

# 辐照技术在天然染料提取和染色中的应用

柳疆梅, 张曼宁, 翟书恒, 张 剑, 徐照航, 贾丽霞, 肖远淑, 单国华

(新疆大学 纺织与服装学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

**摘要:** 辐照技术是一种新型的加工处理技术,具有无污染、用水少、化学品用量低、能耗低、处理速度快、操作简便等特点。综述了辐照技术(包括超声波、微波、伽马射线、等离子体、紫外线)在天然染料提取和促进染色方面的研究现状。认为辐照技术可以有效提高天然染料提取率,改善上染率,提高染色牢度。将辐照技术应用在天然染料提取和染色过程中,可以节水节能,同时促进天然染料在纺织工业中的应用。

**关键词:** 辐照技术; 染色; 天然染料; 提取; 助染; 表面改性

中图分类号: TS101.3

文献标识码: B

文章编号: 1001-2044(2018)07-0001-04

DOI:10.16549/j.cnki.issn.1001-2044.2018.07.001

## Application of irradiation methods in the extraction and dyeing of natural dyes

LIU Jiangmei, ZHANG Manning, QU Shuheng, ZHANG Jian,

XU Zhaohang, JIA Lixia, XIAO Yuanshu, SHAN Guohua

(College of Textile and Clothing, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** Irradiation method is an innovative processing technology which has a lot of advantages, such as few waste produce, water free, no chemical use, less energy consuming, high treating speed, ease to operate. The research status of different irradiation-based technologies such as ultrasound, microwave, gamma, plasma, and ultraviolet used for efficient extraction of natural dyes and excellent improvement of dyeing performances are reviewed. It is obvious that irradiation method could largely prompt the extraction of dyes from vegetables, improve the dyeability of fabrics, and strengthen the color fastness. The application of irradiation method in the extraction of natural dyes and dyeing process would save water and energy, largely promote the rapid application of natural dyes in the textile industry.

**Key words:** irradiation technology; dyeing; natural dyes; extraction; assisted dyeing; surface modification

天然染料有着悠久的历史,但之后出现的合成染料,因具有色谱齐全、色泽鲜艳、染色牢度好、价格低廉等优点逐渐取代了天然染料。然而,合成染料会污染环境,在日益严峻的环保问题面前,天然染料又逐渐被人们所重视。天然染料来源广,有些还具有特殊功能,比如抗菌、抗紫外、抗氧化等,这些都使天然染料在纺织品的染色和功能整理领域有着广泛的应用前景<sup>[1-9]</sup>。

天然染料提取困难、上染率低、染色牢度不高,限制了其在纺织工业中的应用推广。传统天然染料水提法效率低、耗时、耗能。传统媒染法可以提高染色牢度,但金属媒染剂会对人体和环境造成危害。化学改性也可以提高上染率和染色牢度,但是改性工艺通常在水浴中进行,并且使用化学助剂,同样会产生污染。

辐照技术是利用辐照对物质激发诱导,产生物理和化学变化,从而对材料进行处理或改性的技术,因其

具有无污染、用水少、化学品用量低、能耗低、处理速度快、操作简便等优点,在纺织领域已有大量的应用研究,包括改善织物润湿性、提高附着力、提高抗菌性等技术<sup>[10-11]</sup>。有文献表明,辐照技术可以用来提高染料提取率、上染率和色牢度<sup>[12]</sup>。本文综述了辐照技术(包括超声波、微波、伽马射线、紫外线、等离子体技术)在天然染料提取和改善天然染料上染率及染色牢度方面的研究进展,以期天然染料在纺织工业中的应用推广提供借鉴。

## 1 天然染料提取

### 1.1 超声波(UAE)提取法

超声波(UAE)提取法是利用超声波引发的气穴和机械振动效应,增大分子的运动频率和速度,提高溶剂的穿透力,促进色素溶解;同时,产生的高压冲击波使植物细胞壁破碎,释放天然色素,从而提高提取率。超声波提取法可以在室温或者温度较低条件下进行,避免了传统提取法的高温及长时间加热对色素的破坏,此外,该方法快速、节能、用水少。

