

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ВЪРХУ ЕКСТРАКЦИЯТА И БАГРЕНЕТО С RUBIA TINCTORUM

Незабравка Попова-Недялкова

Нов български университет, департамент „Изкуства и дизайн“, програма „Мода“,
21 ул. „Монтевидео“, 1618, София, България

Резюме

Статията разглежда екстракцията и приложението на багрилни вещества от *Rubia tinctorum* (бояджийски брош) върху различни текстилни влакна в контекста на устойчивото естествено багрене. Целта е да се изследва как ключови фактори – вид на разтворителя, температура и време на екстракция, състояние на багрилния материал, съотношение багрило/влакно, както и използването на танинови добавки и метални соли (FeSO_4 , CuSO_4) – влияят върху крайния цвят и неговата устойчивост. Проведени са 50 експеримента, комбиниращи различни условия на екстракция и багрене. Резултатите потвърждават известни зависимости, като по-високата абсорбция при протеинови влакна и предсказуемите ефекти от металните соли, но същевременно показват разминавания спрямо често цитирани препоръки – напр. стабилни цветове въпреки екстракция при висока температура или липса на очаквано усилване на червения нюанс след добавяне на калциеви съединения. Специално внимание е отделено на повторната екстракция и последователното багрене, които разкриват поетапно освобождаване на различни багрилни съединения, както и на сравнението между *R. tinctorum* и *R. cordifolia*.

Изследването подчертава значението на систематичния експериментален подход, приложим дори в нелабораторни условия, като принос към развитието на устойчиви практики в текстилното багрене.

Ключови думи: естествени багрила, *Rubia tinctorum*, екстракция, багрене, антрахинонови багрила, текстил, експеримент.

EXPERIMENTAL STUDIES ON THE EXTRACTION AND DYEING WITH RUBIA TINCTORUM

Nezabravka Popova-Nedyalkova

New Bulgarian University, Department of Arts and Design, Fashion Program,
21 Montevideo St., 1618 Sofia, Bulgaria

nezi_ned@abv.bg

Abstract

This article examines the extraction and application of dyeing substances from *Rubia tinctorum* (dyer's madder) on different textile fibers in the context of sustainable natural dyeing. The aim is to investigate how key factors—solvent type, extraction temperature and duration, state of the dye material, dye-to-fiber ratio, as well as the use of tannin additives and metal salts (FeSO_4 , CuSO_4)—influence the final color and its fastness. A total of 50 experiments were conducted, combining different conditions of extraction and dyeing.

The results confirm known dependencies, such as the higher absorption in protein fibers and the predictable effects of metal salts, while at the same time revealing discrepancies with commonly cited recommendations—for example, stable colors obtained despite high-temperature extraction, or the limited enhancement of red hues after the addition of calcium compounds. Attention is given to repeated extraction and dyeing, which demonstrate the stepwise release of different dye compounds, as well as to the comparison between *R. tinctorum* and *R. cordifolia*.

The study highlights the importance of a systematic experimental approach, applicable even in non-laboratory settings, as a contribution to the advancement of sustainable practices in textile dyeing.

Keywords: natural dyes, *Rubia tinctorum*, extraction, dyeing, anthraquinone dyes, textiles, experiment

Увод

Използването на багрила, извлечени от растения, минерали и животински източници, е едно от най-древните познания в човешката история. С времето това познание се е трансформирало от магическа и ритуална практика в технологичен процес с културна, икономическа и художествена стойност (Cardon, 2007; Hofenk de Graaff, 2004). Интересът към естествените багрила се възражда през последните десетилетия, особено в контекста на устойчивото развитие, кръговата икономика и екологичното текстилно производство (Bechtold & Mussak, 2009; Samanta & Konar, 2011).

Основен етап в работата с естествени багрила е екстракцията – процесът на извличане на багрилните молекули от суровия материал. Екстракцията е както химичен процес, зависим от структурата на багрилата и използваните разтворители, така и емпирична практика, повлияна от локалните ресурси, традиционните знания и съвременните технологични възможности (Angelini et al., 2017; Ferreira et al., 2004).

Настоящата статия има двоен фокус. От една страна, тя проследява еволюцията на методите за екстракция на естествени багрила и представя сравнителен анализ на основните съвременни техники. От друга страна, тя включва авторски експеримент с *Rubia tinctorum* (бойджийски брош), проведен в нелабораторни условия. Докато обзорната част разглежда екстракцията като ключов процес за добив на багрила, експерименталното изследване поставя акцент върху комплексното взаимодействие между екстракция, багрилни източници, влакна и фиксатори, което в крайна сметка определя спектъра и устойчивостта на получените цветове.

1. Исторически аспекти на екстракцията на естествени багрила

Процесите на багрене в култури със запазени традиционни практики често са неразривно свързани с методите на екстракция. В много случаи екстракцията и багренето протичат в една и съща стъпка – чрез варене или накисване на багрилния материал заедно с тъканта в големи съдове, използвани по предназначение или адаптирани за тази цел (Cardon, 2007). Температурата, продължителността и рН на разтвора често се контролират интуитивно – чрез наблюдение, мирис, консистенция или натрупан опит.

Историческите извори свидетелстват за употребата на различни техники в зависимост от вида на багрилото: например при багрене с индиго (от рода *Indigofera*) се прилага ферментационен процес, при който багрилото се редуцира до разтворима форма (Legrand, 2006); при червените багрила, извлечени от корените на брош, се използва варене или накисване, често в съчетание с алкални добавки (Hofenk de Graaff, 2004). В Азия, Африка и Южна Америка съществуват различни локални практики, предавани устно, които включват използване на дървесна пепел, мляко, животинска урина, ферментирани плодове и други естествени агенти за подобряване на добива на багрилото (Bechtold & Mussak, 2009).

Тези техники, макар и с исторически корени, продължават да се използват в съвременния текстилен и художествен контекст от етноботаници и експериментатори по цял свят. Те служат както като източник на вдъхновение, така и като обект на научно изследване и повторна интерпретация чрез съвременни технологични средства.

2. Фактори, влияещи върху екстракцията

Разнообразието от традиционни подходи за извличане на багрила поставя въпроса кои фактори стоят в основата на тяхната ефективност

и възпроизводимост. Именно чрез тези фактори може да се обясни защо някои методи са по-резултатни от други и защо практики, запазени в различни културни контексти, дават различни резултати.

Естествените багрила представляват широка група органични съединения с различна химична структура, които се класифицират в няколко основни класа: флавоноиди, индигоиди, хиноноиди, каротеноиди, беталаини и други (Bechtold & Mussak, 2009; Samanta & Konar, 2011). Всеки клас се отличава със специфична разтворимост, стабилност и афинитет към различни видове влакна, което обуславя необходимостта от различни условия при тяхната екстракция.

