

Mateja Kert

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, grafiko in oblikovanje, Snežniška 5, 1000 Ljubljana, Slovenija

Barvanje in tiskanje svilene tkanine s tržnimi naravnimi barvili za izdelavo barvnih kart

Dyeing and Printing of Silk Fabric with Commercial Natural Dyes for Colour Cards Design

Strokovni članek/Professional article

Prispelo/Received 1–2026 • Sprejeto/Accepted 1–2026

Korespondenčna avtorica/Corresponding author:

doc. dr. Mateja Kert

E-pošta: mateja.kert@ntf.uni-lj.si

ORCID iD: 0000-0003-0426-3193

Izvleček

V prispevku je predstavljen postopek barvanja in tiskanja svilene tkanine z naravnimi barvili ter testiranje najpogostejših barvnih obstojnosti (suho in mokro drgnjenje, pranje in svetloba) za izdelavo barvnih kart. Uporabljenih je bilo sedem tržnih naravnih barvil rastlinskega izvora v prahasti obliki. Barvanje in tiskanje je bilo izvedeno brez predhodne priprave vodnega izvlečka naravnega barvila. Raziskava je pokazala, da so izbrana tržna naravna barvila primerna tako za barvanje kot tiskanje svilene tkanine. Vizualne ocene barvnih obstojnosti so pokazale, da so obstojnosti močno odvisne od vrste rastline in vrste postopka nanosa. Za izboljšanje barvnih obstojnosti so nujno potrebne obdelave s čimžami (kovinske soli ali naravne čimže), ki zagotovijo večje izčrpanje barvila med postopkom barvanja in večje fiksiranje barvil med postopkom tiskanja ter močnejše interakcije barvilo-vlakno pri obeh postopkih aplikacije.

Ključne besede: barvanje, tiskanje, naravno barvilo, svila, barvna karta

Abstract

The dyeing and printing of silk fabrics with natural dyes, as well as their colour fastness to dry and wet rubbing, washing and light, were tested for the design of two colour cards. Seven commercial plant-based natural dyes in powder form were used. The dyeing and printing were performed without prior preparation of an aqueous extract of the natural dye. The results of the dyed and printed samples, together with the colourfastness tests, showed that the selected natural dyes are suitable for the dyeing and printing of silk fabrics. Visual grades of the performed colourfastness tests indicated that the results depend largely on the plant type and the application procedure used. To improve the colourfastness properties of dyed and printed silk fabrics, the use of mordants (metal salts or bio-mordants) is crucial, as they ensure higher exhaustion of natural dyes during the dyeing and better fixation during the printing, thus strengthening dye-fibre interactions in both application processes.

Keywords: dyeing, printing, natural dye, silk, colour card



Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution CC BY 4.0 licence (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Authors retain ownership of the copyright for their content, but allow anyone to download, reuse, reprint, modify, distribute and/or copy the content as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publisher. This journal does not charge APCs or submission charges.

