摘　要

由于具有悬垂性能好、吸湿散湿快、防腐防臭、可消散音波和阻隔紫外线辐射、相对其他麻类纺织品刺痒感较小、在种植过程中无需喷施肥料与杀虫剂以及可被生物降解等独特优异性能，大麻纤维及其纺织品倍受瞩目。但无论国内国外，目前利用大麻纤维所生产的产品档次多为中档及以下水平，不能充分体现出大麻的优异性能。

大麻能否制成纺织品，取决于其是否具有可纺性。尽管与纤维可纺性相关的因素包括纤维（束）的长度、细度和强度（断裂）等，但实际上，真正对可纺性具有举足轻重影响的是大麻脱胶效果。缘于此，本论文进行了以下的研究工作：

1、 借鉴现有的其他麻类化学脱胶工艺研究的成果，找出一种快速高效的大麻化学脱胶新工艺；

2、 利用正交设计试验方法，对该工艺中预处理工序的各参数对脱胶效果（胶质和木质素去除率）的影响进行分析对比，找出主要的工艺参数；

3、 利用二次通用旋转组合设计研究主要工艺参数和脱胶效果及精麻品质指标之间的关系，并对精麻化学成分与工艺纤维长度、细度间的关系及大麻不同部位的脱胶效果进行对比。

通过试验分析，在本课题的研究条件下，得到如下的主要结论：

1、 大麻利用预尿氧处理和一煮法相结合的化学脱胶工艺，不但可以大大缩短脱胶时间和降低能耗，而且脱胶效果也非常理想，并有提高大麻可纺性的潜力；

2、 影响大麻预尿氧处理效果的主要因素为双氧水浓度、预处理时间，温度对大麻胶质的去除效果影响较大，而 pH 值对大麻木质素的去除效果影响较大。使大麻取得相对最好的脱胶效果的最优工艺参数配置为：双氧水浓度：6～7g/l，预处理时间：10～11min，pH 值 5 左右；

3、 预处理中各工艺参数对大麻原麻各部位脱胶效果和精麻品质指标（工艺纤维长度和细度）影响的规律性是有显著不

同的。各部位有各自不同的有效回归方程；

4、 大麻根、中、梢各部位的化学成分具有很大的差异，导致它们经同一脱胶方案处理后脱胶效果不同；

5、 大麻工艺纤维的细度与长度符合“长而粗，短而细”的关系，与其他麻类基本相同。

关键词：预处理，胶质去除率，木质素去除率，脱胶效果，精麻品质指标

学生：杨红穗

导师：张元明副教授

1999 年 12 月

Research of Improving Hemp Chemical Degumming Effect

Abstract

Owing to good drapability, fastness of moisture absorption and liberation, odor resistant, antiseptic, noise elimination, resistance to ultra-violet-radiation, less scratchiness, no need to spray chemicals and pesticide and biodegradability and so on, hemp fiber and its product are paid so much attention today. But whether at home or abroad, the quality of most presented products made of hemp fiber are middle grade or less, which cannot fully demonstrate nature properties of hemp.

Whether hemp can be made into textiles or not is determined by its spinnability. Although the factors related to fiber spinnability include length, fineness and strength (breaking) of fiber (or technical fiber), in fact, the most important depends on the effect of degumming. Therefore, the thesis mainly deals with the followings:

1. On the basis of studying some new chemical degumming techniques of other bast fibers, a hemp fast chemical degumming technique will be given;
2. Adopting the orthogonal experimental design to study the effects of some parameters of the pretreatment in this technique on the efficiency of wiping off hemp gelatine and lignin and pick out the main parameters;
3. Adopting the universal rotatable experimental design to obtain the regression equations with high precision and the relations between the main parameters (hydrogen peroxide concentration, the time of pretreatment and acid-base properties) and the efficiency of wiping off gumming and lignin and the fineness and length of degummed hemp technical fiber. Meanwhile, The contrast between hemp chemical component and the length and fineness of technical fiber, and the degumming effect of hemp different parts (root part, middle part and tip part) are also studied;

Under the specified conditions in this project, we obtained the following conclusions:

1. The hemp fast chemical degumming method, which pre-impregnated hemp with hydrogen peroxide and urea and then scoured it once, will shorten the time of degumming and reduce the consuming of energy. It also has good effect and can increase spinnability.
2. The main parameters that affect the efficiency of wiping off hemp gelatine and lignin are hydrogen peroxide concentration and

pre-treatment time. Temperature has more effect on wiping off gelatine, while acid-base properties on lignin. The best combination of those parameters for the best degumming effect is: hydrogen peroxide concentration: 6~7, pretreatment time: 10~11, acid-base properties: about 5.

3. The law that the parameters of pretreatment affect the efficiency of wiping gum and lignin and the quality indexes of hemp different parts is obviously different. And the parts have their own regression equations.
4. The different parts of hemp have different chemical component contents, which results the different degumming effects.
5. The law of hemp technical fiber, that is, the longer is the coarser and vice visa, is basically as same as that of the other bast fibers.

Keywords: pretreatment, the efficiency of wiping off gum, the efficiency of wiping off lignin, degumming effect, degummed hemp quality index

Yang Hongsui (Textile Engineering)
Directed by Associate Professor Zhang Yuanming
December in 1999

目 录

文摘
英文文摘
第一章概述

第一节简述
第二节 大麻纤维及其纺织品的优异性能
第三节 大麻纤维可纺性及纺纱技术研究现状
第四节 本课题的目的、意义和研究内容
第二章课题试验的理论依据
第一节 大麻纤维化学组成及其化学性质
第二节 大麻脱胶的目的
第三节 化学脱胶的机理与新工艺
第四节 本课题的理论依据
第三章 大麻化学成份分析
第一节 目的和意义
第二节 方法和步骤
第三节 结果与讨论
第四节 小结
第四章预处理工艺方案的确定
第一节试验的理论基础
第二节试验设计
第二节方法和步骤
第三节结果及讨论
第四节 添加助剂对大麻脱胶效果的影响
第四节小结
第五章影响脱胶效果的主要预处理工艺参数的选择
第一节 目的和意义
第二节试验设计
第三节 方法和步骤
第五节结果与分析
第六节小结
第六章预处理工艺参数的旋转优化
第一节 目的和意义
第二节试验设计
第三节 方法和步骤
第四节试验结果和回归方程求解
第五节 工艺参数的优化
第六节小结
第七章工艺纤维长度和细度
第一节试验设想
第二节试验原理及方法、步骤
第三节小结

第八章结论
参考文献
附录一 回归方程求解程序
附录二 随机方向搜索法的程序流程图
附录三 随机方向搜索法程序
致谢

第一章　概述

第一节　简述

大麻[1][2][3][4]为大麻科大麻属一年生草本作物，学名 Cannabis Salival,俗名汉麻、寒麻、线麻、种麻、火麻、魁麻、开麻、井麻、府麻、好麻、花麻等，英文名 hemp 或 true hemp 或 common hemp，是世界上栽培最古老的纤维作物之一。

据有关资料统计，大麻品种达 150 个左右。按照用途来分，一般可分为纤维用、油用与药用大麻三类。按照成熟期来分，可分为早熟与晚熟品种。我国的大麻品种主要有线麻和魁麻两大类，其中线麻为早熟品种，品质优良，纤维素含量较高，魁麻为晚熟品种，纤维粗硬，含胶量较高。

1. 栽培简史

大麻的栽培历史悠久。据记载，在 4000 年前，西西耶人已在伏尔加河流域栽培大麻，传人欧洲约在公元前 1500 年左右。在公元前 1400 多年，伊朗人已用来作麻醉剂。公元前 270 年，高卢人已用大麻做船舶上的绳索。印度在 4000 年前，已用大麻作麻醉剂或利用雄花代替烟草，或取茎叶的胶汁做饮料。在 17、18 世纪前，大麻与亚麻均为欧洲最重要的纤维资源。K. Drury 在 1995 年的一篇文章中认为，直至 19 世纪，80%的服装中应用有大麻纤维。

我国古代已经栽培大麻。河南曾出土商代的大麻布残片。在古书《尔雅》中记载有“汉麻雄者名枲麻，雌者为苴麻”，说明我国在 4000 多年前，已经栽培利用大麻，并能鉴别出大麻的雌、雄株。大麻织物是我国古代封建王朝的贡品。西周王室还设置了“典枲”的官职，专门掌管麻（大麻）和苎（苎麻）的纺织生产。

2. 分布状况

大麻的原产地有印度、伊朗、喜玛拉雅山到西伯利亚一带及我国等。我国北部和东北部都有野生大麻。现在欧美的大麻，大都由亚洲传入，其中美国凯太克州大麻是在 1875 年由我国浙江传入的。

我国古代大麻主要分布在黄河中、下游。秦、汉时代，齐、鲁为大麻的主要产区。自唐朝以后移向长江流域及以北地区。目前，我国栽培大麻已分布全国，自亚热带至北温带都有栽培，但以长江以北为主要产区。栽培面积最多的有黑龙江、吉林、辽宁、山西、安徽、山东等省，其中以河北蔚县麻、山西潞安麻和山东莱芜麻品质最优。我国大麻种植面积与产量都居世界首位。仅据 1996 年的统计资料，年产量达 6.5—7.0 万吨，占世界总产量的三分之一左右。

3. 用途

大麻是重要的纤维作物之一，纤维较亚、苎麻差，较坚韧，耐久耐腐蚀性较强，强度较高，吸放湿快，可用它纺织麻织物、制作渔网、绳索、麻线、席经等。大麻也是制造现代高级卷烟纸甚至钱钞等的首选原料。大麻的种籽在日本称苎实，充调味香料及养鸽等鸟类的饲料。种籽中含油 30%，油很香为黄褐色，除食用外，可制造干性油，肥皂、油漆和染料、大麻油饼可作精饲料及肥效很高的有机饲料。除油分外，麻籽中还含有 16.3%的蛋白质，21.3%的碳水化合物和维生素 B，可用于制取植物蛋白、维生素氨基酸等。大麻的茎、叶、花的酒精浸出物可供药用，有止痛、麻醉、兴奋大脑和催眠的作用，是一种镇静剂和催眠剂。它的磷酸制剂能作为贫血、神经衰弱以及其他疾病的滋补剂。在中药中，大麻仁可用作通大便和催生之用。大麻还是造纸工业的重要原材料。总而言之，大麻在纺织业、轻工业、建筑业、化学工业、交通运输、国防工业以及农、牧、林、副业等方面和部门都得到了广泛的应用，也是出口创汇的重要物资。

4. 大麻纤维的理化性能

大麻纤维细胞长度平均为 20mm，最小为 5mm，最长为 55mm；宽度

平均 22μm，最小 16μm，最宽 50μm。纤维表面有许多纵线条，节上有条状裂痕，端部钝圆，有时有分叉。从横切面看，纤维细胞呈圆形或多角形，中腔呈线形或椭圆形，胞壁增厚的层次明显。

大麻纤维本色为淡黄白色，有光泽。色泽与生育期过程的情况、收获期及脱胶等有密切关系。日晒时间长，也可变成黄色，光泽减弱。其强力高于棉及亚麻，伸长度差，耐水性较强，发酵较困难。吸湿较慢，放湿较快。干燥状态下的强力要高于润湿状态。单纤维细度为 3.44±2.42dtex。

大麻纤维的化学成份主要为纤维素，次为木质素等。木质素的含量较黄洋麻稍低，比苎、亚麻为高。遇碘一硫酸溶液呈绿色，遇氯化锌溶液呈紫黄色，遇碘一氯化锌溶液呈蓝色或紫色，遇铵溶液呈浅紫色，遇硫酸靛青呈微黄或无色，用斯惠兹试剂处理，纤维不规则地膨胀。

第二节　　大麻纤维及其纺织品的优异性能

由于药用大麻多年来一直被用来炼制毒品，其危害性之大令世人谈虎色变，以致于人们几十年来除了将大麻视作毒品而别无他想。但是近年来，通过对纤维用大麻所得到的大麻纤维及其纺织品的分析研究，人们惊喜地发现，大麻不仅仅是毒品的代名词，大麻竟然具有那么多的优点：

[5][6]尽管棉产量达到世界纺织纤维产量的一半左右，棉花的种植也一直被人们认为是无害的。然而实际上，因为棉花在整个种植期间会出现棉铃虫、棉蜘蛛等虫害，需要喷洒较多的杀虫剂，Michael Ryder 博士在 1995 年的文章中认为 3%的农用棉地就需高达 15%的杀虫剂；同时，棉花的生长也需要在适当的时候喷施肥料，因此棉花的种植引起了严重的环境和人类健康问题。而大麻在种植期间则无需杀虫剂和肥料，不会造成土地污染，环境生态友好，并且一亩地可收获两到三倍于棉花的大麻纤维。大麻的种植收获期也较短，经济效益好。

大麻[7][8]可与棉、麻、毛及化纤进行混纺，也可以进行大麻纯纺，所得纺织品悬垂性能、抗静电性能较好，产品挺括，风格别致，吸湿性

良好，散湿快，穿着凉爽不贴身，与棉织物穿着时相比，可使人体感觉温度低 5℃左右，即使在气温高达 38℃及以上的酷暑也不会觉得热不可耐。此外，大麻纺织品还具有抗霉抑菌、防霉、防臭、防腐、消散音波、耐热绝缘、坚牢耐用等其它纺织品不可比拟的优点。

天文医学认为；人类的许多疾病都与太阳相关，过度的紫外线侵袭，轻则使人反应迟钝，记忆力、注意力和视力下降，易激动、焦躁、血栓过早形成，导致早衰；重则诱发心、脑血管病、血管栓塞并发症，心脏病、脑溢血、心肌梗塞、白内障、动脉粥样硬化、静脉曲张、白血病和皮肤癌等 25 种恶疾。而据外电报道，北极上空的臭氧已减少到有记录以来的最低水平，由于臭氧层日益变薄，致使太阳发出的紫外线长驱直入地穿过“双重保护层”，直接照射于人体。因此，防止紫外线辐射，减少紫外线对人类生存危害已成为当今科研攻关的重要课题之一。但是，普通衣着仅能阻隔 30－90%的紫外线，相形之下，一般大麻织物，无需特别的整理，即可屏蔽 95%以上的紫外线，大麻帆布等甚至能 100%阻挡紫外线的辐射。

普通麻类织物，如苎麻、亚麻、黄麻、红麻织物由于纤维自身特性及加工的原因，贴肤穿着对皮肤有不同程度的刺痒感，而大麻单纤维比重轻于亚麻和苎麻，细度仅为苎麻的三分之一，与棉纤维相当，且纤维端部呈钝角，故此用大麻纤维制成的纺织品手感柔软滑爽，对皮肤无刺痒感[7]。HEMPTEC 的总裁[5]在 1997 年提出，如果能够将大麻加工的更细些，大麻制品甚至能成为亚麻制品的强有力的竞争者。

Tencel 纤维[9][10]是近年来几乎为整个世界所关注的“绿色纤维”，它的生物可降解性、无污染性等等使得世人对它刮目相看。另外，利用回收的软饮料瓶生产聚酯纤维也一直受到人们的青睐。但 K.Drury 在 1995 年对上述两种纤维原料及大麻进行对比之后，却认为大麻可能将会是三种原料中最为成功的，因为 Tencel 与回收的软饮料瓶总归是由其他化工原料加工出来的，一旦用于加工它们的原料缺乏也就无所谓 Tencel 和回收的软饮料瓶制成的纤维了，而大麻只要有种植就不会存在这一问题。

第三节　大麻纤维可纺性及纺纱技术研究现状

然而[5]，自近代以来，由于大麻中所含的对人体具有麻醉、兴奋大脑与催眠作用的 THC 化学成份被大量用来制造兴奋剂与毒品，从而危及整个人类的生命和安全，甚至一度使得世界上许多国家对大麻谈虎色变，大麻几乎成为毒品的代名词。因此自 1930 年代开始，多数西方国家明令禁止种植大麻，大麻的产量逐年下降，大麻应用的研究也因而趋于停顿状态。