Сред основните фактори, влияещи върху ефективността на процеса, се открояват:

- **Температурата** – повишаването ѝ увеличава разтворимостта и скоростта на извличане, но може да доведе и до разграждане на термолабилни багрила (Angelini et al., 2017; Dean, 2020).

- **Времето на екстракция** – по-дългото време може да осигури по-висок добив, но също така да предизвика окисление или промяна в цвета.

- **pH на разтвора** – киселинната или алкалната среда влияе върху разтворимостта и структурата на багрилата, а оттам и върху получения цвят (Hofenk de Graaff, 2004; Samanta & Konar, 2011).

- **Твърдостта на водата** – меката вода се предпочита в повечето процеси на багрене, тъй като калциевите и магнезиевите йони могат да възпрепятстват фиксацията. Съществуват обаче изключения, при които твърдата вода подпомага процеса, например при *Rubia tinctorum* и *Reseda luteola*.

- **Видът на разтворителя** – вода, алкохоли (най-често етанол), глицерин или органични разтворители се подбират в зависимост от типа

багрило.

- **Физическата обработка на материала** – финото смилане увеличава повърхността и улеснява извличането.

- **Предварителната обработка** (например ферментация, накисване) – в някои традиции се използва за активиране на багрилния материал.

Тези фактори намират конкретно приложение в различни методи за екстракция, които варират от класически до високотехнологични подходи.

3. Методи за екстракция на естествени багрила

3.1. Класически методи

3.1.1. Водна екстракция (студена или гореща) остава най-често използваният метод художествено-текстилната практика и в етноботаническите изследвания. Прилага се при растения, съдържащи водоразтворими багрила – например флавоноиди и танини (Bechtold & Mussak, 2009). Горещата вода подобрява извличането, но може да доведе до разпад на температурно чувствителни съединения.

3.1.2. Алкохолна екстракция, най-често с етанол, се използва за извличане на антрахинони, каротеноиди и някои флавоноиди. Счита се, че алкохолът подобрява извличането на по-слабо полярни съединения (които не се разтварят във вода) и стабилизира някои багрила (Ferreira et al., 2004; Van Beek et al., 2003). Класически пример е багрилото от корените на *Alkanna tinctoria* (айважива), при което се прилага продължителна екстракция с етанол за освобождаване на нафтохинонови пигменти.

3.1.3. Алкално-киселинна екстракция – регулирането на pH чрез добавяне на основи или киселини може да увеличи разтворимостта на специфични багрила и да повлияе на техния

цвет. Пример е лутеолинът, който променя спектралните си характеристики при различна киселинност на средата (Hofenk de Graaff, 2004).

3.2. Усъвършенствани техники

3.2.1. Ултразвукова екстракция (UAE)

Използва ултразвукови вълни с висока честота за разрушаване на клетъчните стени и ускоряване на дифузията. Методът съкращава времето за екстракция и увеличава добива при ниски температури, поради което е подходящ за температурно чувствителни багрила (Chemat et al., 2012).

3.2.2. Микровълнова екстракция (MAE)

Използва микровълнова енергия за бързо нагряване на пробата, което води до ефективно разрушаване на клетъчните структури и ускорено освобождаване на багрилните съединения. Методът значително намалява времето за обработка и се използва успешно при извличане на флавоноиди и антоцианини (Chan et al., 2011).

3.2.3. Ензимна екстракция

Включва прилагането на ензими (напр. целулаза, пектиназа), които разграждат клетъчните стени, като по този начин улесняват освобождаването на багрилата. Подходяща е при растителни материали с високо съдържание на полизахариди (Angelini et al., 2017).

3.2.4. Суперкритична екстракция (SFE)

Използва флуиди в суперкритично състояние – най-често CO₂ под високо налягане – за извличане на неполярни съединения (които не се разтварят във вода). Методът е екологично щадящ, но изисква скъпа апаратура и не е широко приложим в контекста на ръчна текстилна практика (Liu et al., 2021).

3.3. Алтернативни и нискотехнологични подходи

В практиките извън лабораторна среда се прилагат и т.нар. полуинтензивни методи – като използване на комбинирани разтворители (вода с глицерин, вода с алкохол), продължително накисване, ферментация или прилагане на твърда вода, обогатена с калциеви съединения. Тези подходи често стъпват върху традиционни знания и се адаптират спрямо конкретните ресурси на средата (Dean, 2020; Legrand, 2006). Дори при ограничена апаратура, внимателният контрол върху температурата, времето, концентрациите и комбинациите от реагенти позволява създаването на стабилни и наситени багрилни разтвори.

На Таблица 1 е представен сравнителен преглед на основните методи за екстракция, разгледани по-горе, с фокус върху времеви, технологични и екологични аспекти.

Таблица 1. Сравнителен преглед на основни методи за екстракция на естествени багрила

Метод	Принцип	Предимства	Ограничения	Екологични аспекти
Водна екстракция	Студена/гореща вода	Достъпна, лесна, традиционна	Нисък добив при неполярни багрила; термолабилни съединения се разграждат	Висока екологична съвместимост
Алкохолна екстракция	Етанол или смес вода-алкохол	Подобрява извличането на антрахинони и флавоноиди	Изисква по-дълго време; по-високи разходи	Етанолът е биоразградим
Регулирано рН	Киселинни/алкални среди	Увеличава разтворимостта; променя цвета	Може да предизвика деструкция на молекули	Зависи от използваните реагенти
Ултразвукова (UAE)	Ултразвук → разрушаване на клетки	Бърза, при ниски температури	Ограничен обем, апаратура	Нисък разход на енергия и разтворители
Микровълнова (MAE)	Микровълнова енергия → нагряване	Много кратко време; висок добив	Риск от неравномерно нагряване	Енергийно ефективна
Ензимна	Ензими разграждат клетъчните стени	Щадяща, селективна	Скъпи ензими, по-бавна	Добра екологична съвместимост
Суперкритична (SFE)	CO ₂ под налягане	Извлича неполярни багрила; без разтворители	Скъпа апаратура	Много щадяща за околната среда
Алтернативни нискотехнологични	Ферментация, глицерин, твърда вода	Достъпни, адаптивни, близки до традицията	По-бавно и трудно възпроизводимо	Висока устойчивост, ниски ресурси

Разгледаните методи придобиват особена значимост при работа с *Rubia tinctorum*, чийто химичен състав пряко определя избора на подход за екстракция.







4. *Rubia tinctorum* и допълнителни багрилни източници

Познаването на химичния състав на багрилните растения е ключово за разбирането на техните оцветителни свойства и приложението им върху различни влакна. Видът, концентрацията и взаимодействието на съединенията определят спектъра от нюанси и тяхната устойчивост. Химичният профил влияе пряко върху избора на метод за екстракция и фиксация (Cardon, 2007; Bechtold & Mussak, 2009).