1 Uvod

Svila je naravno beljakovinsko vlakno, pridobljeno iz kokonov, v katerega se ličinka metulja sviloprejke *Bombix mori* zabubi, predno se preobrazi v metulja [1]. Svilene tkanine se odlikujejo po edinstvenem lesku, lahкости, gladкости, prijetnem otipu, mehkosti in lastnostih drapiranja [2, 3]. V tekstilstvu se svilena vlakna uporabljajo že skoraj 5000 let [4]. Na človeški koži občutimo svilenost tkanino kot drugo kožo [5]. Svilene tkanine so prepustne za zrak, zagotavljajo izjemne toplotnoregulacijske lastnosti, nase vežejo visok odstotek vlage iz okolja, zaradi česar so oblačila iz teh vlaken udobna in prijetna za nošenje [3]. Svilo pogosto barvamo in tiskamo s kislimi, kovinsko kompleksnimi, reaktivnimi, direktnimi in naravnimi barvili [6]. Naravna barvila so organske spojine, pridobljene iz različnih delov rastlin (cvet, list, steblo, korenina, lubje, sadež), živali (ribe, mehkužci, členonožci in insekti – šelaj, košeniljka), mikroorganizmov (bakterije, alge in glive v primerjavi s sintetičnimi barvili [7, 9, 13, 15].) in mineralov (cinabarit, aerinit in lapis lazuri) [7–12]. Od začetka civilizacije so se naravna barvila uporabljala za barvanje in tiskanje različnih materialov, zlasti v tekstilni industriji [13]. Z odkritjem sintetičnega barvila (leta 1856) se je razmahnila sinteza sintetičnih barvil, zato so naravna barvila izgubila na pomenu. Sintetična barvila se odlikujejo po dobri barvni obstojnosti, enakomernosti obarvanja, ponovljivosti barv in odtenkov, kar za naravna barvila ne drži. Poznejša odkritja o škodljivosti sintetičnih barvil tako za človeka kot okolje zaradi karcinogenosti, mutagenosti in nezmožnosti biorazgradnje [7, 13] in čedalje večje skrbi za ohranitev okolja ter vpeljavajo trajnostnih postopkov v različne industrije, naravna barvila znova pridobivajo na svojem pomenu. Kljub zagotavljanju slabe barvne ponovljivosti, slabe svetlobne in pralne obstojnosti [14] pa se naravna barvila pridobivajo iz obnovljivih virov ter iz biorazgradljivih snovi, so okolju prijazna, manj strupena, v primerjavi s sintetičnimi barvili [7, 9, 13, 15] manj toksična, biorazgradljiva, ne povzročajo alergijskih

reakcij. Poleg naštetega zagotavljajo naravna barvila tudi zaščito pred ultravijoličnimi žarki, bakterijami in so dobri antioksidanti [7, 13, 15].

Namen raziskave je bil pobarvati in potiskati svilenostno tkanino s tržnimi prahastimi naravnimi barvili rastlinskega izvora in jih uporabiti pri izdelavi barvnih kart. Barvila so bila uporabljena brez predhodne priprave vodnega ekstrakta. Pri obeh postopkih nanosa sta bili uporabljene dve koncentraciji barvila. Barvne obstojnosti pobarvanih in potiskanih tkanin pri mokrem in suhem drgnjenju, pranju ter na svetlobi so bile testirane v skladu z ustreznimi standardi SIST EN ISO. Izdelani barvni karti vključujeta pobarvane in potiskane vzorce svilene tkanine pri dveh različnih koncentracijah naravnega barvila, tržna imena uporabljenih naravnih barvil ter vizualne ocene testiranih barvnih obstojnosti.

2 Eksperimentalni del

2.1 Materiali

2.1.1 Tkanina

Pri barvanju in tiskanju smo uporabili tkanino iz 100-odstotne svile posrednika Luma d.o.o. s ploščinsko maso 70 g/m², v vezavi saten.

2.1.2 Barvila

Za obarvanje in tiskanje svilene tkanine smo uporabili sedem rastlinskih barvil posrednika Dena iz Turčije. Barvila so bila v obliki finega prahu in so bila

Preglednica 1: Naravna barvila, uporabljena v raziskavi

Ime naravnega barvila	Deli rastlin in sadežev kot vir naravnega barvila
Eco beige	orehove lupine
Sun Yellow	cvetovi rastline žametnice (lat. <i>Tagetes patula</i>)
Eco Saffron	cvetovi rastline <i>Bixa Orellana</i>
Jaipur pink	skorja palme <i>Areca Catechu</i>
Olive green	listi cvetoče murve (družina <i>Moraceae</i>)
Garnett brown	lupina granatnega jabolka
Grey G	hibiskus

kot taka uporabljena v postopku barvanja in tiskanja za izdelavo barvnih kart. V preglednici 1 so podana tržna imena barvil in rastline oziroma deli rastlin in sadežev, iz katerih so pridobljena.