Nipornram 等人<sup>[13]</sup>研究了柑橘皮的超声波提取及其优化工艺。研究表明,超声波提取显著提高了提取效率,在相同的提取时间和温度下,超声波提取率是传统浸提的2倍。采用响应面优化方法(RSM)获得最

收稿日期: 2018-02-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(21562040); 国家科技部重大专项子课题(2016YFC0400504); 大学生创新训练计划项目(XJU-SRT-17008)

作者简介: 柳疆梅(1996—),女,本科,主要从事天然染料开发与应用的研究。

通信作者: 单国华。E-mail: sgh\_116@126.com。

佳提取工艺为:38.5 kHz、48℃、40 min。Sheikh 等人<sup>[14]</sup>研究了指甲花、姜黄的超声波提取。研究表明,超声波提取5 min 就可以达到传统提取60 min 的提取量,在室温下就可以进行提取。RSM 法优化提取工艺为:35 kHz、25℃、20 min。Guesmi 等人<sup>[15]</sup>研究了枣核的超声波提取。研究表明,低频有利于染料提取,RSM 法优化提取工艺为:25 kHz、25℃、60 min。此外,Yin 等人<sup>[16]</sup>研究了紫薯的超声提取,Maran 等人<sup>[17]</sup>研究了三角梅的超声波提取。研究表明,与传统提取方法相比,超声波提取法更有利于染料提取,提取率更高。

## 1.2 微波(MAE)提取法

微波(MAE)提取法利用微波能辐射提取液,使色素分子获得能量,并快速转移到提取介质中,从而提高提取效果。微波提取法具有效率高、时间短、污染小等特点。

Koyu 等人<sup>[18]</sup>研究了黑桑的提取。研究表明,与传统溶剂法相比,微波提取时间更短,提取率更高,所需溶剂量更低,具体工艺为:10 min、35℃。Lobo 等人<sup>[19]</sup>研究了千日紫的微波提取,提取工艺为:8 min、60℃。

## 1.3 微波-超声波(MUAE)联合提取法

微波-超声波(MUAE)联合提取法是利用两种技术连续或者同时进行染料提取,提取率更高。Yu 等人<sup>[20]</sup>研究了该方法对桂花的提取,优化提取工艺为:微波提取6 min,然后超声波提取10 min。Lu 等人<sup>[21]</sup>研究了该方法对荷花籽的提取,有效成分的提取率明显提高,提取时间大大缩短,是传统法的1/12,是超声波法的1/8,是微波法的1/2。

# 2 助染

## 2.1 超声波助染

超声波助染的原理是利用气穴作用产生机械力或流体动力,促进染料在染液中的分散;促进染液搅动,减小扩散边界层;促进纤维中空气释放,增加染料与纤维的接触。利用该方法可以降低染色时间,提高上染率和染色牢度。

Yavas 等人<sup>[22]</sup>研究了茜草上染苧麻纤维,研究比较了传统媒染、超声波助染和微波助染的染色效果。结果表明,3种工艺都可以取得很好的染色效果,但超声波法可以选择较低的染色温度,微波染色可以选择较短的染色时间。Baaka 等人<sup>[9]</sup>研究了葡萄废渣染羊毛织物,结果表明,与传统媒染方法相比,超声波法可

明显提高上染率和染色牢度,但超声时间不可过长,否则会造成染料分解,上染率和染色牢度降低。

## 2.2 微波助染

微波助染法是利用微波能辐射染液,使其快速升温,使色素分子获得能量,并快速转移到纤维中,从而改善染色效果。利用该方法可以大大缩短染色时间,降低长时间处理对纤维造成的损伤。