4.1. Антрахинонови съединения

Най-характерните багрилни вещества в *Rubia tinctorum* са антрахиноните. Сред тях ализаринът (1,2-дихидроксиантрахион) и пурпуринът (1,2,4-трихидроксиантрахион) са основните носители на червените и оранжеви нюанси (Van Beek et al., 2003; Inoue et al., 2010). Рубиадинът и мунжестинът придават по-тъмни и виолетово-кафяви тонове, а гликозидите псевдопурпурин и рубрин се хидролизират до активни форми, което обогатява палитрата (Masawaki et al., 1996; Rastogi & Gupta, 2004). Комбинацията между тези съединения и тяхната разтворимост в различни условия обясняват широкия диапазон от цветове при багрене с брош.

Таблица 2. Антрахинонови съединения – *Rubia tinctorum*

Съединение	Формула	Клас	Роля при багрене	Референтен цвят	HEX код
Ализарин	C ₁₄ H ₈ O ₄	Антрахион	Основно багрило; стабилни комплекси с Al/Fe морданти		#A11217
Пурпурин	C ₁₄ H ₈ O ₅	Антрахион	Топли тонове; чувствителен към pH		#E14D2A
Рубиадин	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	Антрахион	Потъмнява нюанса (особено с Fe)		#6A2C1C
Мунжестин	C ₁₅ H ₈ O ₆	Антрахион	Оранжево-червен оттенък, особено във <i>Rubia cordifolia</i>		#4B2C35
Псевдопурпурин	C ₂₀ H ₁₆ O ₁₀ (гликозид)	Антрахионов гликозид	Хидролиза → пурпурин		#D14E28
Рубрин	C ₂₆ H ₂₈ O ₁₄ (гликозид)	Антрахионов гликозид	Освобождава ализарин, пурпурин и сродни антрахиони → различни нюанси		#C9A341

*Цветове са ориентировъчни (референтни) и могат да варират според метода на екстракция и вида на фиксатора.









*HEX код – цифрово обозначение на цветове чрез червено, зелено и синьо (RGB).

4.2. Фенолни съединения

Освен антрахинони, в корените на *Rubia tinctorum* са установени фенолни киселини (галова, елагова, п-кумарова, ферулова), както и флавоноиди (лутеолин, апигенин) (Ferreira et al., 2004; Koleva et al., 2008). Макар да не са основни багрила, те подпомагат фиксацията

и стабилизацията на цвета, а танините играят съществена роля при свързването на багрилата с влакната (Sharma & Verma, 2015). Това взаимодействие обяснява устойчивостта на получените цветове и вариациите при комбинирано багрение.









Таблица 3. Фенолни съединения – *Rubia tinctorum*

Съединение	Формула	Клас	Роля при багрение	Референтен цвят	HEX код
Карминова киселина (кошенил)	$C_{22}H_{20}O_{13}$	Антрахинонов гликозид	Наситени червени тонове; стабилно багрило		#960018
Кармин (кошенил)	$C_{22}H_{20}O_{13} \cdot Al/Ca$	Комплексна сол	Ярки нюанси според морданта		#D1001C
Лутеолин (жълта резеда)	$C_{15}H_{10}O_6$	Флавор	Основното багрило на резедата; стабилно жълто багрило		#FFD300
Апигенин (жълта резеда)	$C_{15}H_{10}O_5$	Флавор	Вторично багрило; по-слабо оцветява		#EEE8AA
Катехин (катеху)	$C_{15}H_{14}O_6$	Флаван-3-ол (танин)	Действа и като багрило, и като фиксатор; топли кафяви тонове		#8B5A2B
Епикатехин (акация катеху)	$C_{15}H_{14}O_6$	Флаван-3-ол (танин)	Подобен ефект, по-тъмни нюанси		#6B4226
Галова киселина (дъбови гали)	$C_7H_6O_5$	Фенолна киселина	Източник на танин; черни тонове с Fe		#5C4033
Елагова киселина (дъбови гали)	$C_{14}H_6O_8$	Фенолна киселина (димер)	Добавя стабилност и нюанси		#B8860B

*Цветовете са ориентировъчни (референтни) и могат да варират според метода на екстракция и вида на фиксатора.

*, „Фиксация“ се отнася до способността на дадено съединение да подпомага свързването на багрилото към влакното (напр. танини). „Стабилизация“ означава удължаване на трайността на вече фиксирания цвят чрез предпазване от окисление и избледняване (напр. ферулова киселина).“

Таблица 4. Допълнителни източници
(индийски брош, жълта резеда, кохинил, дъбови гали, акация катеху, харитаки)

Съединение	Формула	Клас	Роля при багрене	Референтен цвят	HEX код
Карминова киселина (кошенил)	$C_{22}H_{20}O_{13}$	Антрахинонов гликозид	Насигени червени тонове; стабилно багрило		#960018
Кармин (кошенил)	$C_{22}H_{20}O_{13} \cdot Al/Ca$	Комплексна сол	Ярки нюанси според морданта		#D1001C
Лутеолин (жълта резеда)	$C_{15}H_{10}O_6$	Флавон	Основното багрило на резедата; стабилно жълто багрило		#FFD300
Апигенин (жълта резеда)	$C_{15}H_{10}O_5$	Флавон	Вторично багрило; по-слабо оцветява		#EEE8AA
Катехин (катеху)	$C_{15}H_{14}O_6$	Флаван-3-ол (танин)	Действа и като багрило, и като фиксатор; топли кафяви тонове		#8B5A2B
Епикатехин (акация катеху)	$C_{15}H_{14}O_6$	Флаван-3-ол (танин)	Подобен ефект, по-тъмни нюанси		#6B4226
Галова киселина (дъбови гали)	$C_7H_6O_5$	Фенолна киселина	Източник на танин; черни тонове с Fe		#5C4033
Елагова киселина (дъбови гали)	$C_{14}H_6O_8$	Фенолна киселина (димер)	Добавя стабилност и нюанси		#B8860B

*В таблицата са включени допълнителни багрилни източници – растителни и животински, съдържащи различни класове багрилни съединения (антрахинони, флавоноиди, танини). Те се използват самостоятелно или в комбинация с *Rubia tinctorum*, като допринасят за разширяване на цветната гама и подобряване на устойчивостта на багренето.

* Галова и елагова киселина са включени и в Таблица 2 (като индивидуални фенолни киселини), и в Таблица 3 (като съставна част от таниновия комплекс на дъбови гали). Разликата в цветовете отразява различния им контекст – чисти съединения спрямо естествен източник.

*Цветовете са ориентировъчни (референтни) и могат да варират според метода на екстракция и вида на фиксатора.

