

DYEING

羊毛染色

YANGMAO RANSE

[英] 戴维·M. 刘易斯◎编
天津德凯化工股份有限公司◎译

 中国纺织出版社

羊毛染色

[英] 戴维·M.刘易斯 编
天津德凯化工股份有限公司 译



中国纺织出版社

内 容 提 要

本书是英国染色工作者学会出版的畅销书之一,书中的每一章都是由在相关领域具有丰富经验的专家执笔的。本书从羊毛的结构、羊毛的染色理论、羊毛染色用助剂、各种毛用染料的特点和应用工艺、混纺毛织物的染色、羊毛织物印花等方面进行了全面介绍。既有理论阐述,又有具体翔实的生产工艺指导,是羊毛染色方面权威的书籍。

本书可供印染企业技术人员参考,也可供高校相关专业的师生阅读。

原文书名 Wool Dyeing

原作者名 David M Lewis

©1992 Society of Dyers and Colourists

本书中文简体版经 Society of Dyers and Colourists 授权,由中国纺织出版社独家出版发行。

本书内容未经出版者书面许可,不得以任何方式或任何手段复制、转载或刊登。

著作权合同登记号:图字:01-2010-5892

图书在版编目(CIP)数据

羊毛染色/(英)刘易斯(Lewis, D. M.)编;天津德凯化工股份有限公司译. —北京:中国纺织出版社,2010.11

ISBN 978-7-5064-6827-5

I. ①羊… II. ①刘… ②天… III. ①羊毛—染色(纺织品)

IV. ①TS193.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第180071号

策划编辑:冯 静 责任编辑:于磊岚 版权编辑:徐屹然

责任校对:楼旭红 责任设计:李 然 责任印制:何 艳

中国纺织出版社出版发行

地址:北京东直门南大街6号 邮政编码:100027

邮购电话:010-64168170 传真:010-64168231

<http://www.c-textilep.com>

E-mail:faxing@c-textilep.com

中国纺织出版社印刷厂印刷 三河市永成装订厂装订

各地新华书店经销

2010年11月第1版第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:18

字数:361千字 定价:98.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

高等学校国际商务创新规划教材

- 国际商务概论
- 国际商务经济学基础
- 国际商务实务
- 国际商务管理
- 国际商务营销
- 国际商务环境
- 国际商务法
- 国际商务谈判

欢迎广大教师和读者就系列教材的内容、结构、设计以及使用情况等，提出您宝贵的意见、建议和要求，我们将继续提供优质的售后服务。

联系人：舒刚（经管类图书策划人）

电话：134 0715 4673

E-mail: sukermpa@yahoo.com.cn



武汉大学出版社（全国优秀出版社）

谨以此书献给

毛纺行业生产与研发科技工作者和工程技术人员

天津德凯化工股份有限公司

总经理 张克辉

译序

天津德凯化工股份有限公司为了推广新技术、新工艺和新产品,使生产的染化产品能更好地服务于纺织行业,将英国利兹大学 David M Lewis 教授主编的《羊毛染色》一书翻译成中文出版,旨在为纺织印染业和染料业提供一本内容详尽、全面,技术先进、可靠的学术著作。

该书从羊毛的结构和性质、染色理论、各种毛用染料的特点和应用工艺、混纺毛织物的特殊性等各个方面全面介绍了羊毛染色,既有理论阐述,又有具体翔实的生产工艺指导,是一本关于羊毛染色的全面且权威的书籍。

全书委托天津工业大学翻译。由张健飞教授组织安排,陈克宁教授会同部分专业人员进行翻译。其中前言和第一章由宋林艳翻译,第二章由李珂翻译,第三章由张卫玲翻译,第四章由高普翻译,第五章由潘红琴翻译,第六章由高璨翻译,第七章和第八章由刘丽军翻译,第九章由黄占林翻译,第十章由翟丽丽翻译,全书由陈克宁校对统稿。

天津德凯化工股份有限公司

2010年5月

原序

C. L. Bird 编著的《羊毛染色的理论与实践》是由英国染色工作者学会出版的畅销教科书之一。这本书第一版在 1947 年发行并出版至第四版。自该书第一版发行以来,羊毛染色的技术出现了重大的变革,包括真正意义上且有着严格色牢度要求的机可洗羊毛,以及越来越受重视的环境压力,尤其是要求改进铬媒染料染色工艺的压力。