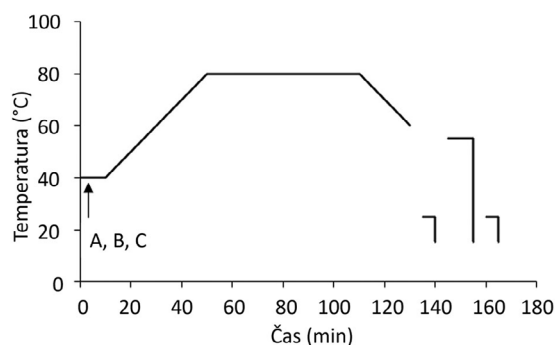
2.1.3 Pomožna sredstva

Za pripravo barvalne kopeli smo poleg barvila uporabili še ocatno kislino (CH_3COOH 80 %) za doseg vrednosti pH. Za pripravo tiskarske paste smo uporabili zgostilo poligalaktomananski eter (Prisulon DCA 130, CHT, Švica) v 13-% koncentraciji, sečnino za povečanje topnosti barvila, raztopino amonijevega sulfata ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) za boljše vezanje naravnih barvil na svileno tkanino in higroskopno sredstvo tiodiglikol (Glyezin A, BASF, Nemčija).

2.2 Metode dela

2.2.1 Barvanje

Barvanje vzorcev svilene tkanine z maso 5 g smo izvedli v laboratorijskem barvalniku Starlet-2 (Daenlim, Korea) v skladu z diagramom barvanja, prikazanim na sliki 1. Barvanje smo izvedli pri kopelnem razmerju 1 : 40 in pH 4. Uporabili smo dve koncentraciji barvila, in sicer 2 g/L in 20 g/L. Pri optimalni temperaturi barvanja 80 °C smo vzorce svilene tkanine barvali 60 minut. Po barvanju smo vzorce pet minut spirali s hladno vodo ($T = 25$ °C), 10 minut s toplo vodo ($T = 55$ °C) in pet minut s hladno vodo ($T = 25$ °C). Z izpiranjem smo s površine tkanine odstranili nevezano barvilo. Vzorce smo



Slika 1: Diagram barvanja svilene tkanine z naravnimi barvili (A - CH_3COOH 80 %, B - omočena in ožeta svilena tkanina, C - raztopina barvila)

nato posušili na zraku pri sobni temperaturi na ravni podlagi. Na sliki 1 je prikazan diagram barvanja.

2.2.2 Tiskanje, fiksiranje in naknadne obdelave

Priprava tiskarske paste

V preglednici 2 je podana receptura tiskarske paste. Uporabili smo dve koncentraciji barvila, in sicer 10 g/kg in 40 g/kg.

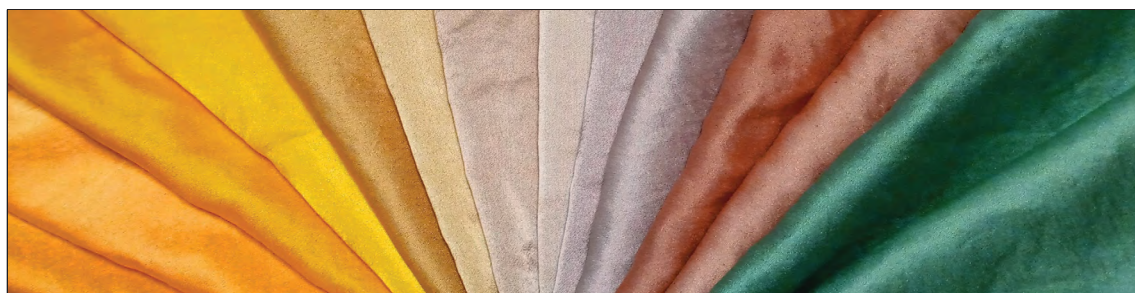
Preglednica 2: Sestava tiskarske paste

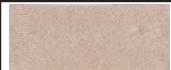
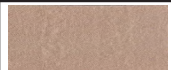
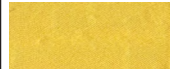
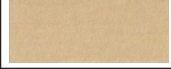
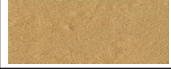
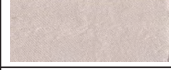
Količina (g)	Sestavina
500	Prisulon DCA 130 13%
100	sečnina
60	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1:2
x	barvilo
y	H_2O
50	Glyezin A
1000	SKUPAJ

Tiskarsko pasto smo pripravili po komponentah. V zgostilo smo med mešanjem z električnim mešalnikom Tehnica UM 405 (Železniki, Slovenija) dodali sečnino, raztopino amonijevega sulfata, raztopino barvila in higroskopno sredstvo. Tiskarsko pasto smo mešali toliko časa, da smo dobili homogeno zmes. Barvilo smo pred dodatkom v tiskarsko pasto raztopili v vročo vodo in nato še s hladno. Ohlajeno raztopino barvila smo med mešanjem vlili v tiskarsko pasto. Količina vode za pripravo raztopine barvila je variirala glede na koncentracijo barvila.