进入九十年代以来，由于全球环境污染问题的日益突出，人类资源的未来可利用量不断缩小，生命与健康逐渐成为人们所日益重视与永恒关注的话题，整个世界的目光开始转向寻找具有无环境污染、卫生抗菌并可以被循环使用的所谓“绿色资源”，人类崇尚自然并日趋返璞归真[6][9][10][11]。于是，自化学纤维工业开始发展之后屈居其下相当长一段时间之后的天然纤维重新崛起，再度风靡整个地球，棉、麻、毛、丝在纺织工业领域的利用几近高潮。在此形势之下，作为最古老的纤维作物之一，麻类韧皮纤维的重要门类之一，大麻的研究也重新为世人所关注。各国[5][12]对大麻种植的禁令随之纷纷解除：英国从 1993 年开始进行工业化的大麻加工，德国于 1995 年秋天解除对工业用大麻的种植禁令。加拿大在 1994、1995 年间有限制地允许种植大麻作为试验研究用，随后不久又允许以工业加工为目的的大麻的种植。美国怀特蒙州于 1996 年间允许种植用于工业加工的大麻。与此同时，对大麻的纺织应用研究也重新翻开了新的一页。

大麻之所以能够应用于纺织，它必须具有可纺性并应该有较佳的纺纱工艺技术。因此，下面就对可纺性具有重要意义的脱胶和纺纱技术的研究现状作一详细阐述。

1. 脱胶

一直以来，人们大多采用露水浸渍、温水浸渍、冷水浸渍、池塘沤麻、堆积发酵、青茎晒制等微生物方法对大麻进行脱胶，但脱胶效果相对较差，从而给后加工工序造成了较大的难度，且劳动强度大，耗用时

间长，成本高，易于引起环境问题[1][3][10][13]。因此，长期以来，具有多种优良性能的大麻纤维却仅限于制造绳索、渔网及民间手工纳鞋底等，种植利用大麻较早且产量较高的我国也陷于“北有亚麻，南有苎麻，中原大麻不能纺纱”的尴尬境地。国外有 60 多年禁止种植大麻，原料的缺乏使得对大麻的研究工作进行的并不很多，成效也不明显。我国尽管在此期间并未曾对大麻的种植采取过禁止措施，但在国际大麻市场整体形势不太景气的情况下，对大麻的研究在 80 年代中期之前也同样开展得不多，远远少于对苎麻、亚麻的研究量。随着近年来整个国际大麻市场重新回升之时，国内国外又重新恢复了对大麻研究的兴趣，而其中，我国应该说得上是对大麻加工研究重新开展较早的国家。[1]早在 1986 年我国对大麻进行化学脱胶就取得了成功，从而使大麻的纺织技术取得了突破性的进展。

我国研究出的大麻化学脱胶工艺有高温高压和常温常压两大类，视原麻品质和纺纱工艺的不同要求而采取不同脱胶工艺。常用的化学脱胶基本工艺路线如下：

原麻扎把—>装笼—>浸酸—>水洗—>煮练—>水洗—>敲麻—>漂白—>水洗—>酸洗—>水洗—>脱水—>抖松—>装笼—>给油—>脱油水—>抖散—>烘干—>精干麻

高温高压煮练，脱胶速度快，胶质去除多，精干麻品质较好，但纤维制成率较低，制成的工艺纤维长度较短。常温常压煮练，脱胶速度慢，胶质去除较少，精干麻纤维分离度差，纤维制成率高，但制成的工艺纤维长度较长。通常质量好的原麻，采用精梳工艺用干纺法纺制低特纱（细支纱）时，采用高温高压法，而品质较差，采用粗梳工艺用湿纺法纺制中、高特纱（中、粗支纱）时采用常温常压为多。

2．纺纱

大麻经脱胶处理之后，成为大麻精麻，而后就进入大麻的梳理工序、纺纱工序。东欧的多数大麻生产国，利用大麻与亚麻的相似性，通常对大麻的初加工和纺纱工程都是采用现成的亚麻纺织工程系统办法，其相应的纤维特性和纺纱品质，亦同样是亚麻、大麻同质同等对待[14]。但

G.Kearns 认为[5]，因为大麻比亚麻更长、粗糙、重，亚麻的纺纱机械与方法对它来讲可能有些柔和了，因此尽管采用亚麻纺纱系统的纺纱效果各有不同，但通常结果并不令人满意。我国除有应用亚麻纺纱工艺进行大麻纺纱外，对大麻纺纱工艺的研究则相对多样化：有利用绢纺技术的，采用圆梳工艺，粗纱改用毛精纺，细纱改用消极式双皮圈牵伸；有沿用毛纺技术的，它是针对绢纺工艺中试中存在的由于大麻纤维不如绢丝而造成的实际生产试验中开松、梳理产量及纤维制成率低、细纱粗节、毛羽多等问题，把圆梳工艺改为毛纺工艺，但由于改进难度较大等多方面原因，效果也并不令人满意；也有利用棉纺工艺路线的，如王德骥、卢士森等先后提出：在大麻和棉混纺时，宜采用棉纺工艺。但是，利用上述方法尽管已能纺出高达 80Nm 的麻棉、麻粘、麻涤、麻毛涤等大麻混纺纱，一般却只能纺出 15Nm 以下的大麻纯纺纱[1][15][16]。

孙成杰等早在 1994 年提出用亚麻短麻工艺路线纺制 21Nm 大麻纯纺纱，但精梳落麻多、纱中纤维较松散、粗纱表面毛羽较多等问题严重，并没有付诸于实际生产。他们还提出设想：应将大麻分出长、短麻，分别走亚麻长、短麻生产线，以免大麻原料——精干麻处理工艺所造成的大量短绒和纤维平均长度短的问题[17]。安徽铜陵苎麻纺织一厂的王启祥等于 1996 年提出应用苎麻设备开发大麻低支纯纺纱的设想，并进行了生产试验，所成的 10Nm 的大麻纱存在毛羽过长、条干较差（细纱乌斯特 CV 值为 30—50%左右）、粗细节多等问题[18]。1997 年，黑龙江哈尔滨亚麻厂的王雅琴等对 10.5Nm 的大麻纯纺纱工艺进行了探讨与开发，他们采用亚麻湿纺工艺路线，认为大麻中间段长约 700 毫米的大麻纤维为最佳，建议整个纺纱工艺的制定应遵循轻定量、小负荷的原则，考虑适当增加纺纱道数及调整细纱机工艺参数[19]。山西晋城市纺织厂的延保太也提出用大麻落麻纺制 OE 短纤纱的生产工艺，虽已应用于实际生产，可纺出 7—24Nm 的纯纺 OE 短纤纱，但 15Nm 以上纱线与 15Nm 以下纱线相比较，存在纱线的条干不匀率较高、重量变异系数较大、单强较低、麻结较多等缺陷，品质指标差[20]。此外，张百祥在 1998 年提出用转杯纺开发麻类产品的设想，对利用转杯纺设备开发麻类产品的有关原料选配、预处理、主要工艺技术等进行了探讨[21]。

第四节　　本课题的目的、意义和研究内容

1、目的和意义

就目前国内外的现状而言，用大麻纤维生产出的纯麻纱支数国内一般在 20 公支以下，国外在 14 公支以下，产品档次多属于中档及以下水平，高档的产品几乎没有。之所以会出现这样的现象，主要有以下几方面的原因：

1.　由于对大麻功能用途的误解，作为古老的纤维之一，大麻的纺织应用研究一度陷入衰退的境地：国外曾中断多年，国内则由于整个国际市场的影响而开展不多；

2.　众所周知，使麻类具有可纺性的脱胶处理工艺一直是纺织行业的难点之一，而大麻中胶质和木质素的含量与较难脱胶的亚麻相近，木质素的含量甚至比亚麻还高，因此大麻的脱胶难不可避免；再者，大麻自身具有纤维长度变异系数大，整齐度差的天然缺陷，纺纱不得不采用工艺纤维，从而使得脱胶必须采用半脱胶工艺，更是增加了脱胶的难度；

3.　大麻的纺纱技术多年来一直是借用其他纤维（如棉、毛、绢及亚麻等）的纺纱技术，尽管它们具有各自的优点，但因为这些纤维与大麻纤维的特性之间总存在着或多或少的差异，因此纺出的纱线不可避免会出现某些缺陷，纱支细度和纱线品质难以达到人们满意的程度。

但是，由于大麻纤维及其纺织品具有卫生、防霉抑菌、防腐、抗静电、吸收紫外线、吸湿放湿快、悬垂性好、阻燃、舒爽、无一般麻织物的刺痒感等优异性能，在种植过程中无需喷施肥料与杀虫剂，且可被生物降解，是生态友好的“绿色纤维”之一，大麻纺织品近年来在国际市场上非常走俏。其市场价格虽相对较高，但从 1999 年德国面料展的展出价格看，比亚麻则要低得多，难怪不少人认为大麻将有可能取代亚麻纺织品目前的地位。因此，若能优先研制出高档优质的大麻纺织品不仅可以抢占市场，而且可以获得较好的经济效益。G.Kearns 在 1997 年警告加拿大纺织界：如不迅速开展大麻纺织研究，将有可能成为时代的落伍者。

加拿大、德国、罗马尼亚及匈牙利等欧美大麻种植国家已认识到这一点，他们已开展多种试验研究，部分甚至已进入工业化生产。我国一直是世界上重要的大麻纤维产区之一，大麻纤维的品质也很优良，发展大麻纺织的先天条件非常优越。我们怎能不迎头赶在时代的前面呢？尽管山东东平、山西晋城、黑龙江哈尔滨等地的大麻或亚麻厂已经开展了多年的大麻纺织研究，但截至目前仍没有关于已纺制出较高支数（20 支以上）纯大麻纱的报道。

因此，研究纺制较高支数大麻纯纺纱的可行性和提高大麻的可纺性，尽可能提高大麻纯纺纱的支数，并考虑降低成本以提高经济效益是大麻纺织行业的当务之急。但由于纺纱工艺对提高纺纱支数的作用有限，所以提高大麻纯纺纱支数的关键归于提高大麻纤维的可纺性。本课题旨在于此。

2、研究内容

与大麻可纺性有关的因素主要是工艺纤维细度、长度以及经脱胶后精麻的化学成份等，而这些因素实际上均与大麻的脱胶效果好坏（主要残胶率和残余木质素的含量）有着很大的联系，因此本课题探索和研究的主要内容如下：

1、　通过对多种化学脱胶工艺方案处理过的大麻脱胶效果进行对比分析，找出可达到较优脱胶效果的大麻快速高效化学脱胶工艺，重点是预处理的工艺配方选择；

2、　通过正交试验设计，分析选定预处理方案的各工艺参数对大麻脱胶效果影响的显著性，选择主要的工艺参数；

3、　利用二次通用旋转组合设计方法，分析预处理的主要工艺参数对大麻脱胶效果及精麻品质指标影响的规律性，建立有效回归方程，并进行工艺优化；

4、　对同一束大麻根、中、梢各部位化学成份及经同一化学脱胶方案脱胶后所得精麻的的脱胶效果进行分析对比。

在本论文以下的叙述中，如果没有特别指明，则所有用到的“脱胶”均代表化学脱胶。

第二章　课题试验的理论依据

第一节　大麻纤维化学组成及其化学性质

大麻化学脱胶的基本原理是利用大麻原麻的各组成成份对酸、碱、氧化剂等反应的不同来进行的。脱胶方法、工艺的选用及脱胶效果在很大程度上要受到纤维自身化学成份的限制，因此在对大麻进行脱胶之前必须先对大麻原麻的化学成份及其性质有较详细的了解。

近年来，国内国外的研究者在这方面作了不少工作。尽管大麻原麻的化学成份因品种、产地、存放期、收获时间、剥制方法、沤麻方法与时间、采用的分析方法与检验标准等不同而有很大差别，但所有的研究者普遍认为大麻中木质素、果胶、半纤维素含量较高，木质素含量与苎麻、亚麻相比是最高的，而纤维素的含量相对于其他麻类纤维为低。

大麻各化学组成成份如纤维素、果胶、木质素等，实际上仍然是一个个化合物族类的概念，每一族类往往又含有多种不同种类的化合物，如：半纤维素就可分为多缩戊糖类、多缩糖醛酸类等。它们的具体含量、分子式及各类别之间连接的方式和结构，多年来国内国外的研究者各有不同的见解，再加上现有研究条件和方法手段的限制，目前为止尚没有一致的意见和具体的数字。但对于大麻各化学成份的化学性质，大家则普遍认为：

（1）纤维素在酸性条件下易水解，在碱性条件下的降解程度与温度、用碱量和时间有关，特别是温度的高低和碱液的浓度影响极大。纤维素的氧化作用，与氧化剂的类别、用量、氧化温度和时间有很大关系，改变这些条件，会生成化学结构和性质不同的氧化纤维素。

（2）果胶物质的性质取决于其甲氧基的含量多少及聚合度的高低，它对酸、碱和氧化剂作用的稳定性比纤维素要低。

（3）木质素是一种具有芳香族特性的、其结构单体为苯丙烷型、三度空间立体结构的高分子化合物。它通过苯甲醚键、缩醛键等与半纤维素之间存在某种联结。木质素对无机酸作用的稳定性极高，但极易被

氧化，所生成的氧化木质素易溶于碱液中。

（4）半纤维素是包括葡萄甘露聚糖、木聚糖等在内的一些低分子量聚糖类化合物的总称。其中的葡萄甘露聚糖成份对碱的抗性最大，在以碱液煮练为主的化学脱胶中最难去除。半纤维素对酸、碱和氧化剂的作用比纤维素更不稳定，多数能溶解于热碱液中。

（5）脂蜡质和灰分分别是麻类纤维中含量较少的有机溶剂提取物和矿物质。

第二节　　大麻脱胶的目的

由于大麻单纤维过短，一般为 12—25mm，且纤维的整齐度差，即长度变异系数较大，为了保证纺纱效果和成纱质量，必须用由残胶将单纤维粘连而成的纤维束即所谓的“工艺纤维”进行纺纱，因此大麻的脱胶只能采用与亚麻相近的半脱胶——必须保留一定的胶质成份使单纤维能够适当地粘连。

大麻纤维中木质素的含量相当高，一般要在 3%以上，品质较差的大麻甚至可以高达 10%左右。木质素的存在对纺织品质量有很大影响：如王德骥的研究认为，木质素含量少的纤维光泽好，洁白、柔软且有弹性，可纺性、染色性好；反之，纤维相当粗硬且脆，弹性差，可纺性、染色性差，不耐日晒。他又经试验认为，大麻精麻中的木质素含量低于 0.8%时，纤维呈白色，且较松散、丰满，能满足纺织印染后加工要求；当木质素含量在 1.5%以上时，纤维呈棕黄色，后工序较为困难。因此，对大麻纤维而言，如能尽可能地去除其中的木质素，则可以得到相对优异的纺织纤维原料。

多人的研究发现：木质素与半纤维素成化学结构紧紧地联系在一起，与纤维素间却未发现有化学结合。因此去除木质素的同时，也可以除去一定量的半纤维素。

因此，大麻化学脱胶的目的在于尽可能地去除木质素，并保留一定的残胶量，以得到合适长度和细度的工艺纤维进行纺纱加工。大麻脱胶的主攻对象是木质素，而不同于苎麻（为半纤维素）。

第三节　　化学脱胶的机理与新工艺

1、化学脱胶机理

麻类化学脱胶的机理在于利用了麻韧皮中的纤维素和胶杂质成份对碱、无机酸和氧化剂的稳定性的不同，在不损伤纤维原有机械性质的原则下，去除其中的胶杂成份，而保留纤维素的化学加工过程。为了弥补化学药剂作用的不足，在脱胶工艺中还必须辅以一定的机械物理作用。为提高碱液煮练的效果，提高脱胶麻的质量，在煮练前后往往也分别加以前处理和后处理两大工艺过程。因此，化学脱胶工艺从大的方面来说可分三个主要过程，即预处理、碱液煮练和后处理。

一般而言，传统上多采用浸酸、浸热水等方法进行预处理，时间普遍较长，浸酸多需要 1～3 小时。碱液煮练则多采用烧碱配制的碱液，可一次煮练，也可二次煮练，但以二次煮练的脱胶效果为好，时间一般需要 2 小时以上。目前发展较多的亚麻、苎麻等的化学脱胶多采用如上的传统方法，但研究表明该种方法具有种种的缺点：