现今羊毛大约只占纤维市场总量的 4%,但是却受到了高度重视,尤其是在舒适性和悬垂性方面。希望这本书能给读者留下这样的印象,即羊毛染色是一个有活力的创造性领域。这就需要我们一方面理解羊毛纤维的化学性质和形态结构,另一方面理解羊毛的染色过程,以及两者之间复杂的相互作用。本书的每一章都是由在相关领域有丰富经验的专家执笔的。本书亦可作为学生们参加英国染色工作者学会入会考试的应试资料。

本书书名为《羊毛染色》,但是有一章却是关于在羊毛加工中非常重要的羊毛印花的。本书是染色家出版公司(Dyers' Company Publications Trust)一系列出版物中的最新作品,是英国染色工作者学会在伦敦染色家同业公会(the Worshipful Company of Dyers)的大力协助下完成的。主编在这里向所有作者和审稿者致谢,并向英国染色工作者学会教科书委员会成员和英国染色工作者学会所有员工的杰出贡献表示感谢。特别要感谢 Paul Dinsdale(英国染色工作者学会编辑)、Jean Macqueen 认真仔细的编辑工作,感谢 Susan Petherbridge 和 Elaine Naylor 细致的文字录入、图表制备和整理装订工作,给各位作者提供便利条件的人们在此一并表示感谢。

目 录

第一章 羊毛结构	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 羊毛的成分	(2)
1.3 羊毛的化学结构	(4)
1.4 羊毛的形态结构	(11)
1.5 羊毛的化学反应性	(24)
1.6 纤维结构对羊毛染色的影响	(25)
参考文献	(31)
第二章 羊毛染色的理论基础	(38)
2.1 引言	(38)
2.2 羊毛的形态结构	(38)
2.3 羊毛的化学组成	(41)
2.4 羊毛—水体系	(42)
2.5 毛用染料	(43)
2.6 羊毛的染色理论	(49)
2.7 羊毛的化学改性	(54)
2.8 标准亲和力和染色热	(58)
2.9 染色速率	(58)
2.10 总结	(61)
参考文献	(61)
第三章 助剂在羊毛染色中的作用	(65)
3.1 引言	(65)
3.2 羊毛染色助剂的表面活性	(65)
3.3 增白剂	(69)
3.4 匀染剂	(70)
3.5 毛混纺织物染色中的缓染及防染剂	(75)
3.6 抗沉淀剂	(75)
3.7 羊毛保护剂	(76)
3.8 羊毛低温染色助剂	(76)

3.9 染疵修正助剂	(78)
3.10 改善湿处理牢度的助剂	(78)
3.11 减少铬残留量的助剂	(79)
3.12 防霜花剂	(79)
3.13 螯合剂	(80)
3.14 总结	(81)
参考文献	(81)
第四章 羊毛染色的前处理和后整理	(82)
4.1 引言	(82)
4.2 洗毛	(82)
4.3 羊毛漂白	(83)
4.4 羊毛炭化	(87)
4.5 防缩整理	(88)
4.6 防蛀整理	(94)
4.7 阻燃整理	(99)
4.8 提高羊毛耐光稳定性的整理	(100)
参考文献	(100)
第五章 羊毛染色设备	(103)
5.1 引言	(103)
5.2 毛条染色设备	(103)
5.3 散毛染色设备	(106)
5.4 绞纱染色设备	(109)
5.5 筒子纱染色设备	(114)
5.6 匹染设备	(121)
5.7 成衣染色设备	(124)
5.8 地毯的匹染设备	(126)
5.9 染厂自动化设备	(127)
参考文献	(130)
第六章 羊毛的酸性染料和铬媒染料染色	(131)
6.1 引言	(131)
6.2 酸性染料染色	(131)
6.3 铬媒染料染色	(138)
参考文献	(145)