Pandey 等人<sup>[5]</sup>研究了花生红衣对棉织物、丝织物、毛织物的染色。研究表明,与直接染色法相比,微波助染法节约了染色时间,只需10 min 就可以完成染色,同时上染率和染色牢度也比直接染色法高。El-Khatib 等人<sup>[6]</sup>研究了藏红花对楝树油预处理手工地毯用毛纱的染色,研究进行了微波助染法(5 min)和超声波助染法(50℃、30 min)染色效果的对比,表明微波助染效果好于超声波助染。

# 3 织物改性

天然染料一般与纤维的亲合力较低,直接染色上染率和染色牢度低。传统方法是采用金属媒染,形成染料-金属-纤维配合物,改善上染率和染色牢度,但使用金属离子对人体和环境会产生危害。另一种方法是通过织物表面改性,引入反应基团,改善染料和纤维间的直接性,提高上染率和染色牢度,但通常这种方法要使用化学试剂,并在水浴条件下进行改性,对环境有害。辐照技术无污染、快速、节能,是一种环保的改性方法,且只作用于织物表面,对织物形态结构以及整体特性没有影响。

## 3.1 伽马辐照改性

伽马射线是放射性同位素(Cs-137 或 Co-60)在原子核能级跃迁时释放的射线。在改性时,伽马射线产生电离辐射作用到织物表面,表面基团产生电离和激发,形成自由基,从而使织物表面物理性能和化学组成发生变化。

Khan 等人<sup>[23]</sup>研究了锦绣苋上染棉织物,研究表明经伽马辐照处理后,染色牢度从2~3 提高到4~5;研究认为,伽马辐照后,纤维表面的-OH 转化为-COOH,提高了染料和纤维的直接性;伽马辐照具有时效性,染色时间不易过长,否则上染率会降低。Gulzar 等人<sup>[24]</sup>研究了槐树皮上染棉织物,研究表明经辐照处理后,耐光色牢度从2~3 级提高到4 级,说明伽马辐照有助于染料提取。此外,Adeel 等人<sup>[25]</sup>研究了万寿菊上染棉织物,Chirila 等人<sup>[26]</sup>研究了石榴皮上

染棉和亚麻织物,研究都表明经辐照后上染率提高,且对织物形态和整体性能未产生影响。伽马辐照改性织物的最佳染色工艺见表1。

表1 伽马辐照改性织物的最佳染色工艺

植物	色素	织物	放射源	最佳染色工艺条件
锦绣苋	聚多酚	棉织物	Cs-137	15 kGy, 60℃, 50 min, pH 7
槐树皮	槲皮素	棉织物	Cs-137	20 kGy, 60℃, 40 min, pH 6
万寿菊	叶黄素	棉织物	Cs-137	30 kGy, 70℃, 85 min, pH 5
石榴皮	丹宁	棉织物	Co-60	40 kGy, 95℃, 60 min

从表1可以看出,染料的pH在中性或弱酸性条件下,可以抑制纤维上负电荷的产生,提高染料和纤维间的直接性,改善上染率和色牢度。

### 3.2 等离子(Plasma)处理改性

等离子处理改性是通过Plasma处理,产生离子、电子、自由基等活性基团,从而对织物表面进行刻蚀,同时引入活性基团,使织物表面发生物理和化学变化,改善染料和纤维的直接性,提高上染率和染色牢度,减少媒染剂用量。当等离子体与壳聚糖及其他功能性高分子联用时,在提高染色性能的同时,还赋予了织物一定的功能性。该技术不使用化学试剂,是一种清洁、节水、节能、快速的改性技术。

在纤维素纤维改性方面,Gorjanc等人<sup>[27]</sup>研究了虎杖对蒸汽Plasma改性棉/竹针织物的染色,Gargoubi等人<sup>[28]</sup>研究了姜黄对Plasma改性棉织物的染色。研究都表明,改性后染料上染率提高,同时染色织物具有一定的抗菌性。