4.3. Допълнителни багрилни източници

В експеримента са използвани и други естествени багрила. Индийският брош (*Rubia cordifolia*) съдържа манжистин, който дава по-виолетови и кафеникави тонове (Singh et al., 2010; Dutta, 2015). Жълтата резеда (*Reseda luteola*) е класически източник на лутеолин – стабилен жълт пигмент (Samanta & Agarwal, 2009). Кохинилът (*Dactylopius coccus*) осигурява карминова киселина, носител на интензивни червени цветове (Wouters & Verhecken, 1991). Дъбовите гали (*Quercus* spp.) са богати на галова киселина и танини и в комбинация с железни соли дават черни и сиви тонове (Ranganathan & Subramanian, 1988). Акацията катеху (*Senegalia catechu*) съдържа катехин и епикатехин – осигурява топли кафяви цветове и стабилизира други багрила (Ali et al., 2009). Харитаки (*Terminalia chebula*) е особено богат на танини и усилва фиксацията и потъмняването на нюансите (Kumar et al., 2019).

Докато литературният обзор поставя акцент върху екстракцията като ключов процес, експерименталната част разглежда взаимодействието между екстракция, багрилни източници, влакна и фиксатори, което в крайна сметка определя крайния цветови резултат.

5. Експериментална част: „50 × 4 нюанса брош“

5.1. Предварителни бележки и цел на експеримента

Както вече бе отбелязано по-горе, *Rubia tinctorum* съдържа не само антрахинонови багрила (ализарин, пурпурин, рубиадин и др.), но и малки количества съединения от други химични групи – например флавоноиди и органични киселини. Това химично многообразие, в съчетание с различната разтворимост на компонентите при различни температури и условия, е в основата на широката палитра от нюанси, които могат да бъдат получени чрез променящи се параметри на

екстракция и багрене.

Нагрупаният опит при практикуващите, дори без прецизни химични означения, често води до дълбоко разбиране на такива зависимости — например наблюдението, че различните цветове се проявяват в различен момент от екстракцията, отразява реални различия в разтворимостта на багрилните съединения.

Настоящият експеримент има за цел да тества 50 различни варианта на екстракция и багрене с *Rubia tinctorum*, прилагани върху четири различни текстилни основи. По този начин се формира матрица от 200 мостри, която позволява наблюдение както на общи закономерности, така и на отклонения от очакваните резултати – включително такива, които противоречат на утвърдените твърдения в литературата.

5.2. Материали и методика

5.2.1. Багрилен материал

Основен източник в експеримента са корени от *Rubia tinctorum* (бойджийски брош), предлагани търговски като изсушен и грубо натрошен материал. В част от пробите той е допълнително фино смлян, което води до по-ефективна екстракция и различия в нюанса.

В една от пробите *Rubia tinctorum* е заменена с *Rubia cordifolia* (манджиста), растение от същото семейство (*Rubiaceae*), но с различен химичен и багрилен състав. Използван е прахообразен материал, предназначен за козметична употреба, което означава фино смилане, което се отразява на разтворимостта на багрилата.

В някои от експериментите са включени и допълнителни багрилни или танинови източници с цел съвместно багрене и изследване на ефекти на копигментация:

- *Reseda luteola* (жълта резеда),
- *Dactylopius coccus* (кохинил),
- *Quercus* spp. (дъбови гали),
- *Senegalia catechu* (акация катеху),
- *Terminalia chebula* (харитаки).

5.2.2. Текстил

Използвани са четири вида текстил: вълна, коприна, памук и лен. Всички проби са предварително обработени по идентични процедури за почистване и фиксация. Съставът на влакната не е лабораторно потвърден.

5.2.3. Почистване на текстила (scouring)

Протеинови влакна (вълна, коприна):

- Препарат с неутрално рН (напр. „Frosch“), 1% от теглото на влакната;
- Температура: 60 °С, 1 час;
- Обилно изплакване.

Целулозни влакна (памук, лен):

- Същият препарат – 2%;

- Натриев карбонат (Na_2CO_3) – 5%;
- Варене 1 час;
- Обилно изплакване с топла вода.

5.2.4. Фиксиране

Протеинови влакна:

- Калиево-алуминиев сулфат – 20%;
- Накисване: 1 час, с разбъркване и последващо изплакване.

Целулозни влакна:

- Калиево-алуминиев сулфат – 18%;
- Натриев ацетат – 16%;
- Накисване: 2 часа, последвано от изплакване.

Таблица 5. Обработка на текстила преди багрене

Вид влакно	Тип обработка	Реактиви и концентрации	Условия	Бележки
Вълна, коприна (протеинови)	Почистване (scouring)	Течен перилен препарат с рН 7 (1% от ТВ ¹)	60°С, 1 час	Обилно изплакване с вода
	Фиксация	Калиево-алуминиев сулфат (20% от ТВ)	Накисване 1 час, с разбъркване	Обилно изплакване
Памук, лен (целулозни)	Почистване (scouring)	Перилен препарат (2%) + Na_2CO_3 (5% от ТВ)	Варене 1 час	Обилно изплакване с топла вода
	Фиксация	Калиево-алуминиев сулфат (18%) + CH_3COONa (16%)	Накисване 2 часа, с разбъркване	Изплакване след фиксация

¹ ТВ = тегло на влакната.

5.2.5. Екстракция

Бяха тествани 50 варианта на екстракция и багрене, при които се променят следните параметри:

- **Разтворител:** мека чешмяна вода (предварително тествана), с добавки: 95% етанол, Na_2CO_3 или CaCO_3 .
- **Температура:** от стайна до 90 °С; при някои варианти – комбинирано (нагриване +

престой).

- **Време:** от 15 минути до 3 дни.
- **Състояние на материала:** натрошен корен (търговски) или фино смлян.
- **Използван растителен вид:** *Rubia tinctorum* или *Rubia cordifolia*.
- **Съотношение багрило:влакно:** от 25% до 400%.
- **Прецеждане:** фино, за премахване на твърди частици.

5.2.6. Методи на багрене

- Студено багрене (24 ч. при стайна температура);
- Топло багрене (50–70 °С, 1 час);
- Постобработка с FeSO₄ или CuSO₄ за промяна на нюанса.

5.3. Експериментални варианти

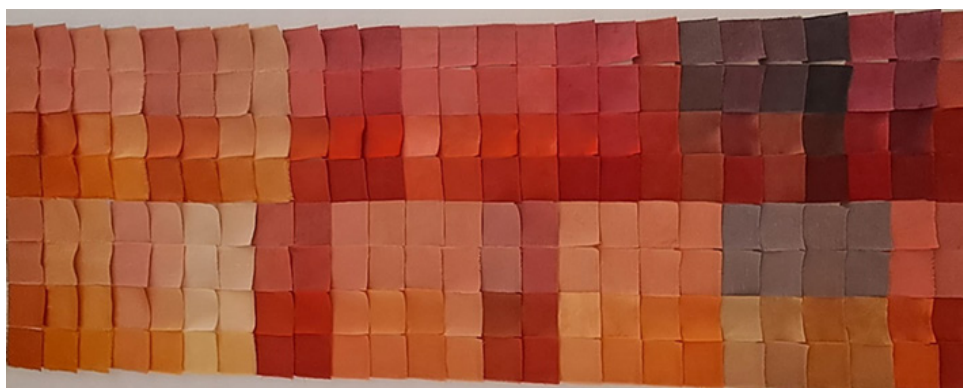
Пълният набор от експериментални варианти (50 × 4 влакна) е представен в таблица 6 по-долу, а съответните цветови резултати са документирани на паното с мостри (фиг. 1).