1.　传统的化学脱胶工艺采用浸酸的预处理工艺，而刘晓霞认为，因为木质素对无机酸的作用的稳定性相当高，因此脱胶过程中的浸酸工序对木质素并没有多大的去除作用，1～2 小时的处理时间也相当长。

2.　木质素存留于大麻中，留待煮练工序进行脱除，将会增加煮练的负担，增大能源的消耗，而且据王德骥的研究结果表明去除效果也并不好：大麻经浓度为 2g/l 的酸预处理及二级煮练后，木质素的含量仍在 1.5%以上,即使经后工序中的漂白作用加强也仍难以达到低于 0.3%的要求。

3.　采用二次煮练，不仅处理时间长、生产效率低，而且能源消耗多、经济效益不佳。

4.　近年来环境污染问题是全球所关注的主题，而上述化学脱胶方法往往需要耗用大量的水，且处理过的废水中含有有害化学成份（如预处理废液往往含有硫酸根离子），回收不易，极易造成污染。

2、化学脱胶新工艺

针对传统化学脱胶工艺所存在的问题，国内外的不少研究者对苎麻的化学脱胶工艺进行了多方面的研究和探讨，提出了一些尚在研究、试验中的化学脱胶新方法、新工艺。如刘晓霞先后发表了对苎麻脱胶的快速预氧、预氯处理研究的报告[22]，王德骥提出的尿氧浸泡苎麻的新型脱胶工艺[25]和祝志锋硕士论文中所提出的苎麻高效煮练方法[24]——闷练等。下面就这些新方法的特点作一分析。

1．预处理

（1）　预氧处理和预氯处理（针对苎麻）

预氧与预氯处理，均是利用了氧化剂（双氧水和次氯酸钠）对木质素和胶质的氧化作用对原麻进行快速处理。在预处理中，通过对脱胶效果影响较大的因子的合理设置以达到快速优良的脱胶效果，并尽可能地降低对原麻中纤维素的损伤作用。

然而此二种方法的不足之处在于：尽管缩短了预处理的时间，但煮练工艺仍然沿用了常规的二煮法脱胶工艺，因此对整个化学脱胶来讲，实际上并没有较好地达到节时降耗的效果。

（2）　尿氧浸泡工艺（针对苎麻）

尿氧浸泡苎麻的脱胶工艺，其原理与预氧处理基本相同，也是利用了氧化剂（双氧水）对木质素和胶质的氧化作用，所不同的是，该种方法还考虑到利用尿素的渗透和溶胀作用通过长时间的浸泡以充分达到对原麻内外层的木质素和胶质的氧化。而且，王德骥通过研究认为：利用该方法处理过的脱胶废液可以经过处理用作肥料等，比较符合目前的环保要求。

但此法存在着极大地不足之处：处理时间过长，其预处理的时间甚至比常规的预酸处理时间还长。

2．煮练

煮练基本上仍是以碱液煮练为主，近来的研究大多在于添加不同的助剂以及对这些助剂用量的研究，如：日本在煮练中使用高效煮练助剂 Leopow 等，国内的广西工艺、株洲工艺、湖北工艺等则利用了焦磷酸钠、

磷酸钠、三聚磷酸钠等不同助剂的配方来提高煮练效果。

尽管也有一些对苎麻煮练时间、浴比和用碱量对脱胶效果影响的研究，但总体来讲，煮练所花费的时间一般仍是比较长的。

第四节　本课题的理论依据

1、预尿氧处理的机理

通过上述对其他麻类化学脱胶目的、机理和新工艺新方法的分析阐述，显然可见：预氧处理等利用氧化剂的氧化作用可以很好地氧化木质素、胶质等（氧化反应的形式如下式 2.1），生成的氧化物随后通过碱液煮练去除，碱液煮练的负担当然减轻不少；煮练的作用主要可以去除胶质，对木质素的效果则相对较小，因此，利用氧化剂进行预处理并对煮练时间适当缩短是比较符合大麻化学脱胶的目的的—主要去除木质素，应保留一定的残胶。

$$\begin{array}{l} H-O \quad H \\ \quad\quad | \rightarrow \quad \rangle\, O+O \\ H-O \quad H \end{array} \qquad 2.1$$

但是，木质素等被氧化后的生成物在预处理时并不能溶于溶液中，而是包围依附在纤维束表面，它们将阻止预处理液与纤维束的进一步深入反应。而且，大麻的木质素等胶杂含量相对较高，预处理氧化生成物阻止预处理液进一步深入反应的时间将会有所提前，那么，利用预氧处理等的氧化方法对大麻进行预处理不仅达不到预想的目的，预处理液中的氧化剂的利用率也会相应降低。这样一来，预氧处理等氧化方法是不是就无法应用于大麻的预处理了呢？

双氧水在酸性条件下对纤维素较稳定，在碱性介质中就极易分解出氧化纤维素。并且在碱性介质中过氧化氢与木质素还产生了对过氧化氢起稳定作用的有色物质，这些有色物质较难以去除。而尿素不但是一种吸湿行强水化能力较大的有机化合物，而且在酸性条件下与双氧水产生化学反应的可能性很小—由于多价氮离子被氧化成 NO，NO_2，NO_3^-或 NH_4

$^{+}$必需具备较强的氧化剂（如高锰酸钾等），但双氧水的氧化作用相对较低。

如此，可以预料：在预氧处理液中添加尿素，不仅可以在预处理所得氧化物包围纤维后，利用尿素的渗透溶胀作用使得原麻的微纤间隙扩大，进入无定型区，迫使纤维与胶质进一步溶胀，从而利于预处理液的深入纤维内部作进一步反应，可以促进反应的深入和充分并达到良好的脱胶效果；而且，由于尿素与双氧水在酸性条件下反应的可能性很小，添加尿素也不可能会削弱预处理液中双氧水的氧化反应能力。

尽管尿素与纤维素和半纤维素可能产生脂化反应（如下式 2.2）但半纤维素平均聚合度较小，聚集态很难呈线态而是粉末状，因而应具有比纤维素高得多的吸湿性和润胀性。因此，半纤维素被取代 OH 基产生半纤维素甲酸脂化的可及度要高于纤维素。所以在预氧处理中添加尿素使预处理液深入纤维内部反应，损伤纤维素的机率也较低。

$$C_6H_7O_2(OH)_3+NH_2CONH_2\rightarrow C_6H_7O_2(OH)_2(O\text{—}CONH_2)+NH_3 \qquad 2.2$$

2．与可纺性有关的因素

普遍认为大麻精麻的化学成份的含量与工艺纤维品质是有很大关系的，精麻残胶含量和残余木质素含量越低，则大麻纤维的松散性越好，手感越柔软。大麻工艺纤维的可纺性主要与长度、细度及精麻残胶率有关，但在纺纱中决定工艺纤维可纺性和纺出纱线品质的主要因素实际上是长度和细度：一般而言，长度越长且细度越细，工艺纤维的可纺性也越好，纺出纱线的品质指标也越高。

残胶含量降低，大麻纤维分散性越好，也说明大麻纤维束的分离度越好，从而工艺纤维的细度将会有所提高，长度则可能下降。但是，这只是残胶与工艺纤维长度和细度间的定性关系，至于它们之间的定量关系究竟如何目前尚没有报道。

大麻茎的纤维束部分包括初生纤维和次生纤维，而大麻的化学成份如果胶质、半纤维素等的成份和含量在初生纤维和次生纤维中是不同的。由于初生纤维和次生纤维在大麻中的含量随着大麻成长期时间的长短和大麻茎部位的不同而有所不同：一般麻茎愈粗，次生纤维愈粗愈长，

麻茎基部次生纤维也较多；生长期短，初生纤维的比率也较大。因此，大麻根、中、稍部的化学成份之间是有区别的。那么它们经同一脱胶处理后的精麻的化学成份也将有不同，从而将导致大麻不同部位纤维的可纺性会有差异：已有多人研究认为大麻中部的纺纱性能为最好。

第三章　大麻化学成份分析

第一节　目的和意义

从王雅琴等人的研究结果表明，同一束大麻的不同部位的可纺性是不同的，但麻茎中部 70－140 毫米处的纤维可纺性最好。王德骥和王雅琴等在文献中也认为麻茎中部的可纺性为最好。此外，据造纸行业的研究，大麻不同部位的化学成份及其组成也是不同的。既然存在着这种种不同，那么优选大麻的某一部位进行脱胶可以取得较好的脱胶效果也是不容置疑的。然而，大麻不同部位的化学成份含量究竟如何不同，迄今为止，并没有人研究过。因此，开展对大麻不同部位化学成份的分析以促进麻样的优选是非常有意义的工作。

第二节　方法和步骤

由于目前为止国家尚没有颁布大麻化学成份系统分析方法的标准，因此本试验采用苎麻化学成份系统分析方法的国家标准进行，严格按照国家标准 的步骤操作。

本试验所用大麻为同批同品种山东大麻（为隔年陈麻）。

在进行化学成份分析时，先对所有原麻进行手工分拣，而后剪取根、中、梢三部分。其中，根部取为自麻茎根部至 45cm 处的一段，中部为 45cm 处至 110cm 处的一段，剩余部分为梢部。

根、中、梢三部分各取三个试样进行重复试验。

第三节　结果与讨论

通过上述的大麻各部位化学成份系统分析试验后，得到大麻各部位的各化学成份含量的试验结果如下表 3.1：

表 3.1 大麻不同部位化学成份含量（%）

编号	1	2	3	4	5	6	7
部位	脂蜡质	水溶物	果胶	半纤维素	木质素	灰分	纤维素
根部	1.057	12.292	7.4	22.97	6.508	5.780	49.774
中部	1.361	7.849	9.2	22.10	5.435	7.792	54.057
梢部	1.287	7.561	12.02	19.54	4.934	9.182	54.66

为了更直观地示意大麻各部位化学成份的含量情况，将上述结果绘出柱形图如下（图 3.1）。

注：图中的 1～7 分别与表 3.1 中的编号 1～7 相对应。

图 3.1 大麻各部位不同化学成分含量

由以上图形，在同一批大麻中，根、中、梢部的各化学成份的含量存在着很大的不同。具体而言，果胶、灰分及纤维素在根部的含量较低，在中部的含量次之，梢部为高，且根部与梢部的含量相差较大；水溶物、半纤维素与木质素在根部的含量相对较高，中部次之，梢部最低，且根部与梢部相差较大；脂蜡质则在根部含量最低，梢部次之，中部为高。

因为大麻化学脱胶的目的在于尽可能地去除木质素，保留一定的胶质，因此从上述的分析结果可以预见，在同样的脱胶条件下，中部的脱胶效果应相对较好，木质素含量高的根部则应较难达到脱胶效果的要求，果胶含量相对较高的梢部则可能遇上胶质含量降低不易的困难。

第四节　　小结

通过本章的试验和分析，可得到以下的结论：

大麻纤维的化学组成，总的来讲，非纤维素成份中半纤维素、果胶及木质素的含量较高，其中半纤维素的含量最高。木质素含量远远大于苎麻（1%左右）。这可能是大麻脱胶不易的基本原因之一。

大麻的根、中、梢各部位的非纤维素成份的含量有很大的不同，从而在相同的脱胶工艺路线下，同一束麻样的不同部位可能得到不同的脱胶效果。若真的如此，为了纺制优良的纱线，则必须将大麻分段采用不同的脱胶工艺加以处理。此外，据有关造纸和其他麻类原料研究的结果看，根、中、梢部除了在化学成份含量上的区别以外，同一化学成份在不同部位的组成（如含有甲氧基离子的木质素和可溶性果胶的含量在不同部位是有很大差异的）也不尽相同，所以脱胶的效果究竟如何尚无法定论。

第四章　预处理工艺方案的确定

第一节　试验的理论基础

在水或醋酸介质中，臭氧与木质素发生强烈的氧化作用而形成碳酸、甲酸、草酸和醋酸。双氧水氧化木质素可得到草酸、甲酸及醋酸等化合物。依据此作用机理，刘晓霞[32]研究了苎麻的快速预氧处理，尽管预氧处理缩短了预处理的时间，但是麻类脱胶中主要的碱液煮练工序仍然采用了二煮法，其需要时间将近 5h，比原来的预酸处理后碱煮时间并未缩短很多。王德骥[33]的尿氧浸泡苎麻的新型脱胶工艺，虽煮练时间缩短为 3 h，但原麻预处理则需要室温浸泡 2 4 h，甚至比原先的预酸处理时间还长。

上述的预氧和尿氧处理尽管各有所长短，但在探讨两者的作用机理时发现：预氧处理和尿氧浸泡处理实际上均是应用双氧水的氧化作用来快速脱除胶质及木质素，从而达到快速、高效脱胶的目的。但刘晓霞的研究偏重在对预处理工艺参数的选择方面，主要通过时间、双氧水浓度和 pH 值来控制脱胶效果；而王德骥的研究则考虑到在双氧水氧化分解的产物包围在纤维表层后，利用尿素对原麻的渗透、溶胀作用，使得预处理液能够进入纤维内层进一步反应。而且，由于氧化剂对木质素的氧化作用好，在酸性环境中对纤维素的破坏力较低。根据大麻脱胶的主攻目的是尽可能地去除木质素这一要求，笔者因此设想，能否在预氧处理的基础上，在预处理液中添加适量的尿素，促进纤维的胶质和木质素在短时间内与氧化剂快速、深入地反应，而后将二煮法缩短为一煮法，以充分地达到对大麻化学脱胶节时降耗的目的呢？

第二节　试验设计

本次试验设计了三种不同的预处理配方和二煮法结合（其中，预尿氧与二煮法结合以下称预尿氧 1）的脱胶工艺路线，其流程为：

准备试样→预处理→水洗→头煮→水洗→二煮→水洗→酸洗→水洗→脱水→干燥

而后，又设计了预尿氧处理和一煮法（以下称预尿氧 2）结合的脱胶路线，其工艺流程为：

准备试样→预处理→水洗→煮练→水洗→酸洗→水洗→打纤→脱水→抖松→干燥

为增强可比性，上述所有脱胶工艺路线中的二煮法和一煮法的煮练及酸洗工序的工艺条件均相同：

二煮法中，煮练工序的工艺参数如下：

头煮：氢氧化钠浓度１０g／L，亚硫酸钠用量２％，硅酸钠用量２％，常压，温度１００℃，浴比１：１５，时间１h；

二煮：氢氧化钠浓度１０g／L，亚硫酸钠用量２％，硅酸钠用量２％，常压，温度１００℃，浴比１：１５，时间２．５h。

一煮法中，煮练工序的工艺参数如下：

煮练：氢氧化钠浓度１０g／L，亚硫酸钠用量２％，硅酸钠用量２％，常压，温度１００℃，浴比１：１５，时间１．５h。

所有脱胶工艺路线的酸洗工序工艺参数如下：

酸洗：硫酸浓度１g／L，浴比１：１５，常温，常压，时间２min。

预处理工序的工艺参数如下表 4.1：

表 4.1 预处理工艺参数

参数 / 方案	双氧水浓度 g/L	时间 min	温度	浴比	pH 值	压力	尿素浓度 g/L
预酸	1.5	120	常温	1：15	—	常压	—
预氧	5	20	同上	1：15	6.5	同上	—
预尿氧	5	20	同上	1：15	6.5	同上	10

由于本试验仅仅是为了对大麻的化学脱胶工艺配方进行初选，故暂不考虑大麻各部位处理效果的差异。

第二节　　方法和步骤

所有试样均采用同批同品种山东原麻，其含胶量为４２．２３％，木质素含量４．４５％。每个麻样取分拣后的原麻重约 40 克的一束，缠绕成空心球状进行试验。

为保证环境气候条件的同一性，所有麻样的处理均在同日内同时完成，脱胶麻样的化学成份分析则在随后进行。

为避免试验中的偶然性，每个方案各进行三次平行重复试验，分别计算其残胶率和残余木质素率、胶质和木质素去除率以及三次重复试验的平均胶质去除率和平均木质素去除率。

原麻胶质与木质素含量、脱胶精麻残胶率与残余木质素含量的测定均采用国家标准大麻化学成份分析方法（待颁布）中的残胶率和残余木质素分析方法进行。

胶质去除率的计算公式为：

$$\text{胶质去除率}=\left(1-\frac{\text{精麻残胶率（\%）}}{\text{原麻胶质含量（\%）}}\right)\times 100\% \qquad 4.0.1$$

