция използва ензими, които се съдържат в растенията или се произвеждат от микроорганизми, присъстващи в атмосферата, за да се подпомогне излужването на багрилата. Този метод най-често се свързва с традиционния процес за добиване на багрило от индиговите растения. Листа и клонки на индиго (Indigofera tinctoria) се накисват в топла вода, като ферментацията продължава около три месеца в топла и влажна атмосфера (фиг.2). Безцветният индиго глюкозид индикан, който се съдържа в листата, се разгражда до глюкоза и индоксил, благодарение на ензима индимулсин, също присъстващ в листата. След три месеца листата се трансформират в компост, който може да бъде оформен във вид на малки топки, наситени със синьо оцветен неразтворим индиготин [8]. Извличането от други растения, съдържащи индиго, като багрилната сърпица (Isatis tinctoria), също се извършва чрез ферментация.

Фигура 2. *Етапи от традиционната японска техника за добиване на индиго пигмент. (Източник: https://www.shiborilab.info/_sukumo_compost/)*

Недостатъците на този метод включват дълъг, многоетапен процес и неприятна миризма, произтичаща от микробната активност.

3.3.Киселинна и алкална екстракция

Добавянето на киселина или основа към разтвора също може да се разглеждат като вид водна екстракция, при която се цели да се извлекат багрилни молекули, които са неразтворими във вода. Регулирането на pH на водата може да подобри процеса или да доведе до получаване на различен нюанс на извлеченото багрило. Много растителни багрила са под формата на гликозиди*, които могат да бъдат разградени в присъствието на киселини или основи. Промяната на pH на разтвора може да доведе до извличането на различни багрилни компоненти, като същевременно влияе на цветовите нюанси и тяхната устойчивост. Не бива да се забравя обаче, че някои багрила са много чувствителни към промените в pH и могат да бъдат унищожени в алкална среда. Това е метод, който може да се прилага, както в лабораторни, така и в нелабораторни условия, като разликата е в използвания инструментариум и прецизност.

Гликозидите са съединения, изградени от две части – захарна част, наречена гликон, и незахарна част, позната като агликон. Багрилата са агликоните в гликозидите. При външни въздействия като загряване, светлина, въздействие с вода, киселини или основи, гликозидите могат да се разпаднат и да освободят багрилните молекули.

3.4.Екстракция с разтворител

Естествените оцветяващи материали могат също да бъдат извлечени с помощта на органични разтворители като ацетон, петролев етер, хлороформ, етанол, метанол или смес от разтворители като смес от етанол и метанол, смес от вода и алкохол и т.н., в зависимост от тяхната природа [7]. Както водоразтворимите, така и водонеразтворимите съединения могат да бъдат извлечени от растителни ресурси с помощта на вода/алкохол. Екстракцията с разтворител изисква подходящо оборудване, като например екстрактора на Сокслет, и разтворители като алкохол, хексан или бензен (фиг.3).

Фигура 3. *Лабораторно извличане и екстракти.*
Източник: https://themall.bg/en/event/lerbolario-from-1978-date/

При този метод количеството необходима вода е по-малко, извличането се извършва при по-ниски температури, а добивът на багрило е по-висок в сравнение с водния подход, тъй като могат да бъдат извлечени по-голям брой багрилни съставки.

В този процес концентрацията на разтворителя, съотношението на твърдо вещество към течност, температурата и времето влияят пряко върху скоростта на движение на активните съставки.
Разновидност на този метод е използването на спирт при домашни (нелабораторни) условия. Този метод изисква накисване на растителния материал в спирт или в комбинация от спирт и евентуално леко нагряване на разтвора за завършване на процеса. Екстракцията със спирт е сравнително проста и безопасна, когато се използва етилов алкохол (етанол), което я прави удобна за домашна употреба, без необходимост от сложна апаратура.