Таблица 6. 50 експеримента с *Rubia tinctorum*

№	Багрилен източник и количество	Условия на експеримента
[1]	<i>Rubia tinctorum</i> , 100% от ТВ	Топла екстракция (H ₂ O + спирт 95%, CaCO ₃); първо топло багрене; второ топло багрене с <i>Reseda luteola</i> 100% от ТВ
2.	<i>Rubia tinctorum</i> , 50% от ТВ	Топла екстракция (H ₂ O + спирт 95%, CaCO ₃); първо топло багрене; второ топло багрене с <i>Reseda luteola</i> 500% от ТВ
3.	<i>Rubia tinctorum</i> , 25% от ТВ	Топла екстракция (H ₂ O + спирт 95%, CaCO ₃); първо топло багрене; второ топло багрене с <i>Reseda luteola</i> 25% от ТВ
4.	<i>Rubia tinctorum</i> , 100% от ТВ	Студена екстракция (H ₂ O + спирт 95%, CaCO ₃ , II-ра баня); първо топло багрене; второ багрене с <i>Reseda luteola</i> 100% от ТВ
5.	<i>Rubia tinctorum</i> , 100% от ТВ	Топла екстракция (H ₂ O + спирт 95%, CaCO ₃ , II-ра баня); първо топло багрене; второ багрене с <i>Reseda luteola</i> 100% от ТВ
6.	<i>Rubia tinctorum</i> , 50% от ТВ	Топла екстракция (H ₂ O + спирт 95%, CaCO ₃ , II-ра баня); първо топло багрене; второ багрене с <i>Reseda luteola</i> 50% от ТВ
7.	<i>Rubia tinctorum</i> , 25% от ТВ	Топла екстракция (H ₂ O + спирт 95%, CaCO ₃ , II-ра баня); първо топло багрене; второ багрене с <i>Reseda luteola</i> 25% от ТВ
8.	<i>Rubia tinctorum</i> , 400% от ТВ	Студена екстракция – H ₂ O; студено багрене
9.	<i>Rubia tinctorum</i> , 400% от ТВ	Студена екстракция – H ₂ O + спирт 95%, 24 ч.; студено багрене
10.	<i>Rubia tinctorum</i> , 400% от ТВ	Екстракция – H ₂ O, 90°C, 1 ч. + 23 ч. на стайна температура; багрене – 50°C, 1 ч. + 23 ч. на стайна температура
1[1]	<i>Rubia tinctorum</i> , 400% от ТВ	Екстракция – спирт 95%, 90°C, 1 ч. + 23 ч.; багрене – 50°C, 1 ч. + 23 ч. на стайна температура
12.	<i>Rubia tinctorum</i> , 400% от ТВ	Студена екстракция – H ₂ O + Na ₂ CO ₃ (10%); студено багрене – 24 ч.
13.	<i>Rubia tinctorum</i> , 400% от ТВ	Студена екстракция – H ₂ O + CaCO ₃ (10%); студено багрене – 24 ч.
14.	<i>Rubia tinctorum</i> , 400% от ТВ	Бърза екстракция; топло багрене, 1 + 23 ч.
15.	<i>Rubia tinctorum</i> , 400% от ТВ	Бърза екстракция; студено багрене – 24 ч.
16.	<i>Rubia tinctorum</i> , неизвестно количество	Втора екстракция (продължителен престой със спирт 95%); студено багрене – 30 мин.
17.	<i>Rubia tinctorum</i>	Втора екстракция; студено багрене – 2 ч.

18.	<i>Rubia tinctorum</i>	Втора екстракция; студено багрене – 6 ч.
19.	<i>Rubia tinctorum</i>	Втора екстракция; студено багрене – 16 ч.
20.	<i>Rubia tinctorum</i>	Втора екстракция; студено багрене – 30 мин.; третиране с CuSO_4 – 3 мин.
2[1]	<i>Rubia tinctorum</i>	Втора екстракция; студено багрене – 2 ч.; третиране с FeSO_4 – 3 мин.
22.	<i>Rubia tinctorum</i>	Втора екстракция; студено багрене – 6 ч.; третиране с FeSO_4 – 3 мин.
23.	<i>Rubia tinctorum</i>	Втора екстракция; студено багрене – 16 ч.; третиране с FeSO_4 – 3 мин.
24.	<i>Rubia tinctorum</i> , 100% от ТВ	Студена екстракция (H_2O , спирт, CaCO_3); багрене – 50°C
25.	<i>Rubia cordifolia</i> , прах, 200% от ТВ	Студена екстракция – 2 ч.; багрене – 35°C , 1 ч. + 8 ч. на стайна температура; второ багрене с <i>Dactylopius coccus</i> 100% от ТВ
26.	<i>Rubia tinctorum</i> , 100% от ТВ	Студена екстракция (H_2O , спирт 95%, CaCO_3); първо топло багрене; второ топло багрене с <i>Reseda luteola</i> 100% от ТВ
27.	<i>Rubia tinctorum</i> , 100% от ТВ	Екстракция – 50°C (H_2O , спирт, CaCO_3); багрене – 50°C
28.	<i>Rubia tinctorum</i> , 50% от ТВ	Екстракция – 50°C (H_2O , спирт, CaCO_3); багрене – 50°C
29.	<i>Rubia tinctorum</i> , 25% от ТВ	Екстракция – 50°C (H_2O , спирт, CaCO_3); багрене – 50°C
30.	<i>Rubia tinctorum</i> , 100% от ТВ	Студена екстракция (H_2O , спирт, CaCO_3); багрене – 50°C , 1 ч. + 23 ч. на стайна температура; второ багрене с танин (Oak galls) 100% от ТВ, 24 ч., стайна температура
3[1]	<i>Rubia tinctorum</i> , 100% от ТВ	Екстракция – 50°C (H_2O , спирт, CaCO_3); багрене – 50°C , 1 ч. + 23 ч. на стайна температура; второ багрене с танин (Oak galls) 100% от ТВ, 24 ч., стайна температура
32.	<i>Rubia tinctorum</i> , 50% от ТВ	Екстракция – 50°C (H_2O , спирт, CaCO_3); багрене – 50°C , 1 ч. + 23 ч. на стайна температура; второ багрене с танин (Oak galls) 50%, 24 ч., стайна температура
33.	<i>Rubia tinctorum</i> , 25% от ТВ	Екстракция – 50°C (H_2O , спирт, CaCO_3); багрене – 50°C , 1 ч. + 23 ч. на стайна температура; второ багрене с танин (Oak galls) 25% от ТВ, 24 ч., стайна температура
34.	<i>Rubia tinctorum</i> , 300% от ТВ	Предварително смлян; студена екстракция – H_2O ; студено багрене
35.	<i>Rubia tinctorum</i> , 300% от ТВ	Студена екстракция – H_2O ; студено багрене
36.	<i>Rubia tinctorum</i> , 300% от ТВ	Студена екстракция след IV-то измиване – H_2O ; студено багрене
37.	<i>Rubia tinctorum</i> , 300% от ТВ	IV-то измиване; студена екстракция – 15 мин.; студено багрене
38.	<i>Rubia tinctorum</i> , 300% от ТВ	I-во измиване; студена екстракция – 15 мин.; студено багрене
39.	<i>Rubia tinctorum</i> , 300% от ТВ	Студена екстракция след I-во измиване; студено багрене