第七章 羊毛的金属络合染料染色	(147)
7.1 引言	(147)
7.2 1:1型金属络合染料染色	(153)
7.3 1:2型金属络合染料染色	(158)
7.4 总结	(166)
参考文献	(166)
第八章 羊毛的活性染料染色	(168)
8.1 引言	(168)
8.2 商品毛用活性染料	(169)
8.3 活性染料的化学反应性	(169)
8.4 助剂选择及染色工艺	(175)
8.5 新型毛用活性染料	(191)
8.6 纤维上染座的确定	(193)
8.7 总结	(194)
参考文献	(195)
第九章 羊毛混纺织物的染色	(197)
9.1 引言	(197)
9.2 羊毛与棉混纺织物的染色	(198)
9.3 羊毛与蚕丝混纺织物的染色	(211)
9.4 羊毛与锦纶混纺织物的染色	(215)
9.5 羊毛与涤纶混纺织物的染色	(224)
9.6 羊毛与腈纶混纺织物的染色	(239)
9.7 总结	(246)
参考文献	(247)
第十章 羊毛织物印花	(250)
10.1 引言	(250)
10.2 印花前处理	(250)
10.3 直接印花	(254)
10.4 拔染印花	(259)
10.5 防染印花	(262)
10.6 羊毛混纺织物的印花	(265)
10.7 冷堆印花	(267)
10.8 转移印花	(268)
10.9 新颖效果印花	(270)
参考文献	(271)

第一章 羊毛结构

1.1 引言

纺织工业对于来自于各种动物的纤维需求量很大,其中以羊毛最有商业价值。早期品种绵羊的羊毛,其颜色并不是现在羊毛所呈现的灰白色,而是呈褐色的^[1]。羊毛的外层是粗糙的毛发(粗毛),内层是细绒毛,粗毛和细绒毛都是每年剪一次。早期人们驯养绵羊并不是为了它们的毛,而是把羊当做食物和皮张的来源。因为天然纤维的生物降解作用,古代织物的样品没有保存到现在,所以我们并不清楚羊毛是从什么时候开始作为织物材料的,但是考古学发现,最早来自于动物纤维的织物可能是一块毛毡。

随着绵羊的驯化和品种的选择,羊毛越来越细。羊毛染色的发明在早期绵羊品种的选择上可能扮演了重要的角色,因为染色要求较白的羊毛。虽然人们仍不清楚使用染色羊毛的具体时间,但可以肯定这至少是在几千年前的古埃及时代。

羊毛是根据它的纤维直径和长度进行分类的。绵羊的种类和羊毛的特点列于表 1-1 中。美利奴羊是最重要的细毛羊品种,起源于中世纪的西班牙。这个品种如此珍贵以至于在 18 世纪之前不允许出口。后来美利奴羊被引入其他国家,这其中最值得注意的是澳大利亚,在那里绵羊的品种经过逐渐改良,产出的羊毛广受赞誉,具有优越的细度、长度、染色性能、光泽和卷曲度。图 1-1 是扫描电子显微镜下的美利奴羊毛。

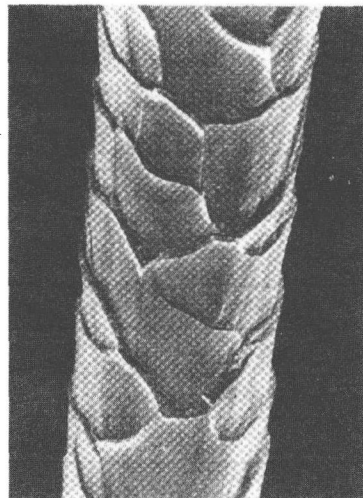


图 1-1 扫描电子显微镜下的纯净美利奴羊毛

表 1-1 主要绵羊品种的羊毛性质^[2]

品 种	平均纤维直径范围/ μm	毛长度范围/mm	纤维类型
美利奴羊	17~25	60~100	细
考力代羊	28~33	75~125	中级
罗姆尼羊	33~37	125~175	长,有光泽
库普沃斯羊	35~39	125~175	粗糙,长,有光泽
派伦代尔羊	31~35	100~150	长,蓬松
波瓦思羊	23~26	75~100	中细

续表

品 种	平均纤维直径范围/ μm	毛长度范围/mm	纤维类型
林肯羊	39~41	175~250	长,有光泽
莱斯特羊	37~40	150~200	长,有光泽
萨福克羊	30~34	75~100	短,蓬松
汉普夏羊	26~30	50~75	短,蓬松
切维奥特羊	28~33	75~100	蓬松,光泽度差
黑面羊	40~44	180~280	粗糙

1.2 羊毛的成分

原毛含有 25%~70% 的杂质(表 1-2),包括羊毛脂、汗液(脂汗)、尘埃及毛刺和种子等植物性杂质^[2]。羊毛脂是各种酯类物质和脂肪酸的复杂混合物,而脂汗主要是由脂肪酸类的钾盐和一些硫酸盐、磷酸盐、含氮物质组成的^[3]。羊毛脂、脂汗和尘埃通过洗毛可以除去^[4,5]。植物性杂质可以通过精纺加工中的粗梳和精梳除去^[6],还可以通过粗纺加工中的炭化除去^[7,8]。本章所讨论的羊毛是上述表面污物都被除去以后的纤维材料。

