

再生蛋白纤维研究进展

Research progress of regenerated protein fibers

姚 飞 陈复生

YAO Fei CHEN Fu-sheng

(河南工业大学粮油食品学院, 河南 郑州 450001)

(School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China)

摘要:再生蛋白纤维是一种性能优良,应用广泛的新型绿色环保材料,可分为再生植物蛋白质纤维与再生动物蛋白质纤维两大类。文章介绍了再生蛋白纤维的发展历程,以及以大豆蛋白、牛奶蛋白、玉米蛋白等为原料加工再生蛋白纤维的制备、性能及其应用,并对其今后的发展前景进行了展望。

关键词:再生蛋白纤维;制备;性能;应用;环保

Abstract: Regenerated protein fiber is a new type of green environmentally friendly material with excellent performance and wide application. It can be divided into two categories: regenerated plant protein fiber and regenerated animal protein fiber. This paper introduces the development of regenerated protein fiber, as well as the preparation, properties and application of soy protein, milk protein, zein and other raw materials for processing, and prospects for its future development.

Keywords: regenerated protein fiber; process flow; performance; application; environmental protection

目前生态环境的问题日益突出,资源与环境问题受到了各国的高度重视,开发低耗能、无污染的新型绿色材料成为学者们的关注焦点。早期的纤维一般指棉、毛、丝麻等天然纤维;然后出现了涤纶、维纶等化学纤维与合成纤维;随着不可再生资源的日益枯竭和人类环保意识的逐渐增强,生态友好型的再生蛋白质纤维如牛奶蛋白纤维、玉米蛋白纤维、大豆蛋白纤维等开始兴起。再生蛋白纤维的原材料十分容易获取,成本较低,生产过程无污染,并且废弃物能够部分甚至全部降解,是一种对环境十分友好的新型蛋白纤维^[1]。文章综述了国内外再生蛋白

纤维的研究进展,以期对蛋白资源的高值化利用提供基础。

1 再生蛋白纤维的发展历程

国外在 20 世纪初就逐渐再生蛋白质纤维的研究,研究对象包括胶原蛋白^[2]、牛奶酪蛋白^[3]、大豆蛋白^[4]、玉米蛋白^[5]和羊毛蛋白^[6]等动植物蛋白质原料。具体情况见表 1。

由于早期科技水平有限,研制出的再生蛋白质纤维因物理机械性能差、制备技术难度大等原因未能实现工业化生产。目前,国外新型蛋白纤维的研制和开发工作鲜有报道。

中国的再生蛋白纤维研制工作起步比较晚,并且前期对再生蛋白纤维的研究结果并不理想^[8-10],但学者们仍致力于再生蛋白纤维的研究中。李官奇等^[11]潜心研究多年,终于将大豆蛋白纤维试纺成功,并申请了专利。此外,“正家”牛奶纤维产品在中国为首创,并获国家专利,被列入上海市高新技术 A 级转化项目^[12]。

2 再生蛋白纤维的制备、结构及性能

2.1 再生植物蛋白纤维

2.1.1 大豆蛋白纤维 大豆蛋白纤维是再生植物蛋白纤维中的一种,主要成分为大豆蛋白质,在它的整个生产过程中都是十分环保的。大豆蛋白纤维的原料主要取自制油后的豆粕,将脱脂后的豆粕溶解在稀碱溶液中以除去不溶物得到提取液,然后通过酸调节 pH 值至大豆蛋白等电点,使大豆蛋白质沉淀析出,分离清洗后得到粉状大豆分离蛋白^[13],最后将得到的大豆分离蛋白进一步分离纯化,通过凝胶过滤层析、离子交换纤维素层析、亲和层析等方法获得球蛋白,并将其与羟基或胍基高聚物混合,通过接枝、共聚、共混等过程制备成一定浓度的蛋白质纺丝液。将纺丝原液进行脱泡后进入湿法纺丝机采用湿法纺丝纺成单纤 0.9~3.0 dtex 丝束^[14-15],再浸入凝固浴液,经拉伸、烘干、热定型后制成半成品,半成品应再进行整

基金项目:河南自然基金重点项目(编号:162300410046);河南省优秀科技创新团队(编号:豫科人组[2015]5号);智慧郑州·1125 聚才计划(编号:郑政[2018]45号)