木质素去除率的计算公式为：

$$\text{木质素去除率}=\left(1-\frac{\text{精麻残余木质素含量（\%）}}{\text{原麻木质素含量（\%）}}\right)\times 100\% \qquad 4.0.2$$

每道工序后的水洗一般都在自来水下冲洗 10 分钟后用手搓洗，并注意对每个试样均采用相同的搓洗手法。水洗后麻样的 pH 值均控制为 7～8（用 pH 试纸检验）。

经滚筒式脱水机脱水的麻样，抖松后在室内挂置 10 余小时方放入 Y801A 恒温烘箱进行烘干，烘干温度为 104℃～105℃。

第三节　　结果及讨论

经上述方案试验后，所得脱胶精麻的化学成份分析结果如下表 4.2。从上述试验结果，可得到以下结论：

（1）　应用二煮法时，从预酸处理与预氧处理的结果对比，前者

的胶质与木质素去除率均较高，耗时则较长。而预酸处理与预尿氧处理结果相比，则二者的胶质去除率尽管相差稍大，木质素去除率却相差不多，时间的消耗上后者（几分钟）则比前者（几小时）少得多。因此，应用预尿氧处理的化学脱胶工艺路线不仅可以大大的缩短时间，而且也基本上符合大麻脱胶的目的。

表 4.2　经预氧和预尿氧处理的脱胶大麻的化学成份分析(%)

方案	重复次数	残胶率	胶质去除率	平均胶质去除率	残余木质素	木质素去除率	平均木质素去除率
预氧	1	4.79	88.66	88.75	2.54	42.92	46.74
	2	4.93	88.33		2.40	46.07	
	3	4.82	88.59		2.17	51.24	
预尿氧 1	1	4.66	88.96	89.35	2.10	52.81	52.88
	2	4.47	89.42		2.13	52.13	
	3	4.36	89.68		2.06	53.71	
预尿氧 2	1	6.43	84.77	84.73	1.71	61.57	60.52
	2	6.46	84.70		1.80	59.55	
	3	6.45	84.73		1.76	60.45	
预酸	1	4.36	89.68	90.88	2.374	46.65	53.19
	2	3.52	91.66		1.930	56.63	
	3	3.67	91.31		1.945	56.29	

（2）同是应用二煮法，预氧处理与预尿氧处理相比，前者的胶质和木质素去除率均比后者为低，特别是木质素的去除率更是低很多。因此，对于满足大麻脱胶需要尽可能去除木质素的要求来说，预尿氧处理的效果显然要好得多。

（3）同是应用预尿氧处理，二煮法与一煮法相比，后者的胶质去除率尽管比前者为低，却也相差不大，并且基本上符合大麻纺纱的要求（由于大麻是用束纤维纺纱，脱胶后必须保留一定的胶质。据有关资料，工

厂中大麻脱胶精麻的残胶率应不大于 10%方具有可纺性)。而木质素去除率则比前者提高了很多，所需的煮练时间也大大缩短。

由上述结果，采用预尿氧处理和一煮法结合的脱胶工艺路线，不仅可以达到缩短时间、降低能耗的快速高效脱胶目的，而且对于大麻这种麻纺原料而言，其脱胶效果也能够相对较好地达到可纺性的要求。

第四节　　添加助剂对大麻脱胶效果的影响

1、试验设想

从众多的研究者对苎麻、亚麻等的煮练工序脱胶效果的影响的研究结果，很显然在煮练中添加助剂对脱胶效果是有较大的影响的。添加不同的助剂对脱胶效果的影响也是不同的。有鉴于此，笔者试图通过添加一些有效的化学助剂对大麻进行处理，以研究添加助剂后对大麻的脱胶效果是否有所提高。然而，在煮练中可添加的化学助剂也是各种各样的，种类名目繁多，其作用有加速煮练反应、提高煮练后精干麻白度和柔软度等，要想在此一一加以研究显然是不现实的。

在煮练中添加渗透剂能够加速煮练反应，这一点已成为无可争议的事实；再者，在预处理中，预处理液初步反应后反应物包围在原麻周围后，可利用渗透剂的渗透作用来促使预处理液进一步快速深入反应。而本课题的主要研究目的是为了寻找出一种快速高效的大麻化学脱胶新工艺，因此在这里，将对前所选定的预尿氧处理工艺，分别在预处理工序和煮练工序中添加渗透剂 T 脱胶效果与不添加任何助剂的脱胶效果进行了对比研究，以充分论证采用预尿氧处理和一煮法相结合的化学脱胶工艺对大麻进行快速高效化学脱胶的可行性。

2、方案、方法和步骤

根据上述试验设想，本试验采用的脱胶工艺路线基本与前述试验中的相同，为：

试样准备→预处理→水洗→煮练→水洗→酸洗→水洗→脱水→干

燥

所设计的方案如表 4.3。

本试验所用原麻为同批同品种山东原麻，其胶质含量为 42.23%，木质素含量为 4.45%。

表 4.3 添加助剂对脱胶效果的影响

方案 \ 工序	预处理	煮练	酸洗	烘干
方案一	双氧水浓度 5 g / L，尿素浓度 1 0 g / L，渗透剂 T 0.5ml/L，时间 2 0 min，pH 值 6．5，浴比 1：1 5，常温；	氢氧化钠浓度 1 0 g / L，亚硫酸钠用量 2 %，硅酸钠用量 2 %，常压，温度 1 0 0 ℃，浴比 1：1 5，时间 1．5 h；	硫酸浓度 1 g / L，浴比 1：1 5，常温，常压，时间 2 min；	烘干温度为 104℃～105℃
方案二	双氧水浓度 5 g / L，尿素浓度 1 0 g / L，时间 2 0 min，pH 值 6．5，浴比 1：1 5，常温；	氢氧化钠浓度 1 0 g / L，渗透剂 T 0.5ml/L，亚硫酸钠用量 2 %，硅酸钠用量 2 %，常压，温度 1 0 0 ℃，浴比 1：1 5，时间 1．5 h；	同上	同上
方案三	双氧水浓度 5 g / L，尿素浓度 1 0 g / L，时间 2 0 min，pH 值 6．5，浴比 1：1 5，常温；	氢氧化钠浓度 1 0 g / L，亚硫酸钠用量 2 %，硅酸钠用量 2 %，常压，温度 1 0 0 ℃，浴比 1：1 5，时间 1．5 h；	同上	同上

为保证试验结果并非偶然因素造成的，本试验对每一方案分别进行了三次重复试验。

所有试样均为对原麻分拣后取约 50 克重量的一束，缠绕成空心球状。

每道工序后的水洗均在自来水下冲洗 10 分钟后用手搓洗，所有试样的搓洗手法相同。

所得麻样经滚筒式脱水机脱水并抖松后，在室内室温下挂置 10 余小时后，方放入 Y801A 恒温烘箱进行烘干，烘箱温度为 104℃～105℃。

所得脱胶精麻的化学成份分析采用国家标准大麻化学成份分析方法（待颁布）进行。

3、结果与讨论

经上述方案试验后，所得脱胶精麻的化学成份分析结果如表 4.4。

表 4.4 添加助剂后脱胶精麻的化学成份分析（%）

成份 / 方案	残胶率		平均残胶率	平均胶质去除率	残余木质素率		残余木质素率平均	平均木质素去除率
	重复	试验数据			重复	试验数据		
方案一 预处理中 添加助剂	1	4.06	4.163	90.14	1	1.50	1.38	68.99
	2	3.96			2	1.44		
	3	4.47			3	1.20		
方案二 煮练中 添加助剂	1	3.61	3.78	91.05	1	1.17	1.16	73.93
	2	3.89			2	1.19		
	3	3.84			3	1.12		
方案三 不添加助剂	1	6.43	6.447	84.73	1	1.71	1.757	60.52
	2	6.46			2	1.80		
	3	6.45			3	1.76		

从表 4.4 可见，无论是在预处理或煮练工序中添加具有渗透作用的助剂后，大麻脱胶精麻的残胶率和残余木质素率均有不同程度的下降，即胶质和木质素去除率均有不同程度的提高。而且，在煮练工序中添加渗透剂得到的脱胶精麻的脱胶效果要比在预处理工序中添加渗透剂好一些，尤其是木质素去除率的提高十分明显，这一点十分符合大麻化学脱胶的主攻对象是木质素的要求。

第四节　　小结

通过本章的试验和分析，我们可以得到以下的结论：

（1）　显然可见，预尿氧处理大麻比预氧处理大麻的脱胶效果要好得多，且对大麻木质素的去除效果尤其好。

（2）　预处理液中由于添加了尿素含有铵离子；双氧水氧化木质素等的产物只能通过后面的煮练工序去除使得预处理废液的有机成分含量较少，因此，在以后的深入研究中还可以通过对预处理废液的进一步处理，得到农作物肥料而非排放含有大量有害化学成分的废水，从而可以减少污染，也很符合目前全球对绿色生产及加工越来越高的呼声。

（3）　无论是在预处理或是在煮练工序添加渗透剂 T 后，均有助于残胶率和残余木质素率的下降。并且，在煮练工序中添加渗透剂的脱胶效果要比在预处理工序中添加渗透剂的脱胶效果好。

（4）　预尿氧处理和一煮法结合的脱胶工艺路线，对大麻这种麻纺原料而言是较为快速高效的方法。通过在预处理添加助剂或对煮练工序进一步深入研究以充分发挥此种方法的优越性，也是非常有意义且非常可行的工作。

第五章　影响脱胶效果的主要预处理工艺参数的选择

第一节　目的和意义

预处理的效果对最终脱胶效果的好坏具有较大的影响，直接关系到后处理工序的进行，特别是对木质素的去除效果比较明显。而煮练工序对残胶率的下降影响较大，因此上，预处理对将木质素作为脱胶主攻对象的大麻来说更是具有举足轻重的地位。

很显然，通过前面的试验所得到的试验结果，虽然能够选择出相对最优的工艺路线，但它只是一个初步的研究和探索，对实际生产的指导意义不大。而且，该工艺路线中预处理的工艺参数多达六个，若全部在生产中加以考虑控制，不但加重工作量，且提高了工艺实施的设备、环境条件及操作中偶然误差的可能行，实在是不切实际的得不偿失之选。

同时，研究也表明，若在一个试验中需要考虑和控制的参数太多，所得到的结果也往往因操作的难以高度同一而无法保证全然真实和精确。再者，由于本课题主要是参照刘晓霞的预氧处理方法，而从刘晓霞对苎麻脱胶的研究结果看，预氧处理的某些工艺参数（如温度、浴比等）对脱胶效果的好坏影响也并不大。因此，针对本课题所选择的脱胶预处理工艺具有较多参数的特点，很有必要进行某种试验设计，通过对试验结果数据的统计分析，筛选出对脱胶效果影响较大的部分工艺参数，再进行某种优化方法找出最优配置应用于实际生产，从而有利于脱胶生产中的精麻质量控制工作，并可以简化进一步深入研究最优化脱胶效果时的工作量。

第二节　试验设计

本试验采用正交设计试验方案中的 $L_8(2^7)$ 正交设计表，选择了双氧水浓度（A）、预处理时间（B）、pH 值（D）、温度（E）、浴比（C）以及双氧水浓度和预处理时间的交互作用（A×B）等六个因子，空余的一

列作为误差列。根据因子自由度确定各因子所占据的列数，各因子排列的先后次序则遵照不可混杂原则。

前述所确定预处理工艺配方中的另外一个工艺参数尿素浓度则选定为恒定值，主要是考虑到以下的因素：a. 参照王德骥的研究结果，本试验所确定的尿素浓度为最优值；b. 本试验考虑在内的参数已经较多，若再将这一因素考虑在内，则不能选择如试验所选定的较简单的正交设计表，必须选择试验方案设计较复杂的正交设计表，从而会使得工作量几乎成倍增加，达不到试验设想尽可能简化工作量的预期目的。

本正交设计试验为二水平试验，主要是对预处理的工艺参数进行选择。为使试验可以在相对同一的条件下进行比较，脱胶工艺流程中的其他工序则对各试验方案是相同的。

所测得的残胶率和残余木质素率数值为对预处理试样进行化学脱胶后所得精麻的化学成份分析值，且是针对精麻的根、中、梢各部位分别进行的。各方案的平均值则来自上述化学成份分析结果的平均。

试验选用的脱胶工艺流程为：

准备试样→预处理→水洗→煮练→水洗→酸洗→水洗→脱水→烘干

除预处理外，其他工序的工艺参数设置如下（表 5.1）：

表 5.1 煮练、酸洗工序的工艺参数

	温度℃	压力	浴比	时间	化学试剂及用量
煮练	100	常压	1：15	1.75h	NaOH8g/L, Na_2SO_3用量 2%, Na_2SiO_3用量 2%
酸洗	常温	常压	1：15	2min	$H_2SO_4$1g/L

预处理工序的正交试验设计如表 5.2～5.3。

表 5.2 预处理工序正交试验设计的因子编码表

因子		双氧水浓度 g/L (A)	预处理时间 min (B)	浴比（C）	pH 值 (D)	温度℃（E）
编码	1	3	12	1:12	4.5	20
	2	6	20	1:15	6.5	30

表 5.3 预处理正交设计试验的正交设计表

表头设计	A	B	A×B	C	D	误差列	E
列号 / 试验号	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

第三节　　方法和步骤

试验所用原麻为同批同品种山东大麻，其根、中、梢部胶质含量分别为 45.15%、42.23%和 38.06%，木质素含量分别为 4.74%、4.24%和 4.05%。每个方案所用的麻样均为从原麻中分拣出的 50 克左右（在粗天平上测定）的一束，并缠绕成空心球状用于试验。

为保证试验尽可能在同样的气候环境条件下进行，试样在一天内做完，脱胶精麻残胶率和残余木质素率的分析则随后进行。

为保证试验进行中温度的恒定，全部试验均在 H.H.S248 电热恒温水浴锅内进行。溶液配好后，置于水浴锅中升温。等温度达到指定值时（用水银温度计测定），方才放入试样开始计时。

每道工序后的水洗均为先用自来水冲洗 10 分钟后用手搓洗，各试样搓洗的手法相同。水洗后试样的 pH 值为 7～8（用 pH 试纸检验）。

脱胶试样的脱水使用滚筒式脱水机。脱水抖松后挂置 10 余小时再放入 Y801A 恒温烘箱烘干，烘干温度为 104℃～105℃。

为了对同一批麻样不同部位在同一脱胶条件下的脱胶效果进行对比观察，本试验对脱胶后的精麻分为根、中、梢三个部位进行化学成份

分析。根部取脱胶精麻根部至 45 厘米处的一段，中部为 45 厘米处至 110 厘米处的一段，剩余部分为梢部。它们各自的残胶率和残余木质素率的测定采用大麻化学成份分析国家标准（待颁布）进行。

胶质和木质素去除率的计算方法同第四章。

对各方案、各部位测得的化学成份分析结果分别进行统计分析，寻找内在规律性。由于直观分析方法仅仅是定性分析各因子的影响大小，方差分析则能够在一定的水平下，相对定量比较各因子影响的显著性大小，因此本试验将采用方差分析方法。

方差分析方法的计算步骤为：（1）分别计算正交表中第 j 列的 1 水平和 2 水平所对应的数据之和 I1 和 I2；（2）用公式 5.1 计算出 CT 值；（3）由于二水平因子的交互作用仅占正交表中的一列，误差的偏差平方和为正交表中未排因子的空白列的偏差平方和，所以可用公式 5.2 计

$$CT=\frac{(\sum_{i=1}^{N} y_i)^2}{N} \qquad 5.1$$

算各因子及其交互作用和误差的偏差平方和 S，如果其他列的偏差平方和与空白列的偏差平方和相接近，应将其与空白列计算出的偏差平方和合并作为误差估计值，它们的自由度也相应合并确定为误差的自由度；（4）用公式 5.3 计算出各因子的 F 比（F_i）；（5）查表得到一定检验水平 α 下的标准 F_α 值，确定对各因子的显著性检验结果：若 $F_i > F_\alpha$ 则该因子显著，否则不显著。

$$S_i=\frac{I1^2+I2^2}{4}-CT \qquad 5.2$$

$$F_i=\frac{S_i/f_i}{S_e/f_e} \qquad 5.3$$

第五节　　结果与分析

1、试验结果

表 5.4 脱胶麻样的化学成份分析结果(%)