表 1-2 原毛的组成/%^[2]

羊毛类型	羊毛脂和脂汗	沙粒和尘埃	植物性杂质	羊毛纤维
美利奴毛	15~30	5~40	0.5~10	30~60
中粗杂交毛	15~30	5~20	1~5	40~65
长毛	5~15	5~10	0~2	60~75

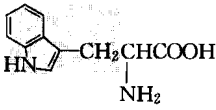
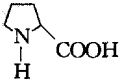
羊毛是角蛋白的一种。角蛋白(keratins)一词源于希腊语,意为“角质”。但其精确的定义目前尚不清楚,因为角蛋白的来源和结构太过复杂^[9]。人们曾经根据角蛋白触觉的软硬来分类^[10]。硬角蛋白如羊毛、毛发、蹄、角、爪、喙和羽毛等的显著特点是其比软角蛋白如皮肤中的硫含量更高(超过 3%)^[11]。硫主要以胱氨酸残基的形式存在(表 1-3)。根据 X 射线衍射图像的不同角蛋白又可分为 α 型和 β 型^[10-12]。未拉伸的羊毛纤维的 X 射线衍射图是典型的 α 型角蛋白,而羽毛类的 X 射线衍射图是 β 型角蛋白。拉伸的羊毛纤维的 X 射线衍射图较接近于 β 型角蛋白的特征。

虽然被归类为角蛋白,实际上洗净羊毛的角蛋白类蛋白质含量只有大约 82%,其特点是胱氨酸含量高(表 1-6)。羊毛中有大约 17% 的蛋白质成分为非角蛋白,因为这些蛋白质的胱氨酸含量较低^[13-16]。羊毛成分中还有大约 1% 的非蛋白质物质,其主要组成为蜡脂和多糖类物质。这些非角蛋白类蛋白质和蜡脂在羊毛中不是均匀分布的,而是集中在某些特定区域。它们的聚集部位及在决定羊毛性能方面的重要性将在后面讨论。

表 1-3 羊毛中主要氨基酸的结构和含量

氨基酸	结构 ^(a)	摩尔分数/%		侧链的性质
		[33,93]	[198]	
甘氨酸	$\begin{array}{c} \text{HCHCOOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	8.6	8.2	烃
丙氨酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCOOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.3	5.4	烃
苯丙氨酸	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CHCOOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.9	2.8	烃
缬氨酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCHCOOH} \\ \quad \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	5.5	5.7	烃
亮氨酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CHCOOH} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}$	7.7	7.7	烃
异亮氨酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHCHCOOH} \\ \quad \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	3.1	3.1	烃
丝氨酸	$\begin{array}{c} \text{HOCH}_2\text{CHCOOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	10.3	10.5	极性
苏氨酸	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{CCHCHCOOH} \\ \quad \\ \text{HO} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	6.5	6.3	极性
酪氨酸	$\begin{array}{c} \text{HO-C}_6\text{H}_4\text{CH}_2\text{CHCOOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	4.0	3.7	极性
天冬氨酸 ^(b)	$\begin{array}{c} \text{HOOCCH}_2\text{CHCOOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	6.4	6.6	酸性
谷氨酸 ^(c)	$\begin{array}{c} \text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{CHCOOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	11.9	11.9	酸性
组氨酸	$\begin{array}{c} \text{Imidazole-CH}_2\text{CHCOOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	0.9	0.8	碱性
精氨酸	$\begin{array}{c} \text{NH}_2\text{CNH}(\text{CH}_2)_3\text{CHCOOH} \\ \quad \\ \text{NH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	6.8	6.9	碱性
赖氨酸	$\begin{array}{c} \text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{CHCOOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	3.1	2.8	碱性
甲硫氨酸(蛋氨酸)	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{CS}(\text{CH}_2)_2\text{CHCOOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	0.5	0.4	含硫
胱氨酸 ^(d)	$\begin{array}{c} \text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{SSCH}_2\text{CHCOOH} \\ \quad \\ \text{NH}_2 \quad \text{NH}_2 \end{array}$	10.5 ^(e)	10.0 ^(e)	含硫