作者简介:姚飞,男,河南工业大学在读硕士研究生。

通信作者:陈复生(1963—),男,河南工业大学教授,博士。

E-mail: fushengc@haut.edu.cn

收稿日期:2019-04-11

表 1 国外早期再生蛋白质纤维研制情况^[7]

Table 1 Development of early regenerated protein fibers abroad

时间	纤维名称	制备方法	公司名称
1894 年	明胶纤维	明胶液中加入甲醛进行纺丝	—
1904 年	酪素纤维	从牛乳中提炼的酪素进行纺丝	—
1935 年	酪素纤维	—	意大利 SNIA 公司
1936 年	酪素纤维	—	英国 Courtaulds 公司
1938 年	Ardil(花生蛋白纤维)	—	英国 ICI 公司
1938 年	大豆蛋白纤维	以大豆为原料进行纺丝	日本油脂公司
1939 年	Vicara(玉米蛋白质纤维)	将玉米中提炼的蛋白质用醇或碱溶解纺丝 制得玉米蛋白质纤维	美国 Corn Product Refining 公司
1945 年	Soylon(大豆蛋白纤维)	—	美国杜邦公司
1948 年	Vicara(玉米蛋白纤维)	—	美国 Vargina Carol Chenica 公司
1969 年	Chinon(牛奶蛋白纤维)	由丙烯腈与牛奶蛋白接枝共聚合反应制得	日本东洋纺公司

理和缩醛化。稳定纤维性能后,经卷曲、热定型、切断,就能获得大豆蛋白纤维^[16-17]。大豆蛋白纤维制备流程如图 1 所示。

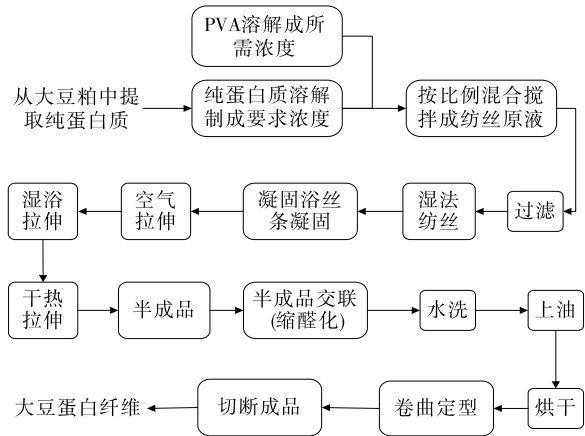


图 1 大豆蛋白纤维制备流程图

Figure 1 Flow chart of soybean protein fiber production process

大豆蛋白是由酰胺键链接而成,链段长度小的天然杂链高聚化合物,其构象之所以呈 α -螺旋是因为体积较大支链所决定的,平均每个螺旋圈中含有 7 个 α -氨基酸链节,折叠周期为 0.51 nm^[18]。在外部条件的作用下,大豆蛋白质较易变性,致使分子链被展开而形成 β -链结构,该结构为直线形^[19-21](如图 2 所示)。

大豆蛋白纤维的颜色呈米黄色,色泽明亮且材质柔软,与真丝类似;大豆纤维横截面形状为哑铃形或不规则三角形,纵截面常会出现无规律的沟槽或海岛状凹凸,使其具备了较强的吸湿导湿性和透热传热性。曹机良等^[22]通过对大豆蛋白/牛奶酪素蛋白/聚乙烯醇共混纤维(简称双蛋白纤维)的耐干热性能研究,结果表明,双蛋白纤

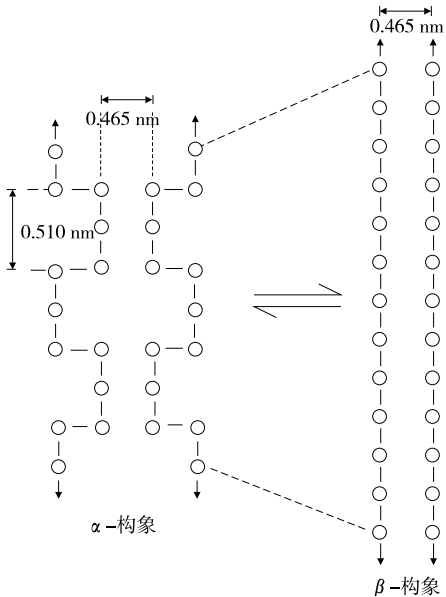


图 2 大豆蛋白大分子从 α -构象向 β -构象的转变

Figure 2 Transition of soybean protein macromolecule from α -conformation to β -conformation