Tiskanje in naknadne obdelave

Vzorce svilene tkanine smo potiskali na elektromagnetni tiskarski mizi Mini MDF R390 (Johannes Zimmer, Avstrija) pri naslednjih nastavitvah stroja, in sicer, manjši premer rakla, stopnja magnetne sile 4 in hitrost elektromagneta 80 %. Uporabljena je bila šablona s finostjo 77 niti/cm. Vzorce smo potiskali z enkratnim potegom valjčnega rakla s premerom 4 mm. Po tiskanju smo vzorce svilene tkanine normalno parili 20 minut v laboratorijskem parilniku Mini dryer HMD 360 (Fanyuan Instrument, Kitajska). Nato smo potiskane vzorce svilene tkanine spirali



KONCENTRACIJA BARVILA		Barvilo	DRGNJENJE (ISO 105-X12)				PRANJE (ISO 105-C06)			SVETLOBA (ISO 105-B02)
2 g/L	20 g/L		SUHO		MOKRO		SSF ^{a)}	SCF ^{b)}	CC ^{c)}	
			OSNOVA	VOTEK	OSNOVA	VOTEK				
		Eco beige	4/5	4/5	4	3/4	4	4/5	4	4
		Sun yellow	5	3	3	2/3	3/4	2	3/4	2
		Eco saffron	4	3	3/4	1/2	3	1/2	2	2
		Jaipur pink	1	1	2	1/2	4	4/5	4/5	3
		Olive green	4	3	4	3/4	4	3/4	4/5	1
		Garnett brown	4/5	3/4	4	3	4	3/4	4/5	3
		Grey G	5	4/5	4/5	4	4	4/5	3	1

^{a)} Prehod barvila na svileno tkanino, ^{b)} prehod barvila na bombažno tkanino, ^{c)} sprememba barve vzorca

Slika 2: Barvna vzorčna karta svilene tkanine, pobarvane s proučevanimi tržnimi naravnimi barvili

s hladno in toplo tekočo vodo ($T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Sledilo je 15-minutno miljenje pri $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ z 1 g/l neionskega pralnega sredstva ter ponovno izpiranje s toplo in nato še hladno tekočo vodo. Vzorce smo nato posušili na zraku pri sobni temperaturi. Za izdelavo barvne karte smo vzorce še polikali pri $T = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.3 Testiranje barvnih obstojnosti

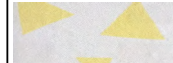
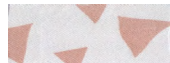
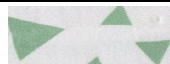
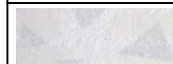
Pobarvani in potiskani vzorci svilenih tkanin z višjimi koncentracijami barvila (barvani z 20 g/L barvila in potiskani s 40 g/kg barvila) so bili izpostavljeni testiranju barvnih obstojnosti pri drgnjenju, pranju in na svetlobi. Barvna obstojnost pri drgnjenju je bila izvedena v skladu s standardom SIST EN ISO 105-X12:2016, barvna obstojnost pri pranju je bila izvedena v skladu z metodo A1S standarda SIST EN ISO 105-C06:2012 in barvna obstojnost na umetni svetlobi je bila izvedena v skladu

s standardom SIST EN ISO B02:2014. Po izvedenih tekstiranjih so bili testirani preizkušanci vizualno ocenjeni z uporabo sivih lestvic za ocenitev prehoda obarvanja spremljajočih tkanin (standard SIST EN ISO 105-A03:2019) in za ocenitev spremembe barve (standard SIST EN 20105-A02:1996). Pri vizualni oceni barvne obstojnosti preizkušancev na svetlobi smo uporabili modro volneno lestvico, ki je osemstopenjska, kjer ocena 8 pomeni odlično barvno obstojnost in ocena 1 najslabšo barvno obstojnost na svetlobi.