3.5.Ензимна екстракция

Този метод за извличане на багрилни компоненти от растителен материал се счита за екологично чист, като се избягва използването на разтворители. Ензимите действат като катализатори и се използват за извличане, модифициране и синтез на активни молекули [9]. Различни ензими като целулаза, амилаза и пектиназа се прилагат за разграждане на растителната тъкан, улеснявайки освобождаването на багрилните молекули и

увеличавайки скоростта на освобождаване на багрилните частици. Изборът на ензим, неговата концентрация, стойността на pH, температурата и времето ще повлияят на скоростта на излужване. Тези техники са особено подходящи за твърди растителни материали като кора и корени. За практикуващите естествено багрене в нелабораторни условия може да се окаже проблем намирането на „чисти“ ензими и определянето на подходящите условия за съответния ензим, при които той да предизвика максимално ефективна екстракция.

3.6. Ултразвук и микровълни

Ултразвуковата и микровълновата екстракция са съвременни техники, които използват ултразвук и микровълнова радиация за бързо и ефективно извличане на багрила.

Ултразвукът се характеризира с честота над 20 kHz, която е извън обхвата на човешкия слух. Вълните могат да се разпространяват в твърди вещества, течности и газове чрез цикли на компресия и разреждане. Когато вълните с висок интензитет се разпространяват в течна среда, налягането надвишава силата, която задържа молекулите заедно, причинявайки тяхното разсейване и образуване на кавитационни мехурчета. Тези мехурчета нарастват и в крайна сметка се спукват, което генерира явлението кавитация. Разпадането на мехурчетата причинява поредица от механизми като ерозия или образуване на пори, които улесняват разрушаването на клетките на растителната матрица и освобождаването и разтварянето на багрилото [10]. Съществуват различни варианти на ултразвукова апаратура, която може да се използва за този метод, включително вариантите на ултразвукови вани за почистване, извън контролирани лабораторни условия (фиг.4 и фиг.5).

Фигура 4. *Апарат на Hielscher за ултразвукова екстракция. (Източник: https://www.hielscher.com/bg/ultrasonic-extraction-of-ayurvedic-herbs.htm*

Фигура 5. *Ултразвукова вана, алтернативен вариант за работа в нелабораторни условия. (Източник: https://plc-lab.com/product/ultrazvukova-digitalna-pochistvashta-v-3/)*

Микровълните, намиращи се в електромагнитния спектър между инфрачервените вълни и радиовълните, имат дължина на вълната между 0,01 и 1 метър и честотен диапазон от 0,3 до 300 GHz. В сравнение с традиционното нагряване, микровълновото нагряване показва по-висока ефективност (до 50%), водейки до значително по-ниска енергийна консумация [11]. За разлика от класическите методи за нагряване, при които топлината се прехвърля от оборудването към разтвора, микровълновото нагряване позволява директно загряване на разтвора, което води до по-бърз процес с по-нисък температурен градиент. Влиянието на микровълните увеличава кинетичната енергия и триенето между йоните в растителните клетки, което води до разрушаване на водородните връзки и улеснява проникването на разтворителя. Това значително намалява необходимото количество разтворител [12].

3.7. Суперкритична флуидна екстракция

Това е иновативен метод, при който се използва въглероден диоксид (CO2) под високо налягане като разтворител. Този метод е предпочитан заради своята безопасност и екологичност. Получените екстракти са чисти и без замърсители, което ги прави подходящи за употреба в храни и фармацевтични продукти (фиг. 6). Основните недостатъци включват високата цена на технологията, неефективността при извличане на полярни вещества [13] и рисковете за работниците. Системите, работещи с флуиди в суперкритични условия, функционират при налягане, значително по-високо от атмосферното. Това създава потенциални опасности за работещите и изисква стриктни мерки за безопасност и анализ на риска [14].

Фигура 6. *Вариант на оборудване за суперкритична флуидна екстракция (Източник: https://labinsights.nl/en/article/supercritical-co2-extraction-of-cannabis).*

Заключение

Екстракцията на естествени багрила комбинира традиционни знания с модерни технологии, предоставяйки разнообразни възможности за използване на растителни ресурси в текстилната индустрия и занаятчийството. Разбирането на тези методи и тяхната оптимизация е от ключово значение за разработването на устойчиви и ефективни техники за багрене.

Изборът на подходящ метод за извличане на естествени багрила зависи от множество фактори, включително типа на растителния материал, желаните цветови нюанси, наличните ресурси и техническите възможности. Съществуващите техники предоставят широки възможности за експериментиране, което прави този процес динамичен и иновативен.