维能够耐受一定的高温。杨丽月等^[23]研究了抗菌大豆牛奶双蛋白纤维的力学性能和吸湿性,结果表明,抗菌双蛋白纤维的弹性相对大豆蛋白纤维较高,且其湿态纤维弹性高于干态;在吸放湿试验中,抗菌双蛋白纤维的回潮率高于大豆蛋白纤维,吸湿性较好,说明抗菌双蛋白纤维具有较好的力学性能和吸湿性能。此外,大豆蛋白纤维相比于普通棉制品其具有更强的防寒保暖功能且更加贴合人体肌肤,还含人体所需 8 种氨基酸,其强大的功能获得了“新世纪的健康舒适纤维”^[24]。

2.1.2 玉米蛋白纤维 玉米蛋白纤维是一种被广泛使用的绿色纤维,通常采用 70%异丙醇对玉米残渣进行提取,得到玉米蛋白质,然后以其为原料,加入乙醇水溶液,过

滤分离获得玉米醇溶蛋白提取液,加入树脂进行层析,除杂,用含盐的乙醇水溶液洗脱出玉米醇溶蛋白,最后经浓缩回收乙醇,洗涤、干燥得玉米醇溶蛋白成品,将其再溶于氢氧化钠溶液,经过滤、脱泡、共聚,最后用湿法纺丝方法制成玉米蛋白质纤维^[25]。

玉米蛋白纤维的化学成分与羊毛相似,在某种程度上会使其拥有一些羊毛的特性,如柔软光滑,丝状光泽,强度和延伸率高,耐酸碱,还具有良好的导湿性和放湿性^[26]。因此,一些家纺公司会在制作床上用品时会加入玉米蛋白纤维来对产品进行进一步的升级。由于蚕丝在某些方面不能满足广大消费者的需求而且成本高昂,玉米蛋白纤维具有抵抗干热以及沸水收缩的功能。目前,人们会用其替代蚕丝制品,用于特定高档服装面料的制作之中。此外,玉米蛋白纤维可以制成纱线、非织造布,还可以与棉花等化工纺织制品进行整合,做成混合纤维纺织品,其物理性质非常接近羊毛,同时还具有抗生物性,化学性能稳定^[27]。

2.2 再生动物蛋白纤维

2.2.1 牛奶蛋白纤维 牛奶蛋白纺丝原液的制备过程为

蒸发、脱脂、碱化、分离、过滤、混合。在 $\leq 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下,将牛奶中水分蒸发浓缩至 60% 左右;离心脱脂,使用 NaOH 碱化进一步脱去脂肪;透析,从乳液中分离出蛋白质。最后,通常采用共混法,交联法和接枝共聚法将牛奶蛋白和高聚物混合制得纺丝原液^[28]。纺丝的加工工艺如图 3 所示。

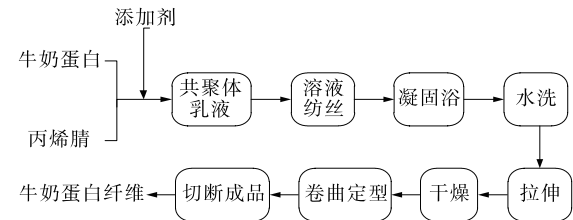


图 3 牛奶蛋白纤维制备的工艺流程
Figure 3 The technological process of milk protein fiber preparation

牛奶蛋白纤维的特点是质轻、强度高、伸长率好、初始模量大,同时它与其他纤维不同是其拥有较好的弹性形变能力^[28],见表 2。

表 2 牛奶蛋白纤维的特性与其他蛋白纤维特性比较

Table 2 Comparison of properties between milk protein composite fibers and other protein fibers