在蛋白质纤维改性方面,Zanini等人<sup>[29]</sup>研究了N<sub>2</sub> Plasma处理对羊毛/羊绒织物性能的影响。研究表明,处理后,由于纤维表面的刻蚀作用以及在纤维表面引入含氧基团,纤维吸湿性得到改善。研究还指出,若处理时间长,速度慢,则对纤维损伤严重,但在快速处理的条件下,纤维基本无损伤,手感等物理性能不发生改变。Sajed等人<sup>[4]</sup>研究了胭脂虫对O<sub>2</sub> Plasma改性羊毛的染色。研究表明,通过改性,在羊毛表面刻蚀和引入含氧基团,染色性能明显提高。Haji等人<sup>[30]</sup>研究了茴香上染Plasma改性毛织物。研究表明,采用O<sub>2</sub>或Ar等离子体处理毛织物后,再经媒染染色,染色牢度提高1~2级,当采用O<sub>2</sub>/Ar联合等离子体处理后,采用1/5媒染剂用量就可以达到单独O<sub>2</sub>或Ar等离子体处理后的染色效果。

在合成纤维等离子体改性方面,Zhang等人<sup>[10]</sup>研究了He/Air Plasma对涤纶表面的改性。研究表明,改

性处理在涤纶表面产生刻蚀并引入羟基、羰基、羧基等活性基团,涤纶润湿性得到改善。Dave等人<sup>[31]</sup>研究了茜草对等离子体改性聚酯纤维的染色,研究表明,改性后上染率可提高65%。

在等离子体与其他改性试剂联用方面,Haji等人<sup>[32]</sup>研究了棉荚对Plasma/壳聚糖(Chitosan)改性羊毛织物的染色。研究表明,等离子体处理后,壳聚糖吸附量明显提高,上染率提高,色牢度提高。改性及染色工艺为:等离子体处理4.26 min, pH为9, 100℃, 染色60 min, 织物具有抗菌性。Agnhage等人<sup>[33]</sup>研究了茜草对Plasma/Chitosan改性聚酯纤维的染色。研究表明,改性后,聚酯纤维亲水性改善,上染率提高。Molakarimi等人<sup>[11]</sup>研究了虾壳对等离子体/环糊精改性毛织物的染色。研究表明,改性后,环糊精沉积提高,上染率提高,同时织物还具有抗菌性。

### 3.3 紫外线辐照改性

紫外线是一种电子波,波长在100~400 nm,在有氧条件下,紫外线辐照可使纤维表面发生氧化,形成羧基、醛基、羟基、羰基等活性基团,提高染料和纤维的直接性,改善天然染料染色性能。该技术是一种节能、高效、无污染、耐久性强的处理技术。

Adeel等人研究了阿拉伯金合欢树皮对改性棉织物的染色,研究表明处理后,染色性能明显提高。研究认为这是由于辐照后在纤维表面产生了羧基等活性基团,最佳染色工艺为:辐照90 min, 50℃, 染色55 min。此外,同一课题组的Rehman等人研究了万寿菊对紫改性棉织物的染色,也获得了相似的结果。最佳染色工艺为:辐照90 min, 40℃, 染色70 min。

### 3.4 不同改性方法的特点

#### 3.4.1 伽马辐照法

伽马辐照法的优点是提高了上染率和染色牢度,有助于染料提取,引入活性基团,不使用化学试剂,能耗低;不足之处为需要专用设备,处理过程要求高。

#### 3.4.2 等离子体处理

等离子体处理的优点是加工过程环境友好,纤维表面产生刻蚀,引入功能特性,提高上染率和染色牢度,节水、节能、省时,减少了媒染剂使用;不足之处为需要专用设备,氦气成本高。