项目 / 方案	部位	胶质去除率	平均胶质去除率	木质素去除率	平均木质素去除率
1	1	87.33409	86.61913	53.84323	43.07715
	2	87.06997		42.32072	
	3	85.45334		33.06751	
2	1	89.86578	88.54951	50.7507	37.44643
	2	89.52396		27.60798	
	3	86.25879		33.98061	
3	1	88.05984	87.30152	87.68265	71.64282
	2	87.82454		81.18126	
	3	86.02017		46.06453	
4	1	88.52696	87.39321	42.75188	53.22747
	2	89.31777		71.66256	
	3	84.3349		45.26796	
5	1	88.6787	88.44904	81.60141	77.0681
	2	89.63475		94.17906	
	3	87.03365		55.42382	
6	1	90.58749	90.22385	66.56341	66.35858
	2	91.06401		87.40253	
	3	89.02004		45.10981	
7	1	90.64399	89.22873	11.98893	56.91207
	2	89.84475		98.59572	
	3	87.19745		60.15155	
8	1	90.2357	88.82555	70.12688	38.43058
	2	88.63325		26.67328	
	3	87.6077		18.49159	

通过上述正交设计试验方案进行脱胶试验后，经对原始数据稍加整

理，所得的脱胶精麻麻样的化学成份分析结果和原麻胶质与木质素去除效果归纳如表 5.4。

表中的方案 1、2、3 等与试验设计正交设计表中的方案 1、2、3 等相对应。同时，为简化，表中的部位一列的数字 1 代表根部，2 代表中部，3 代表梢部。

2、分析和讨论

用方差分析法对数据进行统计分析的结果列表如表 5.5 和表 5.6。

a、胶质

显然，影响大麻胶质去除效果的因素主要为双氧水浓度和预处理时间，浴比也有一定的作用，其他因素如温度、pH 值等则几乎可以忽略，其中主要因素的影响大小依次为：

双氧水浓度>预处理时间>浴比

对大麻束的根、中、梢部而言，影响它们胶质去除率的主要因素是不同的，影响大小的排列次序也各不相同：

1、影响根部胶质去除效果的主要因素为双氧水浓度、预处理时间、浓度与时间的交互作用和浴比，它们的大小次序为：

双氧水浓度>预处理时间>浴比>浓度与时间的交互作用

2、影响中部胶质去除效果的主要因素为预处理时间、浓度与时间的交互作用和温度，双氧水浓度也有一定的作用，它们的大小次序为：

预处理时间>温度>浓度与时间的交互作用>双氧水浓度

3、影响梢部胶质去除效果的主要因素为双氧水浓度和预处理时间，pH 值也有一定的作用，它们的大小次序为：

双氧水浓度>预处理时间>pH 值

b. 木质素

从表 5.6 的统计分析结果可见，影响大麻木质素去除效果的主要因素为预处理时间、双氧水浓度和预处理时间的交互作用和浴比，它们影响的大小次序为：

表 5.5 对胶质去除率的方差分析

部位	方差来源	偏差平方和	计算误差值	自由度	F 比	F 检验值	显著性
平均值	A	3.44535	0.364775	1	37.7805	$F_{0.25}(1,4)=1.81$ $F_{0.1}(1,4)=4.54$ $F_{0.05}(1,4)=7.71$ $F_{0.01}(1,4)=21.2$	高度显著
	B	1.81443		1	19.8964		很显著
	AB	0.000482					
	C	0.396024		1	4.342666		显著
	D	0.1159977					
	E	0.037275					
	误差	0.211021		4			
根部	A	3.42562	0.146933	1	93.2567	$F_{0.25}(1,3)=2.02$ $F_{0.1}(1,3)=5.54$ $F_{0.05}(1,3)=10.4$ $F_{0.01}(1,3)=34.4$	高度显著
	B	2.37802		1	64.7376		高度显著
	AB	0.630863		1	17.17419		很显著
	C	1.423881		1	38.76279		非常显著
	D	0.017492					
	E	0.009281					
	误差	0.12016		3			
中部	A	0.64566	0.396398	1	2.29384	$F_{0.25}(1,3)=2.02$ $F_{0.1}(1,3)=5.54$ $F_{0.05}(1,3)=10.4$ $F_{0.01}(1,3)=34.4$	显著
	B	1.12589		1	11.3613		很显著
	AB	0.587972		1	5.933152		较显著
	C	0.025082					
	D	1.931E-05					
	E	0.649991		1	6.55897		较显著
	误差	0.371297		3			
梢部	A	9.6616	1.242273	1	31.1094	$F_{0.25}(1,4)=1.81$ $F_{0.1}(1,4)=4.54$ $F_{0.05}(1,4)=7.71$ $F_{0.01}(1,4)=21.2$	高度显著
	B	2.06742		1	6.6569		很显著
	AB	0.001472					
	C	0.287592					
	D	1.3419012		1	4.320794		显著
	E	0.104558					
	误差	0.848651		4			

表 5.5 对木质素去除效果的方差分析

部位	方差来源	偏差平方和	计算误差值	自由度	F 比	F 检验值	显著性
平均值	A	45.20781	190.06183			$F_{0.25}(1,4)$=1.81	
	B	170.2027		1	3.58205		显著
	AB	761.9182		1	16.03517	$F_{0.1}(1,4)$=4.54	非常显著
	C	170.1413		1	3.580756		显著
	D	47.5457				$F_{0.05}(1,4)$=7.71	
	E	46.903					
	误差	50.40531		4		$F_{0.01}(1,4)$=21.2	
根部	A	2.817727	330.69365			$F_{0.25}(1,4)$=1.81	
	B	122.7565					
	AB	1055.463		1	12.76666	$F_{0.1}(1,4)$=4.54	非常显著
	C	3.029921					
	D	1037.931		1	12.55459	$F_{0.05}(1,4)$=7.71	非常显著
	E	1653.533		1	20.00079	$F_{0.01}(1,4)$=21.2	非常显著
	误差	202.0895		4			
中部	A	1404.613	301.76651	1	18.61854	$F_{0.25}(1,3)$=2.02	非常显著
	B	47.28716					
	AB	1085.205		1	14.38469	$F_{0.1}(1,3)$=5.54	非常显著
	C	404.3883		1	5.36028		显著
	D	1263.033		1	16.74185	$F_{0.05}(1,3)$=10.4	非常显著
	E	73.73556					
	误差	180.7438		3		$F_{0.01}(1,3)$=34.4	
梢部	A	162.3054	203.65943	1	3.18778	$F_{0.25}(1,3)$=2.02	显著
	B	0.042693					
	AB	302.004		1	5.93155	$F_{0.1}(1,3)$=5.54	较显著
	C	298.6464		1	5.865604		较显著
	D	301.501		1	5.921671	$F_{0.05}(1,3)$=10.4	较显著
	E	132.9637					
	误差	70.65305		3		$F_{0.01}(1,3)$=34.4	

时间和浓度的交互作用>预处理时间>浴比

对大麻束而言，影响其根、中梢部木质素去除效果的主要因素则各有不同：

1、影响大麻根部木质素去除效果的主要因素为时间与浓度的交互

作用、pH 值和温度，它们影响的大小次序为：

温度>时间与浓度的交互作用>pH 值

2、影响大麻中部木质素去除效果的主要因素为双氧水浓度、时间与浓度的交互作用、浴比和 pH 值，它们影响大小的排列次序为：

双氧水浓度>pH 值>浓度与时间的交互作用>浴比

3、影响大麻梢部木质素去除效果的主要因素为双氧水浓度、浓度与时间的交互作用、浴比和 pH 值，它们影响的大小次序为：

浓度与时间的交互作用>pH 值>浴比>双氧水浓度

第六节　　小结

通过本章的试验和结果分析，可得到以下的结论：

1、　影响大麻胶质去除效果的主要因素为双氧水浓度与预处理时间，其他因素如浴比、浓度与时间的交互作用、温度及 pH 值则对大麻麻束各部位的胶质去除效果的影响有所不同。

2、　影响大麻木质素去除效果的主要因素为双氧水浓度与预处理时间的交互作用和 pH 值，其他因素对大麻麻束各部位木质素去除效果的影响则随部位的不同而不同。

3、　影响大麻根、中、梢各部位的胶质和木质素去除效果的主要因素存在着很明显的不同，这也进一步说明了根、中、梢部的化学成份含量和组份是不同的，否则便不会出现这种差异。从而，在实际生产中对根、中、梢部选择不同处理工艺条件是必要的。

4、　同样的化学脱胶工艺条件下，各工艺参数去除大麻胶质和木质素的效果是有着显著的差异的，由此可见，若脱胶的目的和要求不同，则应该相应选择不同的工艺条件。从而推论：针对大麻和苎麻化学脱胶的不同要求（大麻为半脱胶，苎麻为全脱胶），实际生产中也宜选择不同的工艺条件。这一点或许能够说明目前实际生产中一个极为令人困扰的问题：对大麻化学脱胶沿用苎麻的化学脱胶工艺，脱胶后的精麻质量始终难以达到理想的效果。

5、　不论大麻化学脱胶各工艺参数对大麻胶质和木质素作用的效

果随着大麻的不同部位如何变化，总的看来，对大麻胶质和木质素去除效果较为明显的工艺参数主要是双氧水浓度和预处理时间。

6、　由于大麻脱胶的主攻对象为木质素，且预尿氧处理中 pH 值的大小对处理效果影响较大，再根据本章试验结果中 pH 值对大麻木质素去除效果好坏的影响较大，因此以下的试验拟采用双氧水浓度、预处理时间及 pH 值作为对大麻精麻胶质和木质素去除效果影响较大的主要工艺参数进行试验和讨论。

7、　考察本次试验的各方案，显然以方案五的试验结果为最好，即在双氧水浓度为 6g/L 预处理时间 12min、浴比 1：12、pH 值 6.5 与温度 30℃时相对符合大麻脱胶的目的和要求——残余木质素含量较低即木质素去除率较高，而残余胶质含量也符合大麻纤维纺纱的要求。

第六章　预处理工艺参数的旋转优化

第一节　目的和意义

对实际生产而言，只是优选出对脱胶效果影响较大的工艺参数还远远不够，因为它只是对生产结果的分析。实际生产要求的是能够建立合适的工艺配置来保证生产质量的最优。

因此，必须通过对这些工艺参数进行某种试验设计，对试验结果进行分析，建立起合适的数学模型，以便能够对将来的工业化生产预先进行工艺参数的最优配置，从而可以指导生产而不是仅仅对生产的质量进行评判。

优化设计试验恰恰就是为此目的发展起来的。优化设计方法分为回归正交设计和回归旋转设计等，而其中的回归旋转设计一方面基本保留了回归正交设计的试验次数比较少、计算简便、部分的消除了回归系数间的相关性（牺牲部分的正交性而获得旋转性）等优点，另一方面能使二次设计具有旋转性，有助于克服回归正交设计中二次回归的预测值 Y 的方差依赖于试验点在因子空间中的位置这个缺点。所以，本章中将采用旋转优化设计试验建立大麻预尿氧处理的数学模型，并通过对工艺参数的优化选择出相对最优的工艺配置。

由于本课题的目的在于研究预处理工艺参数对大麻可纺性影响的规律性，以便寻找出具有较好可纺性的预处理工艺配置参数，而胶质去除率和木质素去除率等脱胶效果指标与脱胶精麻纤维长度和细度等对大麻纤维可纺性具有重大影响，因此本章试验将选择胶质去除率(EG)、木质素去除率(EL)及脱胶精麻工艺纤维长度(TL)和细度(TN)作为考察指标。

第二节　试验设计

本试验采用三因子二次通用旋转组合回归优化设计方法，所选择的

三因子为通过上一章所优选出的对脱胶效果影响较大的预处理工艺参数双氧水浓度（x1）、处理时间(x2)和 pH 值(x3)。

至于预处理工序中的其他工艺参数，则对所有的设计方案均取作相同，即：浴比为 1：12，压力常压，温度 30℃，尿素 10g/L。

由于本次试验仅仅对上一章通过正交设计试验得到的预处理工序中对脱胶效果影响较大的三个因子进行优化设计试验，也即只是对预处理工序进行优化设计试验，因此为使试验结果具有可比性，所有设计的试验方案均采用相同的脱胶工艺路线。同时，为避免其他工艺因素的影响和干扰，脱胶工艺路线中的其他工序则是所有方案均采用同样的工艺条件。

所采用的脱胶工艺路线为：

试样准备→预处理→水洗→煮练→水洗→酸洗→水洗→脱水→干燥

煮练及酸洗工序的工艺条件如下表（表 6.1）：

表 6.1 煮练、酸洗工序的工艺条件

	温度℃	压力	浴比	时间	化学试剂及用量
煮练	100	常压	1：15	1.75h	NaOH8g/L, Na_2SO_3用量 2%, Na_2SiO_3用量 2%
酸洗	常温	常压	1：15	2min	$H_2SO_4$1g/L

预处理工序的优化设计方案因子编码表如下：

表 6.2 预处理工序的三因子二次通用旋转回归优化设计的因子编码表

因子 / 编码	x1 g/L	x2 min	x3
+r	8	14	7
+1	7.2	13.2	6.6
0	6	12	6
-1	4.8	10.8	5.4
-r	4	10	5

从上章的试验结果知，在双氧水浓度 6g/L、预处理时间 12min、pH 值 6.5 时脱胶精麻的化学成份相对较符合大麻脱胶的目的和要求，因此，本章所设计的因子编码如表 6.2（其中，考虑到在碱性条件下的预尿氧处理会损坏纤维素，因此此处设计 pH 值最大为 8，零水平为 6），试验设计方案如表 6.3。

表 6.3 预处理工序的三因子二次通用旋转组合回归优化设计方案

试验号	x0	x1	x2	x3	x1x2	x1x3	x2x3	$x1^2$	$x2^2$	$x3^2$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1
4	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
5	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1
7	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
9	1	1.682	0	0	0	0	0	2.828	0	0
10	1	-1.682	0	0	0	0	0	2.828	0	0
11	1	0	1.682	0	0	0	0	0	2.828	0
12	1	0	-1.682	0	0	0	0	0	2.828	0
13	1	0	0	1.682	0	0	0	0	0	2.828
14	1	0	0	-1.682	0	0	0	0	0	2.828
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

此外，通过上一章的试验可知，大麻根、中、梢各部位经同一脱胶工艺处理的胶质和木质素去除率是存在着不同的，因此本章将对脱胶精麻各部位的脱胶效果分别作一分析，并增加对可纺性影响较大的工艺纤维长度和细度的分析。但是，限于本论文的篇幅，仅对脱胶精麻的脱胶效果平均值作出详细的阐述，根、中、梢各部位的回归分析仅列出最终所得的有效回归方程。

第三节　　方法和步骤

由于前面所用的同批同品种山东原麻的数量不够进行本次试验，而又必须尽可能地降低试验中与设计无关的因素所造成的偶然误差，本试验采用两批不同的山东原麻作了两批重复试验，其中一批为上面试验所用的山东原麻，其胶质含量根、中、梢部分别为 45.15%、42.23%和 38.06%，木质素含量根、中、梢各部位分别为 4.74%、4.24%和 4.05%；另一批为新麻，其胶质含量根、中、梢部分别为 50.226%、46.333%和 40.308%，木质素含量根、中、梢部分别为 6.508%、5.435%和 4.934%。

由于试验任务量较重，为了尽可能降低试验的环境气候条件的影响，试验时将所有的设计方案分成四个方案一组，两批麻样的处理均在同日同时完成，五日内完成全部设计方案的试样处理。

全部化学试验在 1999 年 4 月 12 日开始，至 1999 年 6 月 20 日完成。对原麻的处理在 4 月 12 日到 4 月 16 日内完成。随后时间内为对经设计试验方案处理所得精麻进行的化学成份分析。