纤维类型	短纤维 长度/mm	线密度/ dtex	干态断裂强度/ (cN · dtex ⁻¹)	干态断裂 伸长率/%	湿态拉伸强度/ (cN · dtex ⁻¹)	湿态断裂 长率/%	初始模量/ (cN · tex ⁻¹)	回潮率/ %
牛奶蛋白 复合纤维	38	1.52	2.8	25~35	2.4	28.8	60~80	5~8
蚕丝	—	1.00~2.00	3.8~4.0	11~16	2.1~2.8	27.0~33.0	60~80	8~9
羊毛	58~100	6.00~9.00	2.6~3.6	14~25	0.8	50.0	44~88	15~17

Bier 等^[29]研究了不同化学成分和温度处理对牛奶酪蛋白纤维生产的影响,结果表明化学改性以及温度处理可显著增加纤维的耐水性;Benli 等^[30]通过臭氧化后洋葱皮天然染料源对酪蛋白纤维的染色,观察到使用洋葱皮可以容易地控制牛奶酪蛋白纤维的着色;1995 年,上海正家牛奶丝科技有限公司成功研发出了高质量的牛奶丝面料,牛奶蛋白纤维柔韧、弹性十足,贴合人体肌肤,体感舒适^[31];李克兢等^[32]研究了牛奶蛋白纤维的结构,发现牛奶蛋白纤维是异形纤维,截面上有微孔,表面有凹槽,牛奶蛋白形成无定形区;同时测试和分析了牛奶蛋白纤维的吸湿、拉伸、摩擦等性能,结果表明牛奶蛋白纤维是集蚕丝和合成纤维优良性能于一身的纺织新材料。此外,牛奶蛋白复合纤维与羊毛的化学成分与物理组合有着较为相似的特征,如果将其用作纺织,将会有着不次于羊毛的绒软与保暖。同时,较强的保湿性能,含有必需氨基酸^[33-34],使得牛奶蛋白复合纤维有着较好的滋润皮肤的作用。在此功效之上,还具较为强大的杀菌功效。由于

牛奶蛋白复合纤维的强大生态能力,许多细菌在其所在环境下无法生存,所以对于人体来说牛奶蛋白复合纤维还有一定的洁菌功能,同时还能通过自身的内部循环工作,排出功能性负离子。这种物质不仅仅可以净化空气,改善使用者的居住环境,还能够一定程度上促进血液循环^[35-36]。

2.2.2 胶原蛋白再生纤维 胶原蛋白是生物高分子,广泛分布于皮肤、骨骼、内脏细胞间质及肌腔、韧带、巩膜等部位,是动物结缔组织中的主要成分^[37]。在医学的应用十分广泛,如手术缝线、神经修复、人工皮等材料^[38-42]。热水法、酸法、碱法、酶法是胶原蛋白的 4 种常用提取方法。热水法即将脱灰和脱钙处理后的原料浸入水中,经过纯化操作而获得胶原蛋白的一种方法;酸法即利用酸性物质如柠檬酸、乙酸、盐酸等对原料进行处理而获取胶原蛋白的方法;碱法即利用氢氧化钙、氢氧化钠、碳酸钠等碱性物质来处理原料而获得胶原蛋白的方法;酶法即利用木瓜蛋白酶、胃蛋白酶、胰蛋白酶等酶来处理原料,

获得胶原蛋白溶液,并将其与高聚物材料共混纺丝或接枝共聚,经湿法纺丝而形成胶原蛋白纤维的一种方法。在4种方法中,热水法对温度的控制要求较高,提取温度过高或者过低均不利于胶原蛋白的提取;碱法操作复杂,提取率相对较低;酶法可以获得纯度高,安全性强,理化性质稳定的胶原蛋白,但蛋白酶的特异性不利于胶原蛋白的水解。碱法和酶法均可与酸法结合使用,来提高胶原蛋白的提取率^[43]。