40.	Rubia tinctorum, 300% от ТВ	Предварително смлян; II-ра студена екстракция; студено багрене
4[1]	Rubia tinctorum, 300% от ТВ	След IV-то измиване; II-ра студена екстракция; студено багрене
42.	Rubia tinctorum, 300% от ТВ	След III-то измиване; II-ра студена екстракция; първо студено багрене; второ багрене с <i>Dactylopius coccus</i>
43.	Rubia tinctorum, 300% от ТВ	Студена екстракция след II-ро измиване; първо студено багрене; второ багрене с <i>Dactylopius coccus</i>
44.	Rubia tinctorum, 300% от ТВ	II-ро измиване; студена екстракция – 15 мин.; студено багрене
45.	Rubia tinctorum, 300% от ТВ	След II-ро измиване; II-ра студена екстракция; първо студено багрене; второ багрене с <i>Dactylopius coccus</i> ; третиране с $FeSO_4$
46.	Rubia tinctorum, 300% от ТВ	След III-то измиване; II-ра студена екстракция; първо студено багрене; второ багрене с танин (<i>Chebulic myrobalan</i>); третиране с $FeSO_4$
47.	Rubia tinctorum, 300% от ТВ	След III-то измиване; II-ра студена екстракция; първо студено багрене; второ багрене с танин (<i>Chebulic myrobalan</i>); третиране с $FeSO_4$; трето студено багрене с <i>Rubia tinctorum</i>
48.	Rubia tinctorum, 300% от ТВ	След I-во измиване; II-ра студена екстракция; студено багрене; третиране с $CuSO_4$
49.	Rubia tinctorum, 300% от ТВ	II-ра студена екстракция – H_2O ; студено багрене; третиране с $CuSO_4$; второ багрене с <i>Dactylopius coccus</i>
50.	<i>Rubia cordifolia</i> , прах, 200% от ТВ	Студена екстракция – 2 ч.; багрене – $35^{\circ}C$, 1 ч. + 8 ч. на стайна температура



*Фигура 1. Пано с експериментални мостри. 50 варианта на екстракция и багрене с *Rubia tinctorum*, приложени върху четири вида влакна (вълна, коприна, памук, лен). Следва да се има предвид, че цветовете на изображението може да се различават от реалните нюанси на мострите поради ограничения на дигиталната репродукция.*

5.4 Резултати: специфични наблюдения и аналитични изводи

Експериментът потвърди редица добре познати зависимости в естественото багрене, като същевременно разкри нови и в някои случаи противоречиви резултати, подчертаващи значението на експерименталната работа в практически условия. Наблюденията се групират в две основни категории:

5.4.1. Очаквани и потвърдени зависимости

- **Вид на влакната:** Протеиновите влакна (вълна, коприна) абсорбират багрилото по-добре и показват по-висока наситеност в сравнение с целулозните (памук, лен), при еднакви условия на багрене.

- **Метални соли:** Допълнително фиксиране с FeSO_4 или CuSO_4 води до предвидими промени – потъмняване, опушване, сивеещи тонове.

- **Копигментация:** Добавянето на танини или допълнителни багрилни растения (катеху, кохинил, жълта резеда и др.) предизвиква изменения в цвета, надхвърлящи механичното наслагване.

- **Съотношение багрило:влакно:** Влияе както върху наситеността, така и върху дълбочината и плътността на цвета.

- **Състояние и многократна екстракция:** Fino смленият корен осигурява по-равномерна и по-интензивна екстракция. Повторната обработка на един и същ материал показва, че различни пигменти се освобождават при различни условия, давайки нови нюанси.

- **Разновидности на растението:** *Rubia cordifolia* дава по-студени, розово-лилави нюанси спрямо по-червените или керемидени тонове на *R. tinctorum*.

- **Комбинация от фактори:** Температура, време, ред на операциите и рН действат едновременно. Именно тази комбинаторика обуславя възможността за богата палитра – от червени и прасковени до топли жълтеникави и розово-лилави.

5.4.2. Неочаквани или противоречиви резултати

- **Температура:** Въпреки

предупрежденията в литературата за термолиза на пурпурина при температури над $50\text{ }^\circ\text{C}$, екстракция при $90\text{ }^\circ\text{C}$ даде чисти и стабилни цветове – особено в алкална среда.

- **Твърдост на водата:** Добавянето на CaCO_3 , макар препоръчвано в някои източници, не подобри цвета; в някои случаи дори го приглуши. Това подсказва сложна зависимост между твърдост, рН и влакна.

- **Етанол:** Въпреки HPLC-доказателства за ефективна екстракция на антрахинони чрез етанол, резултатите не показаха по-наситени цветове, а по-скоро алтернативни нюанси.

5.5. Обобщение

Изведените резултати потвърждават не само ефективността на множество известни техники, но и необходимостта от критичен, емпирично ориентиран подход. Някои отклонения от очакваното (напр. ефектът на високата температура или на етанола) подчертават значението на експериментирането и наблюдението. *Rubia tinctorum* се потвърждава като изключително богато багрилно растение – не само заради химическия си състав, но и заради разнообразието от резултати, които могат да бъдат постигнати при работа с различни техники, материали и условия.

6. Заключение

Изследването показва, че екстракцията е не само технически процес, но и поле, в което традиционни практики, съвременни технологии и експериментални наблюдения се преплитат. Литературният обзор очертава историческите методи и факторите, които определят добива на багрила – температура, време, рН, твърдост на водата, вид на разтворителя и подготовка на материала. Сравнението между класически, усъвършенствани и алтернативни техники разкрива широк спектър от възможности – от достъпни нискотехнологични подходи до лабораторно-интензивни методи. Химичният състав на *Rubia tinctorum*, доминиран от антрахинонови съединения, обяснява богатата цветова палитра и устойчивостта на багренето и същевременно насочва избора на условия за работа.