脱胶试验和精麻化学成份分析及将残胶率和残余木质素率换算为原麻胶质去除率和木质素去除率的方法步骤如第五章。

1999 年 6 月 29 日对精麻进行给油。所用油剂为中国纺织大学所研制的苎麻快速上油剂 BSK，用量 4%。麻样先在 30℃～40℃的油浴中浸渍 1 小时，后在常温下浸渍 1 小时，用滚筒式脱水机脱水，堆放至 1999 年 7 月 2 日方放入 Y801A 恒温烘箱烘干，烘干温度为 104℃～105℃。

脱胶精麻工艺纤维长度为采用分组称重法测得的平均长度，细度为采用中段称重法测得的公制支数。具体方法和步骤参见大麻精麻纤维测

试方法国家标准（待颁布）。

第四节　试验结果和回归方程求解

1、试验结果

经上述试验方案进行试验处理后，所得脱胶精麻的化学成份分析结果和工艺纤维长细度测试结果如表6.4(表中的部位1-3分别代表根、中、梢部)。

2、回归分析

显然，从上述的试验结果表是无法看出什么规律性的，必须对试验数据进行回归分析，建立有效的回归方程，通过优化得到一个合适的优化点以指导生产。

回归分析的步骤为：（1）采用最小二乘法估计回归方程的系数，初步建立多元二次回归方程；（2）对中心试验点的数据进行显著性检验：若不显著，则试验误差是由偶然因素引起的，说明回归方程的拟合情况良好，否则试验误差是由试验模型所引起的系统误差，应重新建立数学模型；（3）对回归方程进行显著性检验，以确定试验模型的合理性；（4）对估计出的回归系数进行显著性检验，以剔除对回归方程的结果值影响较小的回归系数，建立相对最合理的回归方程。

具体的回归分析计算方法见有关回归分析教材及参考书目。回归分析程序见附录一。

其中的总试验次数N＝20，因子个数p=3，中心试验点次数m_0=6。

各考察指标平均值的回归分析结果如表6.5～表6.8。

根、中和梢部各考察指标的有效回归方程如表6.9～表6.11。

表6.4　二次通用旋转组合设计的试验结果

方案	EG(%)			EI(%)			TI(mm)			TN(N_m)		
	部位		平均	部位		平均	部位		平均	部位		平均
1	1	86.4675	86.4638889	1	48.7557	36.84963256	1	77.3359	87.70879	1	434.7826087	491.3063037
	2	88.8548		2	33.54852461		2	97.15456		2	512.8205128	
	3	84.0693		3	28.24468376		3	88.63591		3	526.3157895	
2	1	86.5594	84.58588683	1	36.3149363	25.91116258	1	90.88611	88.058	1	476.1904762	633.7301587
	2	86.0016		2	19.44456344		2	88.15767		2	800	
	3	81.1967		3	21.97398799		3	85.13023		3	625	
3	1	87.5568	86.14520298	1	23.34977351	27.84678972	1	79.81659	76.81956	1	476.1904762	758.7301587
	2	87.3891		2	28.89787982		2	77.94742		2	800	
	3	83.4897		3	31.29271583		3	72.69467		3	1000	
4	1	86.9218	86.23533633	1	37.1863594	32.34214329	1	93.60072	85.76593	1	476.1904762	505.5770056
	2	87.6206		2	39.60190058		2	81.69438		2	500	
	3	84.1636		3	20.2381699		3	82.00269		3	540.5405405	
5	1	87.6903	86.56150467	1	38.75894555	37.57466345	1	88.76389	80.62093	1	434.7826087	573.4989648
	2	86.5459		2	32.99183568		2	75.22174		2	571.4285714	
	3	85.4483		3	40.97320912		3	82.87717		3	714.2857143	
6	1	85.3761	85.27127995	1	36.89988687	24.64120162	1	70.53342	71.50403	1	612.8205128	779.7121008
	2	85.8568		2	22.26622391		2	69.29774		2	626.3157895	
	3	84.5809		3	14.75749408		3	72.68094		3	1100	
7	1	78.6986	80.50822744	1	31.86420994	26.99624531	1	78.63519	85.3407	1	512.8205128	594.2205942
	2	82.2191		2	20.05975305		2	85.50552		2	555.5555556	
	3	80.607		3	29.06477294		3	91.88138		3	714.2857143	
8	1	81.8423	81.3575115	1	34.33300282	37.1794037	1	71.11264	82.81259	1	540.5405405	612.2789456
	2	83.37927088		2	39.23126743		2	90.74796		2	555.5555556	
	3	78.85101201		3	37.97394084		3	86.57717		3	740.7407407	
9	1	81.19889963	81.65446122	1	41.03201717	35.50578947	1	85.2191	78.42842	1	436.3157895	511.3695529
	2	81.87015688		2	36.17180405		2	75.88186		2	652.631579	
	3	81.89432715		3	29.3135472		3	74.1843		3	445.1612903	
10	1	77.81356926	80.66706587	1	26.75114878	24.05074734	1	85.97911	80.9511	1	512.8205128	684.4789198
	2	81.61554046		2	26.13138001		2	69.20451		2	952.3809524	
	3	82.5720879		3	19.26971322		3	87.66969		3	588.2352941	

表6.4　二次通用旋转组合设计的试验结果(续上表)

11	1	91.00510312	89.81837772	1	38.30343836	35.40319202	1	86.01952	79.02533	1	540.5405405	693.718929
	2	91.53768785		2	32.73676779		2	71.05991		2	952.3809524	
	3	86.91234218		3	35.16936992		3	82.99659		3	588.2352941	
12	1	87.32415974	86.76718722	1	38.2916228	36.71913104	1	86.48783	88.8076	1	734.7826087	787.0327994
	2	86.79459902		2	44.20834466		2	87.38666		2	800	
	3	86.18280291		3	27.65742566		3	90.54832		3	826.3157895	
13	1	86.54653273	86.94459398	1	34.70389482	35.34963155	1	72.7026	78.30748	1	540.5405405	726.445509
	2	87.57398259		2	37.13959924		2	78.7061		2	869.5652174	
	3	86.71326663		3	34.20540058		3	83.51375		3	769.2307692	
14	1	88.76629014	88.39382301	1	39.13493391	38.33417499	1	90.67333	84.1571	1	526.3157895	598.5155196
	2	88.85539052		2	34.22899417		2	81.89914		2	769.2307692	
	3	87.55978836		3	41.63859689		3	79.89883		3	500	
15	1	90.48179697	89.06818929	1	51.747792	43.75792404	1	86.0705	82.11348	1	500	615.3846154
	2	90.04451128		2	43.48611688		2	84.16456		2	833.3333333	
	3	86.67825963		3	36.03986324		3	72.10537		3	512.8205128	
16	1	89.75643036	87 88722353	1	38.17852704	39.7538965	1	90.64699	87.65081	1	454.5454545	654.8389882
	2	88.58487517		2	45.06618758		2	82.89932		2	769.2307692	
	3	85.32036506		3	36.01697488		3	89.40611		3	740.7407407	
17	1	86.31253406	86.88253471	1	39.12023528	37.6340685	1	83.3455	82.17503333	1	500	634.9206349
	2	88.27116845		2	38.00041871		2	79.8762		2	571.4285714	
	3	86.06390163		3	35.78155152		3	83.3034		3	833.3333333	
18	1	87.4143495	87.42188553	1	49.40601278	48.14119248	1	84.2135	81.8823	1	444.4444444	655.8109834
	2	88.24128171		2	47.8811208		2	81.2756		2	833.3333333	
	3	86.61002538		3	47.13644386		3	80.1578		3	689.6551724	
19	1	87.41225997	87.60058231	1	38.13621702	35.2241295	1	84.1525	84.46763333	1	540.5405405	749.8771499
	2	89.01141002		2	30.7082943		2	88.3568		2	909.0909091	
	3	86.37807694		3	36.82787719		3	80.8936		3	800	
20	1	88.59705445	88.1759974	1	50.14599371	39.82025956	1	87.1035	82.2568	1	526.3157895	643.6925648
	2	88.77814943		2	34.96014154		2	82.2546		2	571.4285714	
	3	87.15278832		3	34 35464342		3	77.4123		3	833.3333333	

表 6.5 用最小二乘法估计出的各考察指标的回归系数

指标	b0	b1	b2	b3	b1b2	b1b3	b2b3	$b1^2$	$b2^2$	$b3^2$
EG	87.8784	0.7695	1.0003	-0.0211	-1.4972	0.1901	0.5233	-2.5938	-0.0240	-0.2658
EL	40.7720	1.1570	-0.1172	0.3055	0.5664	0.4616	4.8188	-4.4168	-2.1983	-1.9224
TL	83.3978	1.0126	-1.4131	-0.5484	3.6512	-2.6176	1.8982	-1.1459	0.3481	-0.6007
TN	660.6559	-33.7918	-10.9467	7.4414	-35.7478	41.8751	-72.9665	-31.9064	18.4455	-9.0879

表 6.6 对回归系数的显著性检验

指标	t0	t1	t2	t3	t12	t13	t23	t11	t22	t33
EG	207.8654> $t_{0.01}$=3.169	2.7435> $t_{0.05}$=2.228	3.5665> $t_{0.01}$=3.169	0.0754	4.0853> $t_{0.01}$=3.169	0.5187	1.4278	9.5012> $t_{0.01}$=3.169	0.0879	0.9738
EL	22.4769> $t_{0.01}$=3.169	0.9614	0.0974	0.2539	0.3602	0.2936	3.0645> $t_{0.05}$=2.228	3.7706> $t_{0.01}$=3.169	1.8767> $t_{0.1}$=1.8125	1.6411
TL	66.7157> $t_{0.01}(5)$=3.1693	1.2210	1.7039	0.6612	3.3694> $t_{0.01}$=3.169	2.4156> $t_{0.05}$=2.228	1.7518	1.4196	0.4312	0.7442
TN	26.0197> $t_{0.01}(5)$=3.169	2.0060> $t_{0.1}(5)$=1.813	0.6498	0.4418	1.6241	1.9025> $t_{0.1}(5)$=1.812	3.3151> $t_{0.01}$=3.169	1.9460> $t_{0.1}$=1.8125	1.1250	0.5543

表 6.7 对回归方程的显著性检验

指标	F_1	拟合情况	F_2	显著性
EG	2.9231<$F_{0.1}(5,5)$=3.453	良好	14.4750> $F_{0.05}(9,10)$=3.02	显著
EL	0.8928<$F_{0.1}(5,5)$=3.453	良好	3.1558> $F_{0.05}(9,10)$=3.02	显著
TL	2.6170<$F_{0.1}(5,5)$=3.453	良好	3.0968> $F_{0.05}(9,10)$=3.02	显著
TN	2.5225<$F_{0.1}(5,5)$=3.453	良好	3.0740> $F_{0.05}(9,10)$=3.02	显著

表 6.9 各考察指标的有效回归方程

指标	回归方程
EG	$Y=87.8784+0.7695x1+1.0003x2+3.6512x1x2-1.1459x1^2$
EL	$Y=40.7720+4.8188x2x3-4.4168x1^2-2.1983x2^2$
TL	$Y=83.3978+3.6512x1x2-2.6176x1x3$
TN	$Y=660.6559-33.7918x1+41.8751x1x3-72.9665x2x3-31.9064x1^2$

表 6.9 根部各考察指标的有效回归方程

指标	回归方程
EG	$y=88.337235+1.507681x1+1.190861x2-1.622150x1x2-3.172144x1^2$
EL	$y=44.454118-3.723180x1^2$
TL	$y=85.155836+2.292818x1-2.328843x3-6.635925x1x3-1.853502x3^2$
TN	$y=491.738790-26.781349x1-27.374010x2+40.302738x2^2$

表 6.10 中部精麻各考察指标的有效回归方程

指标	回归方程
EG	$y=88.829743+0.900072x1+1.071067x2-0.869700x1x2+0.616750x2x3-2.553544x1^2$
EL	$y=40.187504-2.843327x2+6.838125x2x3-4.251770x1^2$
TL	$y=82.936683+2.592762x1-2.454581x2+7.175575x1x2+2.988800x2x3-2.434680x1^2$
TN	

表 6.11 梢部各考察指标的有效回归方程

指标	回归方程
EG	$y=86.445747+0.689028x2-1.619812x1x2-1.976117x1^2+-0.451140x2^2$
EL	$y=37.781420+3.792625x2x3-5.317520x1^2-2.800204x2^2$
TL	$y=80.561921+5.246150x1x2$
TN	$y=730.716467-93.560500x1x2+96.618075x1x3+-114.675375x2x3$

3、试验结果分析

根据上述求得的有效回归方程，分别绘制出各指标的三维立体图形，分析各考察指标的变化规律，以便能够通过选择合适的工艺参数来达到指定的脱胶效果，从而可以指导实际生产。图 6.1～6.12 为所绘制的工艺参数与各考察指标间的三维立体关系图。

a.　胶质去除率（EG）

从图 6.1～6.3 可以看出，随着双氧水浓度的增加，胶质去除率不断提高，但当增加到一定程度时，由于纤维素的水解使得胶质去除率又开始下降；延长预处理时间虽有助于胶质去除率的提高，但若双氧水浓度一定时，由于所脱去胶质包围黏附于纤维上，胶质去除率反而会下降；

pH 值的变化对胶质去除率的影响则几乎没有。

b.　木质素去除率（EL）

从图 6.4～6.6 可见，随着双氧水浓度的增加，木质素去除率上升到一定程度后将开始下降；预处理时间的延长，能够促使木质素去除率有一定程度的上升，但当双氧水浓度不变时，同样会使得木质素去除率反而下降；pH 值在一定范围内增加，木质素的去除率将会有明显的提高，但若过度提高 pH 值，木质素的去除率反而会有所下降。

双氧水浓度和预处理时间增加到一定范围时，木质素去除率将会达到一个相对最大的范围值。双氧水浓度和 pH 值或预处理时间和 pH 值同时增加到一定程度时，木质素去除率同样也会达到一个相对最大的范围值。

c.　精麻工艺纤维长度（TL）

图 6.7～6.9 表明，双氧水浓度增加，将会促使精麻脱胶更彻底些，工艺纤维的长度将会有所下降，若预处理时间一定，双氧水浓度增加则由于脱胶不能够充分深入而使得长度逐渐上升；延长预处理时间，工艺纤维长度将会由于反应进行得比较彻底而下降，但在提高 pH 值的情况下，因为胶质、木质素和预处理液反应削弱而使得长度反而上升；pH 值对精麻工艺纤维长度的影响，则由于 pH 值对胶质去除率影响不显著而很不明显。

d.　精麻工艺纤维细度（TN）

从图 6.10～.12 可以看出，当双氧水浓度增加时，精麻工艺纤维细度将逐渐上升，到一定程度后则缓慢下降；pH 值增加时精麻工艺纤维的变化与双氧水浓度增加时相同；但预处理时间的延长，则非常有助于精麻工艺纤维细度的提高。不过，当双氧水浓度、预处理时间和 pH 值同时增加时，精麻工艺纤维细度的变化则较复杂：前二者同时增加，则细度会是一直下降的；后二者同时增加，细度将先有上升而后下降；当双氧水浓度和 pH 值同时增加时，工艺纤维细度则会先有所下降而后缓慢上升。