此外,胶原蛋白是一种棒状螺旋结构的蛋白质,其性能优良,绿色环保,较植物蛋白更适合作为纺丝生产蛋白纤维的材料^[44]。胶原蛋白纤维具有较高的强度、优良的保湿性能,是一种理想的服装及纺织面料的原材料^[45]。孔祥墨等^[46]对羊绒纤维的胶原蛋白接枝改性进行了研究,结果表明改性羊绒纤维的白度有所下降,其断裂强力得到了提高;姜为青等^[47]采用胶原蛋白溶液对羊毛纤维进行改性,研究其力学性能,发现胶原蛋白可赋予羊毛纤维更好的机械性能,而不会改变羊毛纤维作为天然蛋白质的基本属性;王响等^[48]分析了再生牛皮胶原蛋白复合纤维的微观结构、表面形态、物理机械性能及耐热性能,发现再生牛皮胶原蛋白复合纤维的细度离散性适中,长度离散性很小,纤维的横截面呈圆形,中间有微孔,纤维结晶度低,结构疏松,吸湿性良好,回潮率达18.16%,纤维摩擦因数高。苏玉恒等^[49]对胶原蛋白纤维结构与性能进行了研究,发现胶原蛋白纤维的截面呈扁圆形或腰圆形,内部结构松散,表面有纵向沟槽;并且胶原蛋白纤维的干湿态强度、回潮率均大于聚乙烯醇纤维,初始模量与聚乙烯醇纤维接近,大于大豆蛋白纤维和羊毛纤维,具有较高的比电阻,适用于床上用品、衫衣及针织内衣等产品的开发。

3 再生蛋白纤维的应用

再生蛋白纤维具有的最大优势就是能够对于环境的保护起到良好的促进作用。再生蛋白纤维产品多以混纺产品出现^[50-51],使纤维具有良好的吸湿性和透气性。大豆蛋白纤维纱可与棉/涤纶纱混纺并克服了其纯纺织物强力弱的缺陷,主要用于高档衬衣生产等。为了防止紫外线对于人体的伤害,在一些蛋白纺织物中加入氧化锌等物质,使得人体免受过强紫外线的伤害。织物相对亚麻织物比较柔软,没有粗硬感,同时在加入适量的再生蛋白纤维之后,衣物的褶皱将会减少^[52]。牛奶再生蛋白纤维的功用是非常大的,可以与许多的蛋白纤维进行融合,然后在生活之中发挥作用。同时,由于再生蛋白纤维有着较为优秀的生态能力,所以再生蛋白纤维对于人体健康也有着较为积极的作用,也使得蛋白资源得以利用。

4 展望

随着时代的发展,人们越来越重视可持续发展,科学

发展,再生蛋白纤维很好地契合了这一点,其来源广泛且具有可再生性,无毒无害、亲肤性好,并且再生蛋白纤维本就是来源于大自然,所以对环境完全没有如同化工制品那样的破坏,甚至对于生态环境的保护还具有促进作用,其废弃物可自行降解,再生蛋白纤维对环境非常友好,不污染环境,也不造成资源的掠夺性开发。从目前的状况来看,生产再生蛋白纤维尚存在一些难题亟待解决,主要表现在,部分天然蛋白质分子为球状结晶(如大豆蛋白、玉米蛋白)无法展成线性分子链;对于其他蛋白(如动物肌纤维蛋白、皮革胶原蛋白等),虽呈线性分子链且基本线性分布(3股或多股螺旋),但分子聚合度不高(一般聚合度在100左右,少数高达300),提纯溶解处理可能进一步降低其聚合度。随着蛋白质加工技术的提高和综合技术的不断完善,蛋白资源加工副产物将会得到充分利用,其发展前景必将十分广阔。