2.4 Izdelava barvnih kart

Iz pobarvanih in potiskanih vzorcev tkanin smo izrezali vzorčke v velikosti $5,5\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ in jih nalepili na lepenco, ki je vključevala ime barvila, koncentracijo barvila ter preglednico, v kateri so bile podane vizualne ocene testirane barvne obstojnosti.



KONCENTRACIJA BARVILA		Barvilo	DRGNJENJE (ISO 105-X12)				PRANJE (ISO 105-C06)			SVETLOBA (ISO 105-B02)
10 g/kg	40 g/kg		SUHO		MOKRO		SSF ^{a)}	SCF ^{b)}	CC ^{c)}	
			OSNOVA	VOTEK	OSNOVA	VOTEK				
		Eco beige	4/5	4	4/5	4	4	4/5	4/5	3
		Sun yellow	5	5	5	5	4/5	4	4/5	2
		Eco saffron	5	5	5	5	4/5	3	4	2
		Jaipur pink	4	4	3/4	3/4	4/5	4/5	4/5	1
		Olive green	4/5	4	4/5	4	4/5	4/5	4/5	1
		Garnett brown	3/4	3/4	4	4	3	3/4	3/4	2
		Grey G	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4/5	3	1

^{a)} Prehod barvila na svileno tkanino, ^{b)} prehod barvila na bombažno tkanino, ^{c)} sprememba barve vzorca

Slika 3: Barvna vzorčna karta svilene tkanine, potiskane s proučevanimi tržnimi naravnimi barvili

3 Rezultati z razpravo

Na slikah 2 in 3 sta prikazani vzorčni karti svilene tkanine, pobarvane in potiskane s proučevanimi tržnimi naravnimi barvili.

S slik 2 in 3 je razvidno, da so uporabljena tržna naravna barvila primerna za barvanje in tiskanje svilene tkanine. Čeprav pred barvanjem nismo pripravili vodnega ekstrakta barvila, temveč je bilo barvilo uporabljeno v obliki, kot je bilo dobavljeno, so vzorci vizualno enakomerno obarvani. Med uporabljenima koncentracijama barvila smo vizualno zaznali razliko v svetlosti obarvanja. Vizualne cene barvnih obstojnosti pobarvanih in potiskanih tkanin pri pranju, drgnjenju in na svetlobi, zbrane na slikah 2 in 3, se med seboj razlikujejo.

Vizualne ocene kažejo, da so obarvani vzorci pri

drgnjenju dobro do odlično barvno obstojni (ocene od 3 do 5), z izjemo vzorca, obarvanega z barvilom Jaipur Pink, kjer je opazna najslabša obstojnost (ocena 1). Vizualne ocene tudi kažejo, da so obarvani vzorci barvno bolj obstojni pri suhem kot pri mokrem drgnjenju, izjema je vzorec, obarvan z barvilom Jaipur pink, ki je izjemno slabo obstojen pri suhem drgnjenju (ocena 1). Prav tako so obarvani vzorci svilene tkanine dobro do zelo dobro barvno obstojni pri pranju (ocene od 3 do 4/5), izjema je vzorec, obarvan z barviloma Eco saffron, katerega obstojnost je slaba (ocena 2). Obarvani vzorci so zelo slabo barvno obstojni na svetlobi (ocene od 1 do 4). Najvišjo barvno obstojnost na svetlobi je dosegel vzorec, obarvan z barvilom Eco beige (ocena 4), najnižjo pa vzorca, obarvana z barviloma Olive green in Grey G (ocena 1). K izboljšanju barvne ob-

stojnosti bi zagotovo pripomogla uporaba naravnih biočimž [16, 17] ali klasičnih kovinskih soli [18], katerih obdelava bi se lahko izvedla pred barvanjem, med njim ali po njem, čeprav izsledki različnih raziskav barvanja svilene tkanine z naravnimi barvili kažejo, da so dosežene najboljše barvne obstojnosti pri obdelavi svilene tkanine s kovinskimi solmi [16, 19]. Razlog je v tvorbi kovinskega kompleksa med barvilom in kovinskim ionom, zaradi česar se barvilo v večji meri veže na svileni tkanino. Znano je, da imajo naravna barvila maloštevilne funkcionalne skupine, prek katerih se lahko vežejo na funkcionalne skupine tekstilnih vlaken. Od jakosti interakcij, ki se tvorijo med barvilom in tekstilnim vlaknom, pa je odvisna barvna obstojnost tekstilij predvsem pri mokrih obdelavah, kot sta pranje in mokro drgnjenje.