续表

氨基酸	结构 ^(a)	摩尔分数/%		侧链的性质
		[33,93]	[198]	
色氨酸		见正文	见正文	杂环
脯氨酸		5.9	7.2	杂环

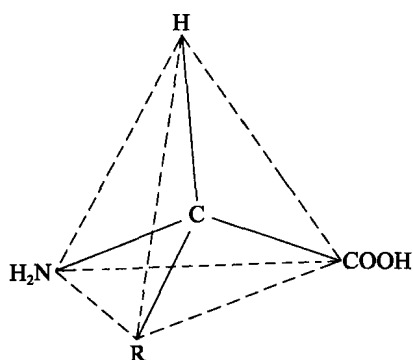
注 (a)阴影代表独立的侧链;(b)包括天冬酰胺剩基(见正文);(c)包括谷氨酰胺剩基(见正文);(d)包括氧化副产物,磺基丙氨酸;(e)表中数值是半胱氨酸的测定结果(见正文)。

1.3 羊毛的化学结构

人们对纤维状蛋白质特别是羊毛的结构已经研究了许多年。这个领域逐渐增加的知识可以进行如下分类^[10,11,13-27]。

1.3.1 蛋白质的一般化学结构

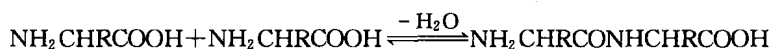
蛋白质是相对分子质量(rmm)很高的天然高分子。蛋白质类物质在自然界的分布很广,是动植物组织的必需成分。蛋白质的基本结构单位是 α -氨基酸, α -氨基酸具有结构式1-1所示的通式,通式中侧链R可以是脂肪族、芳香族或是其他的环状结构。



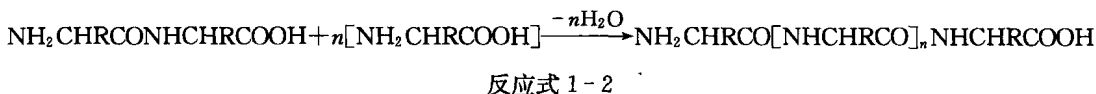
结构式 1-1

除甘氨酸外,其他从蛋白质分离出来的氨基酸因为有不称碳原子的存在而具有旋光性。和其他天然蛋白质一样,羊毛中具有旋光活性的氨基酸都是左旋的。它们具有四面体构型,碳原子在四面体的中心位置,如结构式1-1所示。当沿着C—H键方向观察这个示意图时,沿顺时针方向依次是R、NH₂和COOH基团。

蛋白质是L- α -氨基酸通过羧基和氨基的缩聚反应形成的。两个氨基酸分子可以缩聚形成一个二肽(反应式1-1);更多相同氨基酸或不同氨基酸的缩聚反应可以形成线性聚合物(反应式1-2)。这样的聚合物可以看做是聚酰胺,因为每个结构单元都是通过一个酰氨基结合的。而蛋白质的重复单元(—NHCHRCO—)是肽基,包含多个肽基的化合物称为多肽。肽基也可以看做是一个氨基酸剩基,因为它是缩聚反应(反应式1-1)发生后氨基酸上残留的部分。



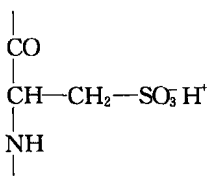
反应式 1-1



1.3.2 羊毛的氨基酸组成

羊毛完全水解后的混合物含有如表 1-3 所示的 18 种氨基酸。Fletcher 和 Buchanan 总结了分析羊毛水解产物的各种技术^[28]。文献^[17,19,20,22,31-33]对羊毛整体和纤维中各种组成成分中的氨基酸进行了分析。表 1-3 列出了美利奴羊毛中氨基酸的两种分析结果。

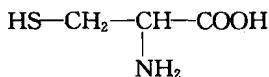
不同人员测出的氨基酸含量数值上通常会有很大差异。虽然有些差异是由实验误差引起的,但另一些却可能是由某些因素引起的真实差异^[29,30]。氨基酸成分的显著不同是存在的,这不仅发生在同一品种不同个体的羊身上,即使是同一只羊身上不同长度纤维分析得出的氨基酸成分也是不同的^[34]。这些差异是受遗传基因^[35,36]、生理状态^[34]和营养状况^[37,38]影响的。特别是羊毛中胱氨酸的含量明显受饮食改变的影响。背部毛的风化情况也会对氨基酸含量变化产生影响,同样,变化比较显著的是胱氨酸,胱氨酸经常被氧化为磺基丙氨酸(结构式 1-2)^[7,29]。样品测试前的清洁方法可能也会影响分析结果^[29],特别是从羊毛内部提取的不稳定物质的提纯过程。