#### 3.4.3 紫外辐照法

紫外辐照法的优点是操作简便,引入活性基团,提高上染率和染色牢度;不足之处是可能会降低织物强力。



可见,伽马辐照法和紫外辐照法能够在纤维表面引入活性基团;等离子体处理可使纤维表面产生刻蚀,引入活性基团,同时还能提高一些功能性高分子的附着,从而赋予织物一定的功能性。

#### 4 结 语

本文介绍了超声波、微波、伽马辐照、等离子体处理、紫外线辐照技术在天然染料提取、助染以及织物表面改性上的最新研究进展。超声波和微波技术可以显著提高天然染料的提取率和上染率;伽马辐照、等离子体处理、紫外线辐照技术可以显著提高上染率和染色牢度,同时加工过程不需要水,对纺织品本身的特性不产生影响。总之,辐照技术是一种对环境污染小、方便、经济、高效的处理技术,将其应用在天然染料的提取及染色过程中,可以促进天然染料在纺织工业中的推广。



#### 参考文献:

- [1] HADDAR W, BEN TICHA M, MEKSI N, et al. Application of anthocyanins as natural dye extracted from *Brassica oleracea* L-var. capitata f. rubra: dyeing studies of wool and silk fibres [J]. *Natural Product Research*, 2018, 32(2): 141-148.
- [2] WANG C X, LI M, ZHANG L P, et al. Extraction of natural dyes from *Cinnamomum camphora* (L.) presl fruit and their application on wool fabric [J]. *Textile Research Journal*, 2017, 87(20): 2550-2560.
- [3] ITO Y, HARIKAI N, ISHIZUKI K, et al. Spiroketalcarminic acid, a novel minor anthraquinone pigment in cochineal extract used in food additives [J]. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, 2017, 65(9): 883-887.
- [4] SAJED T, HAJI A, MEHRIZI M K, et al. Modification of wool protein fiber with plasma and dendrimer: Effects on dyeing with cochineal [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018(107): 642-653.
- [5] PANDEY R, PATEL S, PANDIT P, et al. Colouration of textiles using roasted peanut skin - an agro processing residue [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018(172): 1319-1326.
- [6] EL-KHATIB E M, ALI N F, EL-MOHAMEDY R S R. Influence of Neem oil pretreatment on the dyeing and antimicrobial properties of wool and silk fibers with some natural dyes [J]. *Arabian Journal of Chemistry*, 2017.
- [7] ZHOU Y Y, TANG R C. Influence of fixing treatment on the color fastness and bioactivities of silk fabric dyed with curcumin [J]. *Journal of the Textile Institute*, 2017, 108(6): 1050-1056.
- [8] RAO M P N, XIAO M, LI W J. Fungal and bacterial pigments: Secondary metabolites with wide applications [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2017(8): 1-13.
- [9] BAAKA N, HADDAR W, BEN TICHA M, et al. Sustainability issues of ultrasonic wool dyeing with grape pomace colourant [J]. *Natural Product Research*, 2017, 31(14): 1655-1662.
- [10] ZHANG C, ZHAO M, WANG L, et al. Surface modification of polyester fabrics by atmospheric - pressure air/He plasma for color strength and adhesion enhancement [J]. *Applied Surface Science*, 2017(400): 304-311.
- [11] MOLAKARIMI M, MEHRIZI M K, HAJI A. Effect of plasma treatment and grafting of -cyclodextrin on color properties of wool fabric dyed with shrimp shell extract [J]. *Journal of the Textile Institute*, 2016, 107(10): 1314-1321.
- [12] SHAHID UL I, MOHAMMAD F. High-energy radiation induced sustainable coloration and functional finishing of textile materials [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2015, 54(15): 3727-3745.
- [13] NIPORNAM S, TOCHAMPA W, RATTANATRAIWONG P, et al. Optimization of low power ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from mandarin (*Citrus reticulata* Blanco cv. Sain-ampueng) peel [J]. *Food Chemistry*, 2018(241): 338-345.
- [14] SHEIKH J, JAGTAP P S, TELI M D. Ultrasound assisted extraction of natural dyes and natural mordants vis a vis dyeing [J]. *Fibers and Polymers*, 2016, 17(5): 738-743.
- [15] GUESMI A, BEN HAMADI N. Study on optimizing dyeing of cotton using date pits extract as a combined source of coloring matter and bio-mordant [J]. *Natural Product Research*, 2018, 32(7): 810-814.
- [16] YIN Y J, JIA J R, WANG T, et al. Optimization of natural anthocyanin efficient extracting from purple sweet potato for silk fabric dyeing [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017(149): 673-679.
- [17] MARAN J P, PRIYA B, NIVETHA C V. Optimization of ultrasound -assisted extraction of natural pigments from *Bougainvillea glabra* flowers [J]. *Industrial Crops and Products*, 2015(63): 182-189.
- [18] KOYU H, KAZAN A, DEMIR S, et al. Optimization of microwave assisted extraction of *Morus nigra* L. fruits maximizing tyrosinase inhibitory activity with isolation of bioactive constituents [J]. *Food Chemistry*, 2018(248): 183-191.
- [19] LOBO RORIZ C, BARROS L, PRIETO M A, et al. Modern extraction techniques optimized to extract betacyanins from *Gomphrena globosa* L. [J]. *Industrial Crops and Products*, 2017(105): 29-40.
- [20] YU J, LOU Q, ZHENG X, et al. Sequential combination of microwave - and ultrasound -assisted extraction of total flavonoids from *Osmanthus fragrans* Lour. Flowers [J]. *Molecules*, 2017, 22(12): 2216.
- [21] LU X, ZHENG Z, LI H, et al. Optimization of ultrasonic -microwave assisted extraction of oligosaccharides from lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) seeds [J]. *Industrial Crops and Products*, 2017(107): 546-557.
- [22] YAVAS A, AVINC O, GEDIK G. Ultrasound and microwave aided natural dyeing of nettle biofibre (*Urtica dioica* L.) with madder (*Rubia tinctorum* L.) [J]. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2017, 25(4): 111-120.