V nasprotju z obarvanimi vzorci pa je vizualna ocena barvne obstojnosti potiskanih vzorcev nekoliko drugačna (slika 3). Potiskani vzorci so dobro do odlično barvno obstojni pri suhem in mokrem drgnjenju (ocene od 3/4 do 5) ter dobro do zelo dobro barvno obstojni pri pranju (ocene od 3 do 4/5). Najslabša barvna obstojnost potiskanih vzorcev je bila določena na umetni svetlobi, saj je bila najvišja dosežena ocena 3 pri vzorcu, potiskanem z barvilom Eco beige, medtem ko so trije vzorci imeli najslabšo barvno obstojnost na svetlobi (ocena 1), in sicer vzorci svilene tkanine, potiskani z barvili Jaipur pink, Olive green in Grey G. Pri tem je treba poudariti, da so bila nekatera barvila bolj in nekatera slabše topna v tiskarski pasti, kar posledično vpliva na prehajanje barvila v vlakna. Poudariti je treba tudi, da je bilo testiranje barvne obstojnosti izvedeno na vzorcih, ki so bili po celotni površini potiskani, brez vmesnih nepotiskanih mest.

Razlike v barvni obstojnosti potiskanih in pobarvanih tkanin smo pripisali sestavi tiskarske paste, koncentraciji barvila ter pogojem barvanja in tiskanja, ki so pripomogli k odstopanju v vizualnih ocenah proučevane barvne obstojnosti.

4 Sklep

Raziskava je pokazala, da so proučevana tržna naravna barvila primerna tako za barvanje kot tudi za tiskanje svilene tkanine. Nadaljnje raziskave so potrebne za določitev optimalne koncentracije barvila v barvalni kopeli in tiskarski pasti. Za izboljšanje barvne obstojnosti so zagotovo potrebne obdelave s klasičnimi čimžami, kot so kalijev aluminijev sulfat dodekahidrat, aluminijev sulfat in železov sulfat heptahidrat ter z biočimžami (naravni tanini, jajčne lupine in sojino mleko).

Raziskava je bila izvedena v okviru velikega interdisciplinarnega projekta Univerze v Ljubljani z naslovom Nova evropska svila (NES).

Viri

1. Pereira, R. F. P., Silva, M. M., & de Zea Bermudez, V. (2015). Bombyx mori silk fibers: An outstanding family of materials. *Macromolecular Materials and Engineering*, 300, 1171–1198. <https://doi.org/10.1002/mame.201400276>
2. El-Sayed, H., Mowafi, S., El-Fiky, A. F., & Khalil, E. M. (2022). Low temperature water-saving bio-degumming of natural silk using thermophilic protease. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 27, 100681. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100681>
3. Borah, S., Bhuyan, P. M., Sarma, B., Hazarika, S., Gogoi, A., & Gogoi, P. (2023). Sustainable dyeing of mulberry silk fabric using extracts of green tea (*Camellia sinensis*): Extraction, mordanting, dyed silk fabric properties and silk-dye interaction mechanism. *Industrial Crops and Products*, 205, 117517. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117517>
4. Lewin, M. (Ed.). (2007). *Handbook of fiber chemistry* (3rd ed., p. 384). CRC Press.
5. Huang, Q., Wang, Z., Zhao, L., Li, X., Cai, H., Yang, S., Yin, M., & Xing, J. (2024). Environ-