Експерименталната постановка „50 × 4 нюанса брош“ проследява взаимодействието между метода на екстракция, багрилните източници, вида на влакната и фиксацията. Наблюденията потвърждават утвърдени зависимости – протеиновите влакна абсорбират по-интензивно от целулозните; металните соли изменят нюансите по предвидим начин; танините и съпътстващите багрилни растения създават ефекти на копигментация; количественото съотношение между багрилен материал и влакно влияе върху наситеността. В същото време резултатите показват и различия спрямо част от литературните данни: екстракцията при висока температура (90 °C) може да даде чисти и стабилни цветове; добавянето на калциеви съединения не винаги усилва интензивността; етанолът не задължително увеличава наситеността, а по-скоро променя оттенъците.

Наблюдавано е също поетапно освобождаване на различни багрилни съединения при многократна екстракция и повторно багрене със същия разтвор, което позволява по-пълно използване на ресурса. Сравнението с *Rubia cordifolia* показва отчетливи цветови различия, въпреки ботаническото сходство, и подчертава значението на точната идентификация на материала.

Практическо значение и перспективи

Резултатите подчертават, че успешното багрене с *Rubia tinctorum* изисква интегриран подход,

в който познаването на химичната природа на багрилото се съчетава с внимателно наблюдение на взаимодействието между факторите. Получените мостри документирант богатството от нюанси, а обобщената цветова палитра (фиг. 2) систематизира тези резултати в удобен за сравнение и приложение вид. Така изследването има пряка стойност за:

- **Текстилната и художествената практика** – резултатите предлагат насоки за постигане на наситени и устойчиви цветове чрез контрол на прости, но решаващи параметри като температура, рН и съотношение багрило–влакно.

- **Занаятчийски и образователни инициативи** – експериментът в нелабораторни условия показва, че системното документиране и визуализиране на процесите е достъпно и полезно за творци и практики, които работят в контекста на устойчив дизайн.

- **Научните изследвания** – наблюдаваните несъответствия с част от литературните данни откриват нови въпроси, свързани с влиянието на твърдостта на водата, поведението на етанола или температурната устойчивост на пурпурина, които изискват по-задълбочени анализи (например с аналитични техники като HPLC).

- **Устойчивото развитие** – поетапното използване на ресурса чрез многократна екстракция и комбинирано багрене може да допринесе за по-икономично и екологично отговорно приложение на естествените багрила.

		Номер на експеримент (от таблица 6)																									
		26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
Л																											
П																											
К																											
В																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Л																											
П																											
К																											
В																											

Л – лен П – памук К – коприна В – вълна

Фигура 2. Цветова палитра, създадена от експерименталните мостри. Обобщена визуализация на резултатите, улесняваща сравняването и практическото приложение на получените цветове. Следва да се има предвид, че цветовете може да се различават от реалните нюанси на мострите поради ограничения на дигиталната репродукция.

Перспективата за бъдещи изследвания включва разширяване на експериментите към други багрилни растения, системно сравнение на различни видове влакна и по-задълбочен анализ на взаимодействието между танини, метални соли и багрилни молекули. Обединяването на химия, текстилна технология, етнографски данни и устойчив дизайн очертава пътя към по-пълно разбиране на естественото багрене и неговото съвременно значение.

БИБЛИОГРАФИЯ:

- [1] Ali, A., Akhtar, N., & Khan, B.A. (2009). Pharmaceutical and cosmetic uses of *Acacia catechu* Willd. *Journal of Medicinal Plants Research*, 3(9), 625–63[1]
- [2] Ali, M. A., & El-Mohamedy, R. S. R. (2016). Eco-friendly dyeing of natural fabrics using environmentally benign mordants and natural dyes. *Egyptian Journal of Chemistry*, 59(6), 1057–1067. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2016.1089>
- [3] Araujo, R., Faria, D. L. A., & Mei, L. H. I. (2015). Eco-dyeing of cotton with anthraquinone dyes extracted from *Rubia tinctorum* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(9), 6916–6925. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3864-6>
- [4] Bechtold, T., & Mussak, R. (2009). *Handbook of Natural Colorants*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781444301730>
- [5] Bechtold, T., Turcanu, A., Ganglberger, E., & Geissler, S. (2003). Natural dyes in modern textile dyehouses – how to combine experiences of two centuries to meet the demands of the future? *Journal of Cleaner Production*, 11(5), 499–509. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00075-5](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00075-5)
- [6] Botanical Colors. (n.d.). Tips on using madder. Retrieved from <https://botanicalcolors.com/using-madder/>
- [7] Cardon, D. (2007). *Natural Dyes: Sources, Tradition, Technology and Science*. Archetype Publications. ISBN: 9781904982005
- [8] Castañeda, H. L., & Hilliou, L. (2023). Natural dye extraction methods: A review of sustainability metrics and techniques. *Sustainable Chemistry*, 4(1), 122–140. <https://doi.org/10.3390/suschem4010009>
- [9] Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound-assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540–560. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
- [10] Chengaiah, B., Rao, K. M., Kumar, K. M., Alagusundaram, M., & Chetty, C. M. (2010). Medicinal importance of natural dyes – A review. *International Journal of PharmTech Research*, 2(1), 144–154.
- [11] Chequer, F. M. D., de Oliveira, G. A. R., Anas-

Present development was carried out in implementation of a project under the Erasmus+ program during the partnership united by project No. 2025-1-BG01-KA210-ADU-000363229 with the operating organization of the National Agency for Human Resources Development Centre in Sofia.