☞ (下转第24页)

由表3可见,随着阻燃粘胶纤维含量的增加,针织物的透气性变好。这是因为高阻燃粘胶纤维的截面为锯齿状,有小孔,空气更加容易通过针织物,因此高阻燃粘胶纤维的含量越高,针织物的透气性越好。

从表3可见,在相同的时间内,随着阻燃粘胶纤维含量的增加,纬平针织物和双罗纹针织物的芯吸高度都有逐步减小的趋势;阻燃粘胶纤维的含量相同时,纬平针织物的芯吸高度大于双罗纹,吸湿性较好。

此外,从表3还可看出,针织物密度愈大,其透湿率愈小。对比纬平针和双罗纹组织,前者的透湿量明显小于后者,说明密度和组织的变化都会影响针织物的透湿性。

### 3 结 语

(1)莫代尔和阻燃粘胶的混纺纱线强力适中,捻度均匀,回潮率较好,符合针织用纱的要求,可以在阻燃针织物中大量推广应用。

(2)由莫代尔/阻燃粘胶混纺纱编织而成的纬平针织物和双罗纹织物,断裂强力大,透气、透湿和吸湿性能优良,达到了针织内衣和外用针织衫舒适性能的预期目标。

(3)莫代尔/阻燃粘胶混纺纱编织而成的纬平针

织物和双罗纹织物,均已经具备了一定的阻燃性能,但纬平针织物的阻燃效果较差,即使纯阻燃粘胶纬平针织物使用垂直燃烧法进行测试,在火焰撤走时,样布依然全部损毁,但损毁长度各有不同,说明阻燃粘胶纤维的使用能够在一定程度上减少火灾的危害。双罗纹织物无论是在直接接触明火火源,还是在撤走时,阻燃性能均体现得较为明显,具有较强的阻燃性能。