结构式 1-2

羊毛的完整分析结果只通过酸水解是无法得到的,因为有一些氨基酸,特别是丝氨酸和苏氨酸会在水解过程中逐步降解,而色氨酸已被完全破坏。为了解决这个难题,各种改进技术不断涌现,例如,使用丝氨酸和苏氨酸校正因子^[28];对于色氨酸,可以采用对甲苯磺酸和色胺的混合物作为水解反应介质^[39];羊毛还可以用酶进行分解^[40,41],通过这种方法测得色氨酸的浓度在 0.5%(摩尔分数)左右。

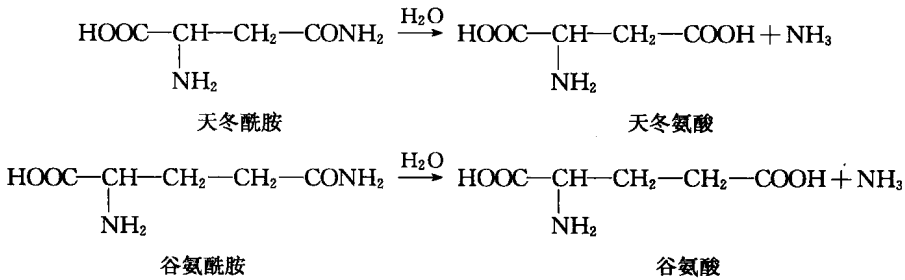
羊毛样品通常含有胱氨酸和少量其还原状态下的前体巯基丙氨酸(结构式 1-3)^[30]。胱氨酸和巯基丙氨酸会发生部分酸性水解,现在可以通过一些非水解的方法来测定它们的含量^[42]。和许多研究者一样,在这一章中,胱氨酸的含量是用它的还原产物巯基丙氨酸(又称半胱氨酸)含量来表示的。半胱氨酸值中通常含有少量在大多数羊毛中都存在的巯基丙氨酸和一些氧化产物,如磺基丙氨酸。



结构式 1-3

除了表 1-3 中的氨基酸侧链,羊毛中还含有天冬酰胺和谷氨酰胺侧基的酰胺侧链。在酸水解的过程中这两种物质会转变为它们相应的酸(反应式 1-3),故酸水解条件下天冬氨酸和

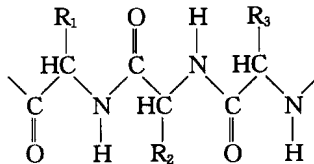
谷氨酸的量是初始天冬氨酸和谷氨酸含量与从天冬酰胺和谷氨酰胺剩基转变得到的氨基酸的总和^[30]。在溶解时为了避免天冬氨酸和谷氨酸的水解,可以用酶来分解羊毛^[41,43,44]。这项技术使得以上四种物质的含量可以分别测定。天冬氨酸+天冬酰胺和谷氨酸+谷氨酰胺两部分中天冬酰胺和谷氨酰胺出现的比例分别为 60%和 45%^[41,43,44]。



反应式 1-3

1.3.3 羊毛中氨基酸的分布

羊毛多肽的一般结构如结构式 1-4 所示,式中 R₁、R₂、R₃ 表示氨基酸的侧链。人们确信羊毛上有相当比例的多肽链以 α-螺旋结构存在。这个有序排列是在 1.2 节中讨论的出现 α-角蛋白 X 射线衍射图像的原因^[10,21]。