- tácio Ferraz, E. R., Cardoso, J. C., Zanoni, M. V. B., & de Oliveira, D. P. (2013). Textile dyes: Dyeing process and environmental impact. In *Eco-friendly textile dyeing and finishing* (pp. 151–176). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/53659>
- [12] Dean, J. (2020). *Wild Color: The Complete Guide to Making and Using Natural Dyes*. Watson-Guptill Publications. ISBN: 9780823058798
- [13] Dutta, R. (2015). Chemical constituents of *Rubia cordifolia* and their pharmacological properties: A review. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(9), 1–6.
- [14] El-Shishtawy, R. M. (2009). Natural dyeing of cotton fabrics with eco-friendly dyes using ultrasonic energy. *Ultrasonics Sonochemistry*, 16(6), 801–809. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.01.1004>
- [15] Ferreira, E. S. B., Hulme, A. N., McNab, H., & Quye, A. (2004). The natural constituents of historical textile dyes. *Chemical Society Reviews*, 33(6), 329–336. <https://doi.org/10.1039/b305697j>
- [16] Ferreira, I.C.F.R., Baptista, P., Vilas-Boas, M., & Barros, L. (2007). Free-radical scavenging capacity and reducing power of wild edible mushrooms from northeast Portugal: Individual phenolic compounds contribution. *Food Chemistry*, 100(4), 1511–1516.
- [17] Geelani, S., & Zargar, N. (2021). Eco-friendly dyeing of cotton with natural dyes: A review. *Materials Today: Proceedings*, 46(7), 2822–2827. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.11402>
- [18] Gulrajani, M. L. (Ed.). (2010). *Natural Dyes and Their Applications to Textiles*. Indian Institute of Technology, Delhi. ISBN: 9788185860372
- [19] Hofenk de Graaff, J. H. (2004). *The Colourful Past: Origins, Chemistry and Identification of Natural Dyestuffs*. Archetype Publications. ISBN: 9781873132995
- [20] Inoue, K., Morita, Y., & Tanaka, R. (2010). Anthraquinones from the roots of *Rubia tinctorum* and their biological activities. *Natural Product Communications*, 5(6), 961–964.
- [21] Inoue, Y., Matsumura, Y., & Masamoto, K. (2010). Extraction and identification of alizarin and purpurin from madder root using supercritical carbon dioxide. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 43(9), 749–753. <https://doi.org/10.1252/jcej.10we001>

- [22] Kane, J. (2007). *The Colour of Clothes: Dyes and Dyeing in the Middle Ages*. Boydell Press. ISBN: 9781843832890
- [23] Kassia, A., & Kallithraka, S. (2015). A study of the influence of solvent on the extraction of anthraquinones from madder roots. *Dyes and Pigments*, 113, 480–485. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2014.09.004>
- [24] Koleva, I.I., Niederländer, H.A.G., & van Beek, T.A. (2008). An online HPLC method for detection of radical scavenging compounds in complex mixtures. *Analytical Chemistry*, 80(21), 8171–8177.
- [25] Kumar, K.S., Bhowmik, D., Duraivel, S., & Umadevi, M. (2019). Traditional and medicinal uses of *Terminalia chebula*. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 7(2), 102–106.
- [26] Kumar, P., & Sharma, S. (2020). Application of microwave-assisted extraction technique for natural dye from madder root and its dyeing behaviour on wool. *Textile Research Journal*, 90(19–20), 2260–2273. <https://doi.org/10.1177/0040517519884782>
- [27] Maiwa School of Textiles. (n.d.). *Rubia tinctorum – Madder root*. Retrieved from <https://maiwa.com/products/madder-root-rubia-tinctorum>
- [28] Masawaki, H., Ichino, K., & Fukui, H. (1996). Extraction of natural dyes from *Rubia tinctorum* with aqueous ethanol and its application to silk dyeing. *Dyeing Technology*, 20(3), 17–23.
- [29] Masawaki, T., Kuwahara, S., & Nakamura, T. (1996). Extraction and identification of anthraquinone dyes from *Rubia tinctorum*. *Dyes and Pigments*, 30(1), 15–25.
- [30] Nawaz, M., & Shabbir, M. (2015). Natural dyes for textile applications. In M. Clark (Ed.), *Handbook of Textile and Industrial Dyeing* (Vol. 1, pp. 89–116). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857097585.1189>
- [31] Padma, S. V., & Chinta, S. K. (2022). Extraction of natural dyes using green solvents: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 20, 1401–1422. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01292>
- [32] Ranganathan, S., & Subramanian, S. (1988). Studies on tannins from oak galls (*Quercus infectoria*). *Fitoterapia*, 59(2), 147–150.
- [33] Rastogi, S. C., & Gupta, B. (2004). Influence of metal ions on color and fastness properties of madder dyed cotton. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 29(3), 298–302. <https://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/30153>
- [34] Rastogi, S., & Gupta, S. (2004). Natural anthraquinones and their pharmacological activities – a review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 39(5), 435–442.
- [35] Samanta, A.K., & Agarwal, P. (2009). Application of natural dyes on textiles. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 34(4), 384–399.
- [36] Sarkar, A. K. (2004). An overview on dye fastness of natural dyes on textiles. *Coloration Technology*, 120(5), 177–195. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2004.tb00172.x>
- [37] Shahid, M., & Mohammad, F. (2013). Recent advancements in natural dye applications: A review. *Journal of Cleaner Production*, 53, 310–331 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.019>
- [38] Sharma, A., & Verma, P. (2015). Role of mordants in dyeing of textiles with natural dyes. *International Journal of Current Research*, 7(6), 17006–17011 [1]
- [39] Sharma, K., & Verma, A. (2015). Phenolic compounds and their role in plant defense: a review. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 6(6), 1–9.
- [40] Sharma, R. K., & Grover, E. (2011). Optimization of natural dye extraction from madder root using response surface methodology. *Natural Product Research*, 25(17), 1660–1668. <https://doi.org/10.1080/14786419.2010.545010>
- [41] Singh, R., Jain, A., Panwar, S., Gupta, D., & Khare, S.K. (2010). Antimicrobial activity of *Rubia cordifolia* against Gram positive and Gram negative bacteria. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 72(6), 762–765.
- [42] Siva, R. (2007). Status of natural dyes and dye-yielding plants in India. *Current Science*, 92(7), 916–925. <https://www.jstor.org/stable/24092712>
- [43] Van Beek, T.A., Verpoorte, R., Baerheim Svendsen, A., & Svendsen, A. B. (2003). Distribution of alizarin and purpurin in madder root. *Phytochemistry*, 42(5), 1203–1207. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(96\)00067-4](https://doi.org/10.1016/0031-9422(96)00067-4)
- [44] Van Beek, T.A., & Leclercq, E. (2003). *Rubia tinctorum* L. – Studies on extraction and analysis of dye components. *Phytochemical Analysis*, 14(1), 1–7.
- [45] Wouters, J., & Verhecken, A. (1991). The cocoid insect dyes: HPLC and computerized diode-array analysis of dyed yarns. *Studies in Conservation*, 36(2), 99–112. <https://doi.org/10.2307/1506340>
- [46] Wouters, J., & Verhecken, A. (1991). The Cocoid insect dyes: HPLC and computerized diode-array analysis of dyed yarns. *Studies in Conservation*, 36(4), 163–177.
- [47] Георгиева, С. (2014). Багрнето с растителни багрила – устойчив път към миналото и бъдещето. *Текстил и облекло*, 62(3), 17–22.
- [48] Карагюзян, А. (2020). Природни багрила и тяхното приложение върху текстилни влакна. *Научни трудове на Русенския университет*, 59(4.1), 145–150.
- [49] Митева, Г., & Стоянова, Н. (2021). Традиции и иновации в използването на растителни багрила в текстилния дизайн. *Известия на БАН, Изкуствознание*, 1, 95–107.