#### 参考文献:

- [1] 王培政.阻燃粘胶纤维性能研究[D].青岛:青岛大学,2005.
- [2] 全凤玉,纪全,夏延致,等.阻燃粘胶纤维的研究及其进展[J].纺织学报,2004,25(1):121-122.
- [3] 秦松涛,徐先林,任元林.阻燃粘胶纤维/羊毛混纺织物的制备及性能研究[J].天津工业大学学报,2011,30(1):26-30.
- [4] 赵书林,杜红丽.芳纶/阻燃粘胶混纺对比对织物阻燃性能的影响[J].纺织学报,2006,27(12):74-76.
- [5] 陶丽珍.基于标准的单纱捻度测试方法比较[J].上海纺织科技,2014,42(5):40-42.
- [6] 邹志伟.阻燃腈纶纤维针织物的开发及性能研究[D].青岛:青岛大学,2012.
- [7] 陈培玉.阻燃用聚酰胺纤维混纺纱的开发与工艺研究[D].上海:东华大学,2015.
- [8] 王增喜,李焰,谭佩清.不同组织结构阻燃织物性能研究[J].棉纺织技术,2013,41(7):12-14.

(上接第4页)

- [23] KHAN A A, IQBAL N, ADEEL S, et al.Extraction of natural dye from red calico leaves: Gamma ray assisted improvements in colour strength and fastness properties[J].Dyes and Pigments,2014(103):50-54.
- [24] GULZAR T, ADEEL S, HANIF I, et al.Eco-friendly dyeing of gamma ray induced cotton using natural quercetin extracted from a-cacia bark (A. nilotica) [J].Journal of Natural Fibers,2015,12(5):494-504.
- [25] ADEEL S, GULZAR T, AZEEM M, et al.Appraisal of marigold flower based lutein as natural colourant for textile dyeing under the influence of gamma radiations[J].Radiation Physics and Chemistry,2017(130):35-39.
- [26] CHIRILA L, POPESCU A, CUTRUBINIS M, et al.The influence of gamma irradiation on natural dyeing properties of cotton and flax fabrics[J].Radiation Physics and Chemistry,2018(145):97-103.
- [27] GORJANC M, SAVIC A, TOPALIC-TRIVUNOVIC L, et al.Dyeing of plasma treated cotton and bamboo rayon with Fallopia japonica extract[J].Cellulose,2016,23(3):2221-2228.
- [28] GARGOUBI S, TOLOUEI R, CHEVALLIER P, et al.Enhancing the functionality of cotton fabric by physical and chemical pre-treat-

ments: A comparative study [J]. Carbohydrate Polymers, 2016(147):28-36.

- [29] ZANINI S, CITTERIO A, LEONARDI G, et al.Characterization of atmospheric pressure plasma treated wool/cashmere textiles: Treatment in nitrogen[J].Applied Surface Science, 2018(427):90-96.
- [30] HAJI A, QAVAMNIA S S.Response surface methodology optimized dyeing of wool with cumin seeds extract improved with plasma treatment[J].Fibers and Polymers, 2015, 16(1):46-53.
- [31] DAVE H, LEDWANI L, CHANDWANI N, et al.Surface activation of polyester fabric using ammonia dielectric barrier discharge and improvement in colour depth[J].Indian Journal of Fibre & Textile Research, 2014, 39(3):274-281.
- [32] HAJI A, MEHRIZI M K, SHARIFZADEH J.Dyeing of wool with aqueous extract of cotton pods improved by plasma treatment and chitosan: optimization using response surface methodology [J].Fibers and Polymers, 2016, 17(9):1480-1488.
- [33] AGNHAGE T, PERWUELEZ A, BEHARY N.Eco-innovative coloration and surface modification of woven polyester fabric using bio-based materials and plasma technology [J].Industrial Crops and Products, 2016(86):334-341.