- mental dyeing and functionalization of silk fabrics with natural dye extracted from lac. *Molecules*, 29(10), 235. <https://doi.org/10.3390/molecules29102358>
6. Clark, M. (Ed.). (2011). *Handbook of textile and industrial dyeing: Vol. 1. Principles, processes and types of dyes* (p. 54). Woodhead Publishing.
 7. Hossain, S., Jalil, M. A., Mahmud, R. U., & Kader, A. (2024). Natural dyeing of silk and jute fabric with the aqueous extract of coconut leaves—An eco-friendly approach. *Pigment & Resin Technology*, 53(5), 631–637. <https://doi.org/10.1108/PRT-10-2022-0125>
 8. Teklemedhin, T. B., & Gopalakrishnan, L. H. (2018). Environmental friendly dyeing of silk fabric with natural dye extracted from *Cassia singueana* plant. *Journal of Textile Science & Engineering*, 3, 1. <https://doi.org/10.4172/2165-8064.S3-001>
 9. Adeela, S., Rehman, F.-u., Hameed, A., Habib, N., Kiran, S., Zia, K. M., & Zuber, M. (2020). Sustainable extraction and dyeing of microwave-treated silk fabric using arjun bark colorant. *Journal of Natural Fibers*, 17(5), 745–758. <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1534182>
 10. Habib, N., Batool, F., Adeel, S., Naveed, M., Ali, A., Mia, R., & Assiri, M. A. (2024). Green extraction and application of yellow natural curcumin colorant from *Curcuma aromatica* rhizomes for silk dyeing. *Scientific Reports*, 14, 13032. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63927-7>
 11. Li, N., Wang, Q., Zhou, J., Li, S., Liu, J., & Chen, H. (2022). Insight into the progress on natural dyes: Sources, structural features, health effects, challenges, and potential. *Molecules*, 27(10), 3291. <https://doi.org/10.3390/molecules27103291>
 12. Pizzicato, B., Pacifico, S., Cayuela, D., Mijas, G., & Riba-Moliner, M. (2023). Advancements in sustainable natural dyes for textile applications: A review. *Molecules*, 28(16), 5954. <https://doi.org/10.3390/molecules28165954>
 13. Do, K. L., Su, M., Mushtaq, A., & Zhao, F. (2023). Dyeing of silk with natural lac dye from *Laccifer lacca* Kerr. and evaluation of antibacterial and UVprotective properties. *Fibers and Polymers*, 24, 2773–2783. <https://doi.org/10.1007/s12221-023-00254-0>
 14. Mabuza, L., Sonnenberg, N., & Marx-Pienaar, N. (2023). Natural versus synthetic dyes: Consumers' understanding of apparel coloration and their willingness to adopt sustainable alternatives. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 18, 200146. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200146>
 15. Adeel, S., Habib, N., Arif, S., Rehman, F. ur, Azeem, M., Batool, F., & Amin, N. (2020). Microwave-assisted eco-dyeing of bio mordanted silk fabric using cinnamon bark (*Cinnamomum verum*) based yellow natural dye. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 17, 100306. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100306>
 16. Hossen, M. R., & Akter, S. (2026). Sustainable dyeing of silk fabric with mango leaf extract: Comparative assessment of natural and metallic mordants on colorimetric and fastness properties. *Progress in Color, Colorants and Coatings*, 19(2), 231–246. <https://doi.org/10.30509/pccc.2025.167632.1433>
 17. Rehman, F.-ur., Adeel, S., Liaqat, S., Hussaan, M., Mia, R., Ahmed, B., & Wafa, H. (2022). Environmentally friendly bio-dyeing of silk using *Alkanna tinctoria* based alkannin natural dye. *Industrial Crops and Products*, 186, 115301. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115301>
 18. Huang, Q., Wang, Z., Zhao, L., Li, X., Cai, H., Yang, S., Yin, M., & Xing, J. (2024). Environmental dyeing and functionalization of silk fabrics with natural dye extracted from lac. *Molecules*, 29(10), 2358. <https://doi.org/10.3390/molecules29102358>
 19. Khatun, M. H., & Mostafa, M. G. (2022). Optimization of dyeing process of natural dye extracted from *Polyalthia longifolia* leaves on silk and cotton fabrics. *Journal of Natural Fibers*, 19(16), 12996–13011. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2081281>