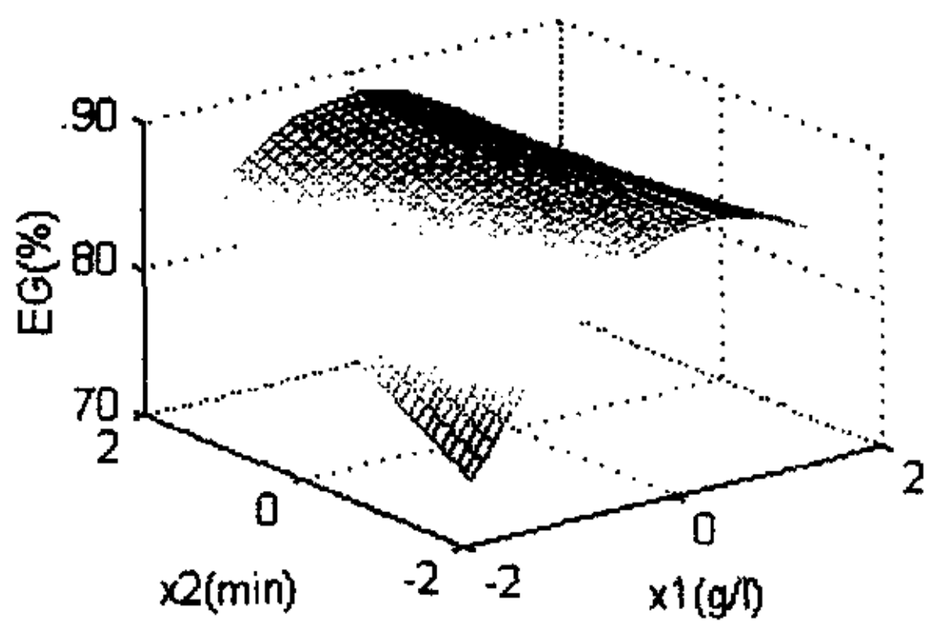


图 6.1 胶质去除率与双氧水浓度、预处理时间的关系

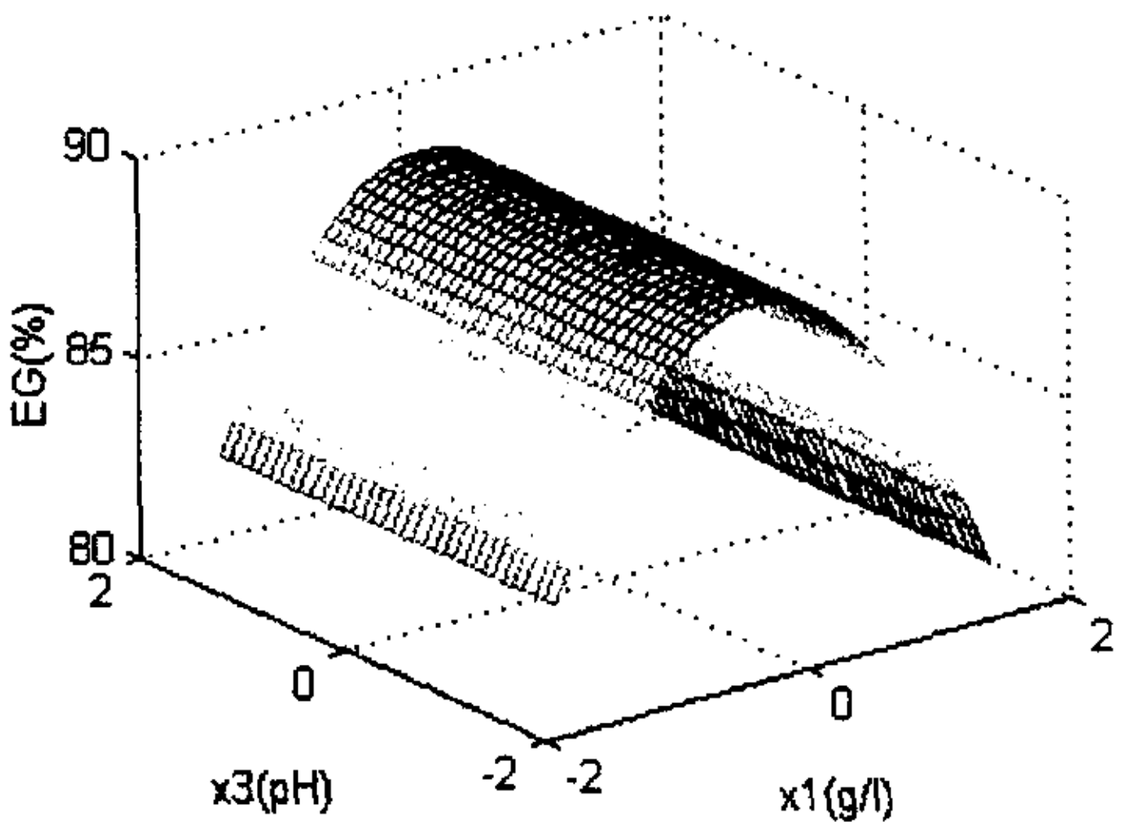


图 6.2 胶质去除率与双氧水浓度、pH 的关系

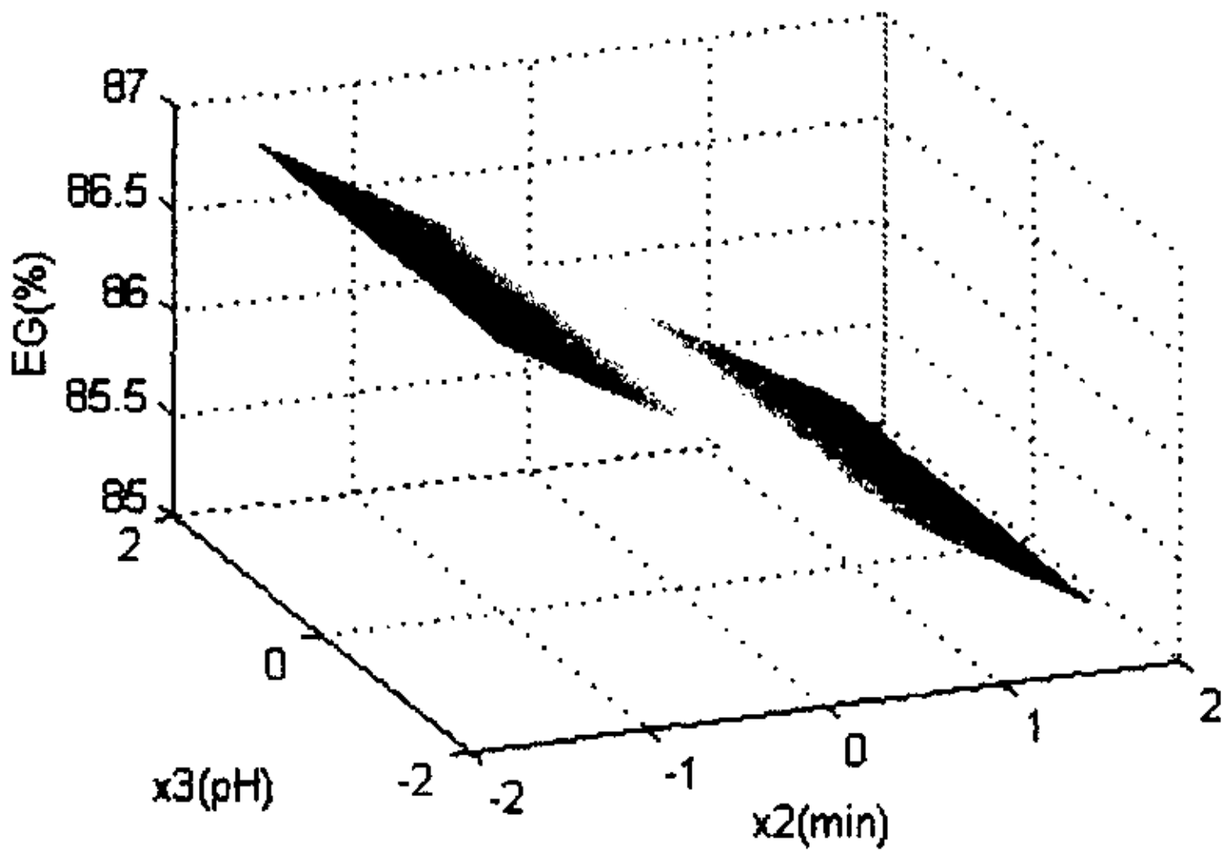


图 6.3 胶质去除率与预处理时间、pH 的关系

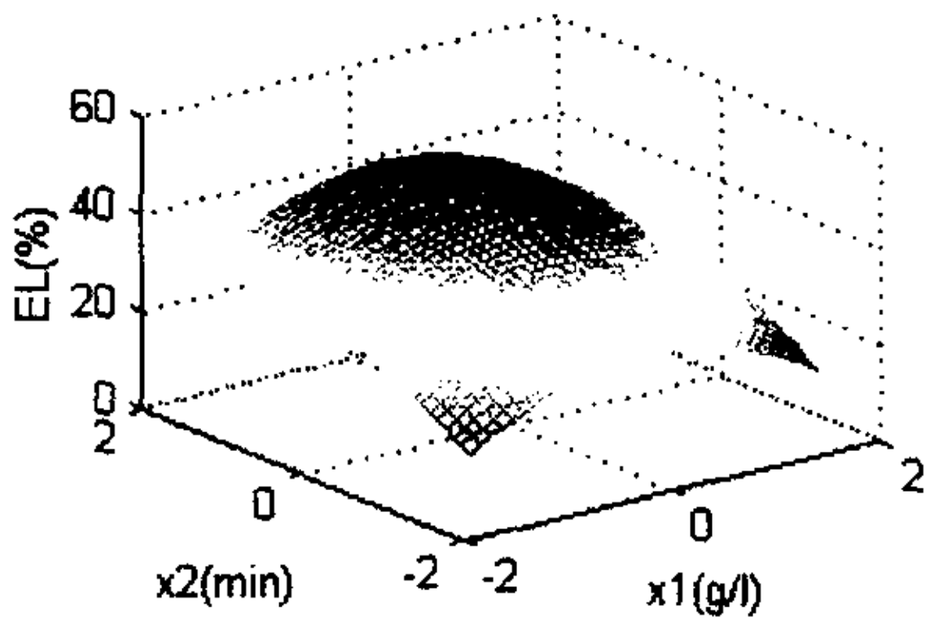


图 6.4 木质素去除率与双氧水浓度、预处理时间的关系

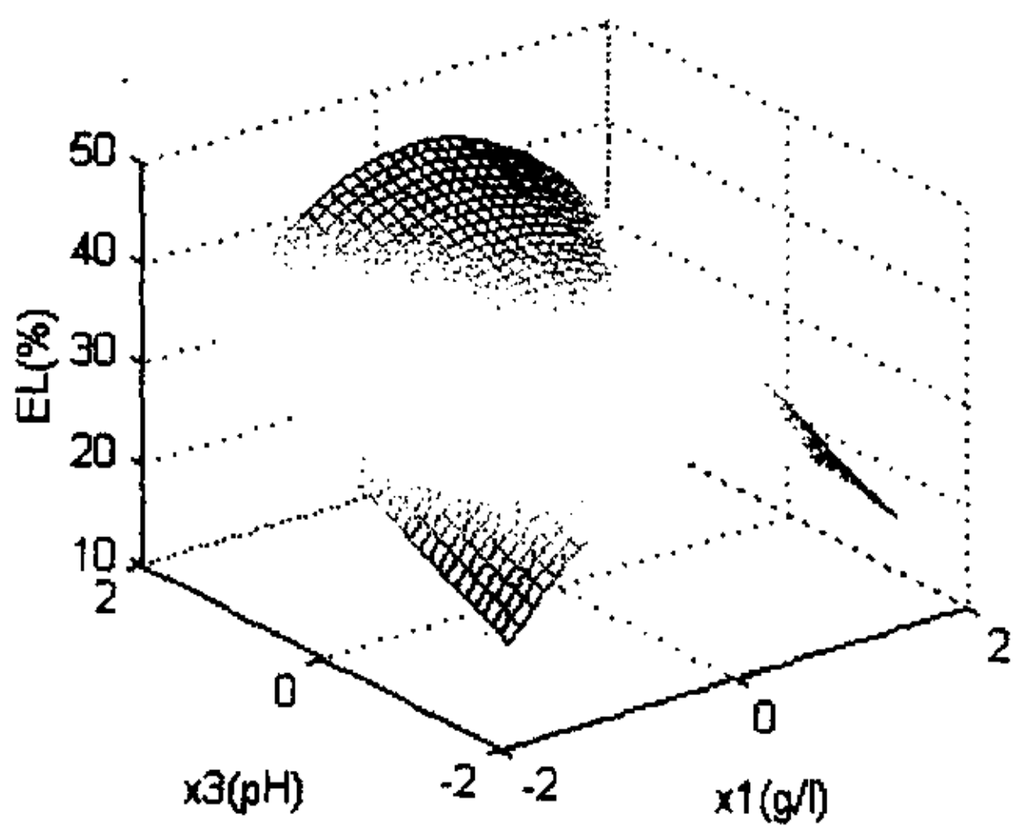


图 6.5 木质素去除率与双氧水浓度、pH 的关系

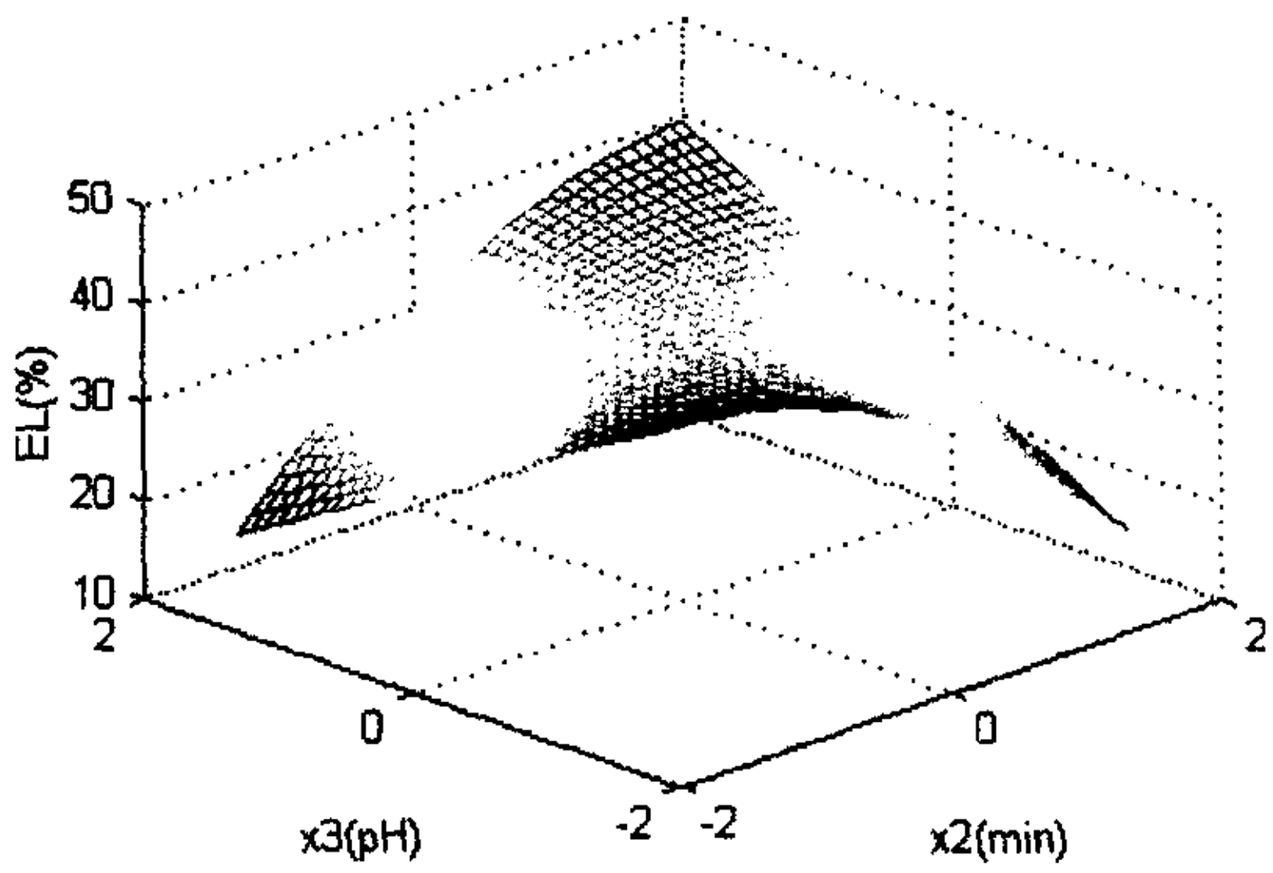