参考文献

- [1] 孙杰,毕洁,张初署,等.再生蛋白质纤维的特性及研究进展[J].化工新型材料,2011,39(6):26-29.
- [2] TAKAKU K, KURIYAMA T, NARISAWA I. Loop strength of spun collagen fibers[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1996, 61(13): 2 437-2 445.
- [3] 蔡忠波,朱建军,刘优娜,等.牛奶蛋白纤维的发展与展望[J].中国纤检,2015(7):82-84.
- [4] 刘海洋.新纤维——大豆蛋白纤维[J].人造纤维,2003,33(2):25-27.
- [5] 芦长椿.蛋白纤维技术发展历程及现状[J].合成纤维,2006(12):1-5.
- [6] 刘让同.羊毛角蛋白纤维化再生的研究进展[J].毛纺科技,2004(11):5-9.
- [7] 杨华,严瑛.大豆蛋白改性纤维研制现状及发展趋势探讨[J].合成材料老化与应用,2018,47(5):131-133,144.
- [8] 王业宏,姜岩,李凤阳,等.大豆蛋白纤维的研制及其产品开发[J].长春工业大学学报:自然科学版,2004,25(1):69-72.
- [9] 韩光亭,王彩霞,孙永军,等.大豆蛋白质纤维性能分析研究[J].纺织学报,2002,23(5):45-46.
- [10] 詹建朝,孙洁,沈兰萍.大豆蛋白纤维及其混纺织物服用性能测试[J].纺织科技进展,2005(2):47-48.
- [11] 田丽,李官奇.与李官奇对话“大豆蛋白纤维市场分析报告”[J].中国纺织经济,2001(Z1):22-24.
- [12] 刘连军,秦健.Sorona/粘胶纤维赛络纱的开发[J].上海纺织科技,2013,41(1):10-11.
- [13] 张淑茹,程闰达.浅谈提高大豆分离蛋白得率的问题[J].中国酿造,1999(4):3-7,27.
- [14] 陈大淦,倪培德.植物蛋白的加工和利用[M].北京:中国食品出版社,1988:49-51.
- [15] 李同强.大豆蛋白纤维的发展[J].中国粮油学报,2006(5):