结构式 1-4

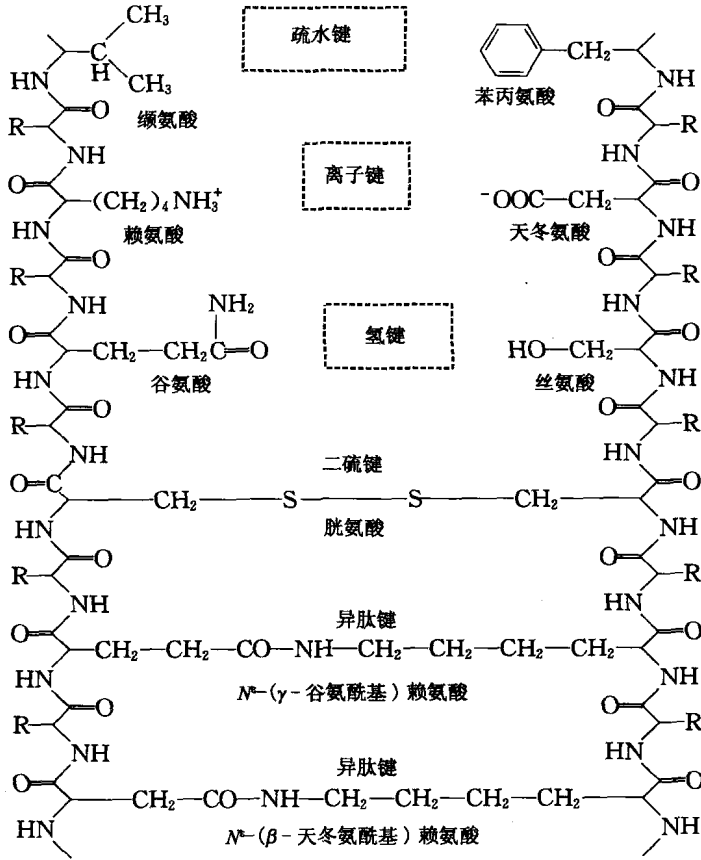
不同的氨基酸侧链在尺寸和化学结构上有很大差异(表 1-3)。甘氨酸、丙氨酸、苯丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸等氨基酸的非极性烃基侧链具有疏水特性和很低的化学反应性。丝氨酸、苏氨酸、酪氨酸等氨基酸含有羟基基团,使得侧链具有了极性。这些基团比烃基具有更高的化学反应活性,尤其是在碱性条件下。这些含有酸性或碱性基团的侧链可能对羊毛的性能(包括染色性能)造成显著的影响。在天冬氨酸和谷氨酸中含有酸性基团羧基,而在组氨酸、精氨酸和赖氨酸中,分别含有碱性侧链——咪唑、胍基和氨基。

脯氨酸和上述情况有些不同,严格地说,脯氨酸是亚氨基酸而不是氨基酸。它没有其他羊毛氨基酸从主链上伸出的侧链^[29],由于亚氨基和羧基的取向,连接脯氨酸与多肽的键几乎呈直角。所以脯氨酸的存在对蛋白质的构象有显著影响。脯氨酸的大量存在导致了螺旋结构的产生^[21]。

羊毛中各个肽链以不同类型的共价交联和非共价相互作用结合在一起(结构式 1-5)。这些作用除了出现在各个独立的多肽链之间(链间作用),也可能出现在同一链上的不同部位(链内作用)。对于羊毛的性质和性能,链与链之间的作用更重要。

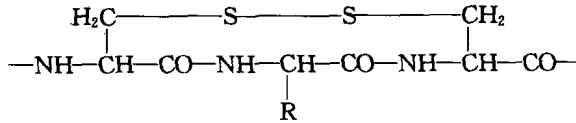
(1) 共价键交联

除了一小部分硫元素存在于甲硫氨酸中,其他的硫都存在于胱氨酸中。它形成于羊皮角质



结构式 1-5

化时或者纤维硬化时皮肤的毛囊中^[10]。胱氨酸中的二硫键,在不同的肽链之间(如结构式 1-5 所示链与链之间的交联),或者在同一肽链的不同部分(结构式 1-6)间形成交联^[45]。胱氨酸肽链间的交联可以看做梯子的阶梯^[45],能使角蛋白具有比其他蛋白质更高的稳定性和更低的水溶性。羊毛中二硫键的断裂和重排在工业生产(如羊毛的防缩和定形)中很重要。



结构式 1-6

另一种在羊毛上发现的共价键交联是异肽键^[41,46,47]。异肽键交联是由赖氨酸的 ϵ -氨基和天冬氨酸或谷氨酸上的 β -羧基或者 γ -羧基形成的。R. S. Asquith 等人^[47]确信这些基团使多肽链之间产生交联,如结构式 1-5 所示。在氨基酸的酸性水解产物中没有发现这些键的存在,这是因为在水解条件下,包括异肽键在内的所有肽键都断裂了。然而羊毛经酶处理后的预分析可以确定这些键的存在。R. S. Asquith^[45]也确信 ϵ -(γ -谷氨酰基)赖氨酸异肽键的含量远远大于 ϵ -(β -天冬氨酰基)赖氨酸交联。