Температурата, времето, твърдостта на водата и pH на разтвора играят ключова роля в ефективността на избрания метод и крайния резултат. Регулирането на тези фактори позволява постигане на разнообразни нюанси и подобряване на устойчивостта на цветовете.
Използването на техники, които изискват по-малко енергия и ресурси, е от съществено значение за устойчивостта на екстракционните практики. Комбинирането на различни методи може да доведе до по-добри резултати с минимално въздействие върху околната среда.

Запознаването с различните методи за екстракция и техните предимства може да подпомогне развитието на по-устойчиви и екологично съобразени практики в текстилната индустрия и други области, където естествените багрила намират приложение.

БИБЛИОГРАФИЯ:

[1] A. Abel, The history of dyes and pigments: From natural dyes to high performance pigments, Colour Design (DCC Europe Ltd, UK (2021) 557–587, https://doi.org/ 10.1016/B978-0-08-101270-3.00024-2.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081012703000242

[2] E. Hagan, J. Poulin, Statistics of the early synthetic dye industry. Herit. Sci. 9 (2021) 33, https://doi.org/10.1186/s40494-021-00493-5

[3] H.B. Slama, A. Chenari, Z. Bouket, et al., Diversity of Synthetic Dyes from Textile Industries. Discharge Impacts and Treatment Methods, Appl. Sci. 11 (2021) 6255, https://doi.org/10.3390/app1114625.

[4] H. Křížová, Natural dyes: their past, present, future and sustainability. Recent Developments in Fibrous Material Science, Publisher: Kanina - o.p.s, 2015, 59-71.

[5] M. Ashfaq, M. N. Tahir et al, Shedding Light on the Synthesis, Crystal Structure, Characterization, and Computational Study of Optoelectronic Properties and Bioactivity of Imine derivatives. ACS Omega, 7(6) 5217–5230 (2022) https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.1c06325

[6] Merdan N, Eyupoglu S, Duman MN. Ecological and sustainable natural dyes. Textiles and Clothing Sustainability: Springer; 2017. p. 1-41.

[7] Soxhlet Extraction – What is it? How does it work? Ел. ресурс: https://www.hielscher.com/soxhlet-extraction-setup-and-function.htm

[8] AKIKITAKESHITA (2023) Indigo Compost method “SUKUMO” and “CUCCAGNA”. Ел. ресурс: https://www.shiborilab.info/_sukumo_compost/

[9] Gardossi, L.; Poulsen, P.B.; Ballesteros, A.; Hult, K.; Švedas, V.K.; Vasić-Rački, Đ.; Carrea, G.; Magnusson, A.; Schmid, A.; Wohlgemuth, R.; et al. Guidelines for reporting of biocatalytic reactions. Trends in Biotechnology. 2010-04-01, Issue 4, vol.

28, pp. 171–180, Copyright © 2010 Elsevier Ltd

[10] Sonicators for Liquid Processing in Lab and Production.
Ел. ресурс: https://www.hielscher.com/

[11] Chaturvedi, A.K. Extraction of Nutraceuticals from Plants by Microwave Assisted Extraction. Syst. Rev. Pharm. 2018, 9, 31–35.

[12] Akhtar, I.; Javad, S.; Yousaf, Z.; Iqbal, S.; Jabeen, K. Microwave assisted extraction of phytochemicals: An efficient and modern approach for botanicals and pharmaceuticals. Pak. J. Pharm. Sci. January 2019, vol. 32, No1, pp. 223–230.

[13] Helmenstine, Anne Marie (May 05, 2024) Examples of Polar and Nonpolar Molecules. Thoughtco. Ел. ресурс: https://www.thoughtco.com/examples-of-polar-and-nonpolar-molecules-608516

[14] Iovine, A.; Leone, G.P.; Larocca, V.; Di Sanzo, G.; Casella, P.; Marino, T.; Musmarra, D.; Molino, A. Risk analysis of a supercritical fluid extraction plant using a safety software. Chemical Engineering. 2020, vol. 79, 79–84.