- 84-88.
- [16] 赵博. 棕彩色棉/大豆蛋白纤维混纺纱针织物服用性能的测试与分析[J]. 上海毛麻科技, 2016(1): 29-31.
- [17] 叶敏. 大豆蛋白纤维纺纱工艺探讨[J]. 福建轻纺, 2008(5): 6-9.
- [18] 崔立明, 柳翱, 张凤涛. 大豆蛋白质纤维(华康)聚集态结构[J]. 长春工业大学学报: 自然科学版, 2005(2): 105-108.
- [19] 刘培智. 大豆牛奶复合蛋白纤维的内部结构与性能研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2015: 11-14.
- [20] 马雪玲, 刘双军, 田志颖. 大豆蛋白纤维结构与染整性能的分析[J]. 河北工业科技, 2007(4): 198-201, 218.
- [21] 帅启明. 关于新型绿色环保纤维在服装使用材料中的应用分析[J]. 纺织报告, 2017(9): 66-67.
- [22] 曹机良, 李晓春, 边亚敏, 等. 双蛋白纤维的耐干热性能[J]. 上海纺织科技, 2013, 41(3): 14-16.
- [23] 杨丽月, 靳晓晴, 姜芸. 抗菌大豆牛奶双蛋白纤维的力学性能和吸湿性研究[J]. 青岛大学学报: 工程技术版, 2017, 32(3): 118-121.
- [24] 郎思遥, 唐艳云, 肖玫. 大豆蛋白纤维的研究进展[J]. 中国纤检, 2011(23): 79-81.
- [25] 刘森. 玉米纤维性能与用途的探讨[J]. 产业用纺织品, 2002(4): 39-41, 34.
- [26] 刘淑强, 闫承花, 郭洁丽, 等. 可降解聚乳酸纤维的研究进展[J]. 轻纺工业与技术, 2011, 40(6): 45-48.
- [27] 刘森. 玉米纤维性能与用途的探讨[J]. 天津纺织科技, 2003(1): 21-24.
- [28] 贾书刚, 姚金波, 孙艳丽, 等. 再生动物蛋白纤维的研究进展[J]. 毛纺科技, 2013, 41(10): 60-64.
- [29] BIER M C, KOHN S, STIERAND A, et al. Investigation of eco-friendly casein fibre production methods [J]. IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2017, 254(19): 2 004.
- [30] BENLI H, BAHTIYARI M. Dyeing of casein fibers with onion skin-based natural dye sources after ozonation[J]. O-zone: Science & Engineering, 2018, 40(2): 141-147.
- [31] 皮莎莎, 姜华, 蒋敏, 等. 大豆蛋白复合纤维的定量分析方法研究[J]. 中国纤检, 2017(8): 82-86.
- [32] 李克兢, 何建新, 崔世忠. 牛奶蛋白纤维的结构与性能[J]. 纺织学报, 2006(8): 57-60.
- [33] MAEHRE, HANNE K, DALHEIM L, et al. Protein determination: method matters[J]. Foods, 2018, 7(1): 5-10.
- [34] CHEN Hua, LIU Zhi-ling. Evaluation of uncertainty for determination of protein content in milk by Kieldahl method[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2009, 3(3): 373-374.
- [35] DONG Qing-zhi, GU Li-xia. Synthesis of AN-g-casein copolymer in concentrated aqueous solution of sodium thiocyanate and AN-g-casein fiber's structure and property[J]. European Polymer Journal, 2002, 38(3): 511-519.
- [36] 郑宇, 程隆棣. 牛奶蛋白纤维的特性、应用和定性检测[J]. 上海纺织科技, 2006, 34(6): 56-57.
- [37] 王昱琳. 胶原蛋白在化妆品中的应用研究进展[J]. 明胶科学与技术, 2012, 32(1): 8-12.
- [38] 臧传锋. 真丝纤维经胶原蛋白处理后的结构和性能研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2006: 19-21.
- [39] 陈晓光, 杜旭宜. 胶原蛋白在纺织上的应用[J]. 中国科技投资, 2012(21): 61-63.
- [40] 张忍虎. 胶原蛋白在生物医药工程中的应用研究进展[J]. 中国设备工程, 2018(1): 189-190.
- [41] 顾伟, 刘雷良, 左保齐. 天然生物可降解材料在生物医学领域中的应用[J]. 苏州大学学报: 工科版, 2006(1): 69-73.
- [42] 姚昶, 江虹, 许岩磊, 等. 疮灵液载入胶原促进慢性创面的愈合[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(34): 5 518-5 522.
- [43] 郅慧, 于慧, 张辉, 等. 动物源胶原蛋白提取及应用研究进展[J]. 吉林中医药, 2019, 39(2): 225-227.
- [44] 姚理荣, 林红, 陈宇岳. 胶原蛋白纤维的性能与应用[J]. 纺织学报, 2006(9): 105-107.
- [45] 王子颖, 应洁琼, 陈文彬, 等. 胶原蛋白改性聚乙烯的研究[J]. 广州化工, 2011, 39(3): 63-64, 81.
- [46] 孔祥墨, 麻文效. 羊绒纤维的胶原蛋白接枝改性[J]. 毛纺科技, 2016, 44(4): 43-47.
- [47] 姜为青, 樊理山, 赵彩云, 等. 胶原蛋白改性羊毛纤维力学性能的研究[J]. 上海毛麻科技, 2016(3): 7-9.
- [48] 王响, 靳向煜. 再生牛皮胶原蛋白复合纤维的性能[J]. 纺织学报, 2015, 36(4): 1-6.
- [49] 苏玉恒, 孔繁荣. 胶原蛋白纤维结构与性能研究[J]. 河南工程学院学报: 自然科学版, 2014(3): 15-17.
- [50] 朱国权. 绿色环保型纺织纤维的特点及应用[J]. 中国纤检, 2014(9): 82-85.
- [51] 马君志, 葛红, 陈宝成. 再生蛋白质纤维的开发[J]. 纺织导报, 2006(7): 33-35.
- [52] 冯振营, 孟俊焕, 刘秀菊. 大豆蛋白纤维织物的开发[J]. 山东纺织科技, 2008, 49(5): 15-17.
-
- (上接第 116 页)
- [25] CHEN Rui-juan, BI Jin-feng, CHEN Qin-qin. Effects of different drying methods on carrot powder quality[J]. Food Science, 2014, 35(11): 48-53.
- [26] YE Chun-lin, DAI De-hui, HU Wei-lian. Antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil from onion (*Allium cepa* L.) [J]. Food Control, 2013, 30(1): 48-53.
- [27] 黎乃维, 赵玉平, 杨建荣. 水浸提法提取洋葱黄酮类化合物的工艺条件研究[J]. 食品科技, 2007, 32(3): 110-113.
- [28] 李丽梅, 李景明, 孙亚青, 等. 不同因素对同时蒸馏-萃取法(SDE)提取洋葱精油的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(2): 212-215.
- [29] 肖静. 洋葱油提取、分析及微胶囊研制[D]. 南京: 东南大学, 2006: 1-2.