图 6.6 木质素去除率与预处理时间、pH 的关系

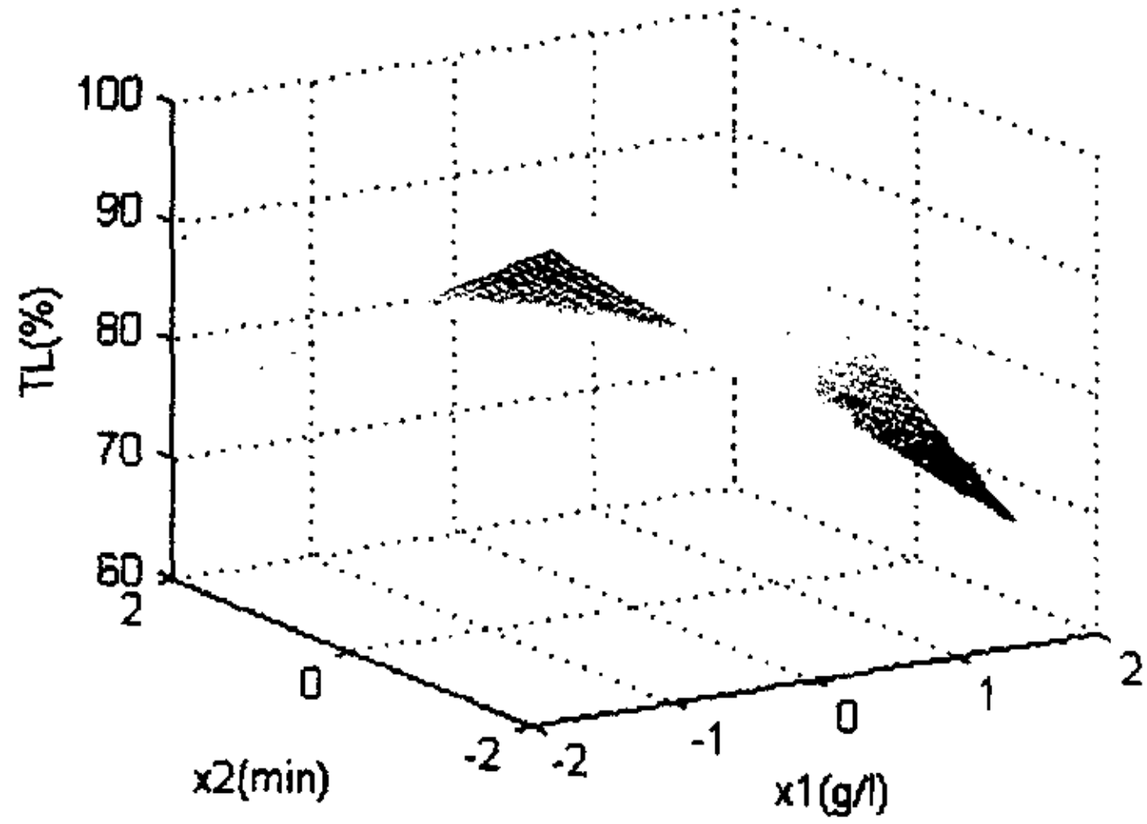


图 6.7 脱胶精麻工艺纤维长度与双氧水浓度、预处理时间的关系

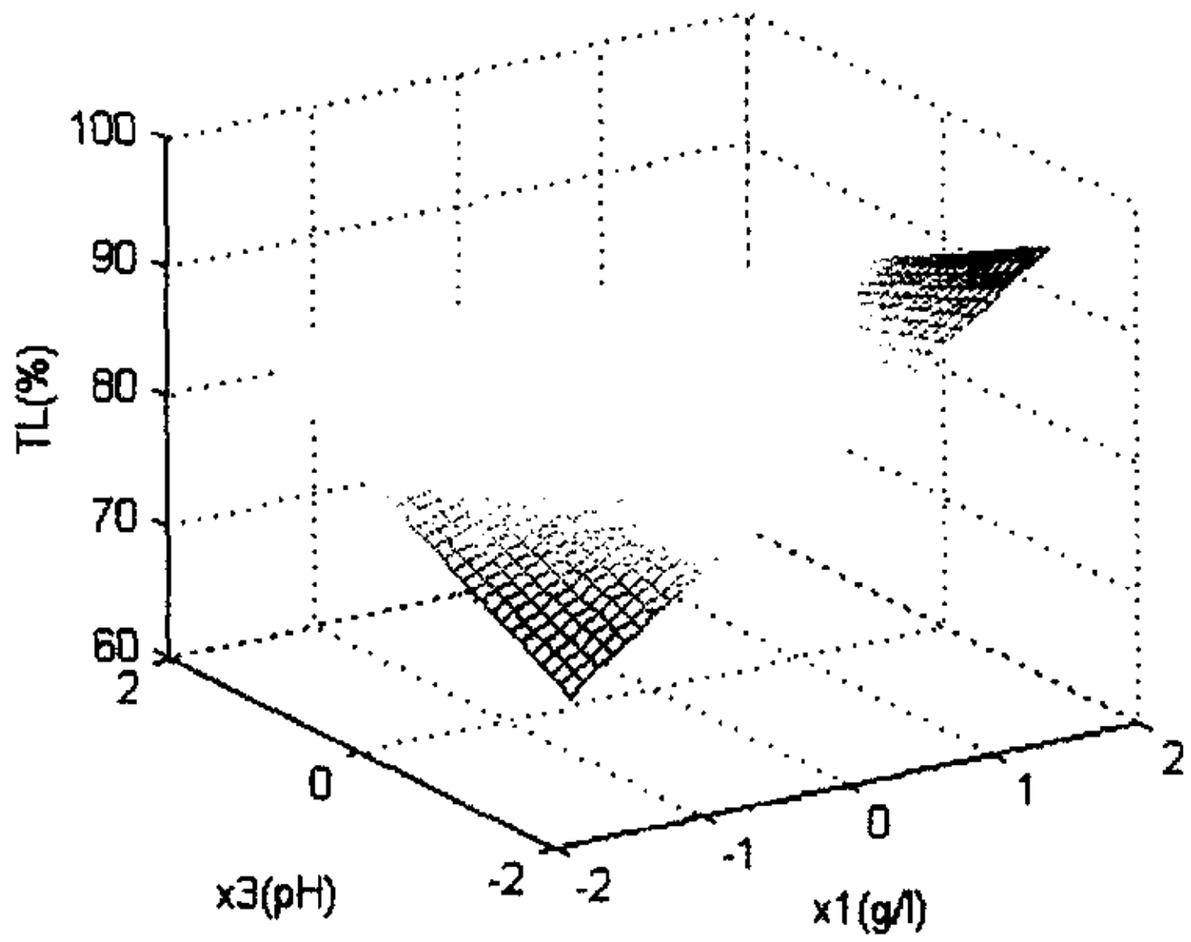


图 6.8 脱胶精麻工艺纤维长度与双氧水浓度、pH 的关系

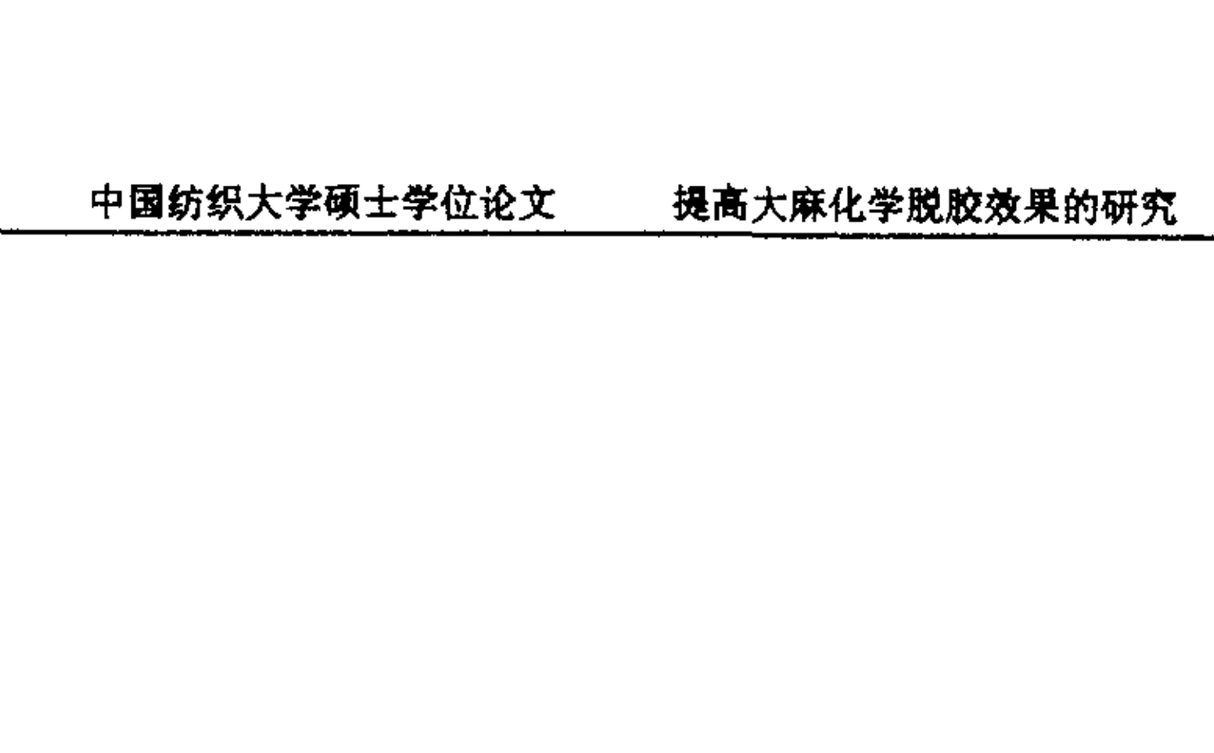


图 6.9 脱胶精麻工艺纤维长度与预处理时间、pH 的关系

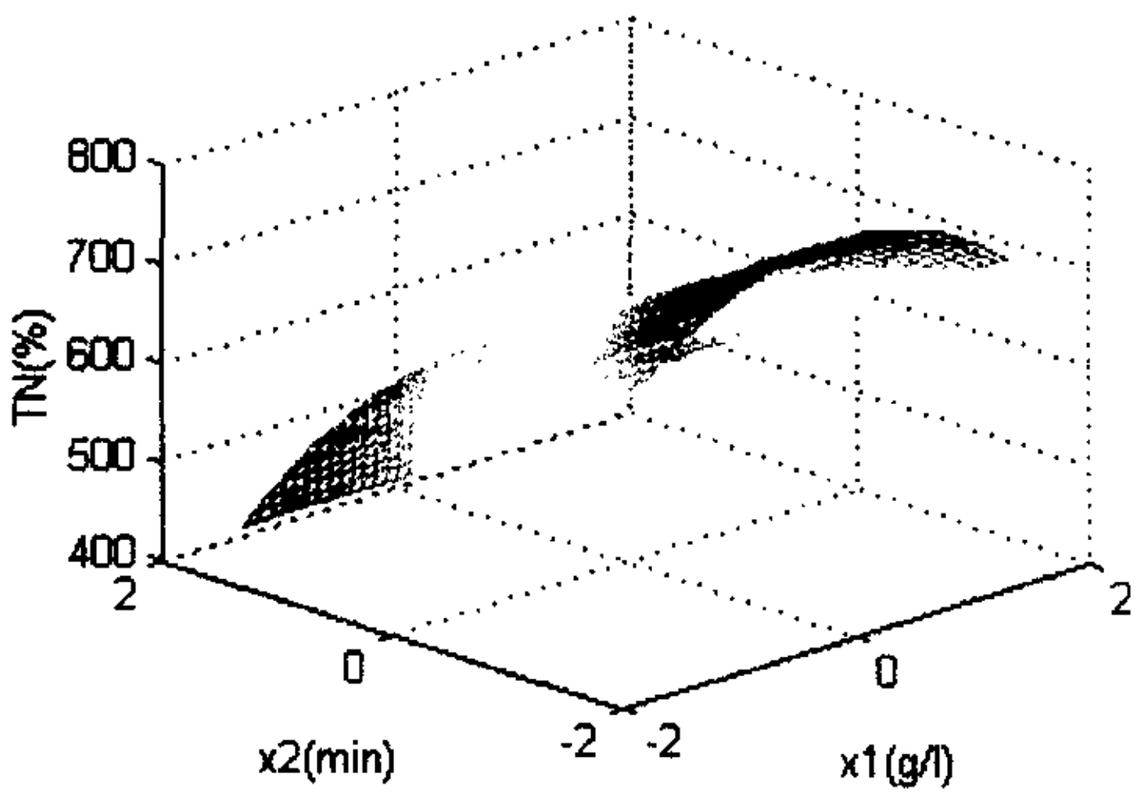


图 6.10 脱胶精麻工艺纤维细度与双氧水浓度、预处理时间的关系

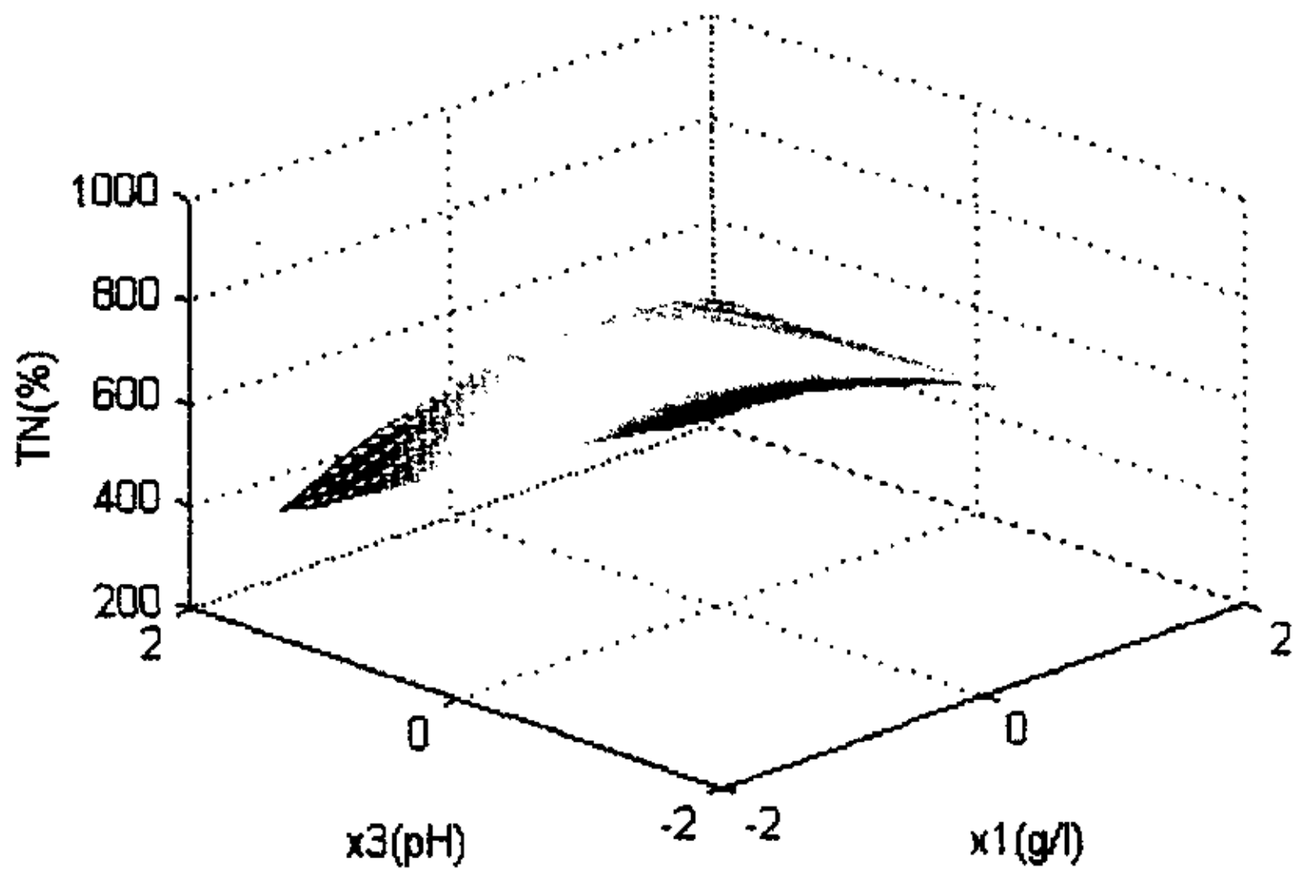


图 6.11 脱胶精麻工艺纤维细度与双氧水浓度、pH 的关系

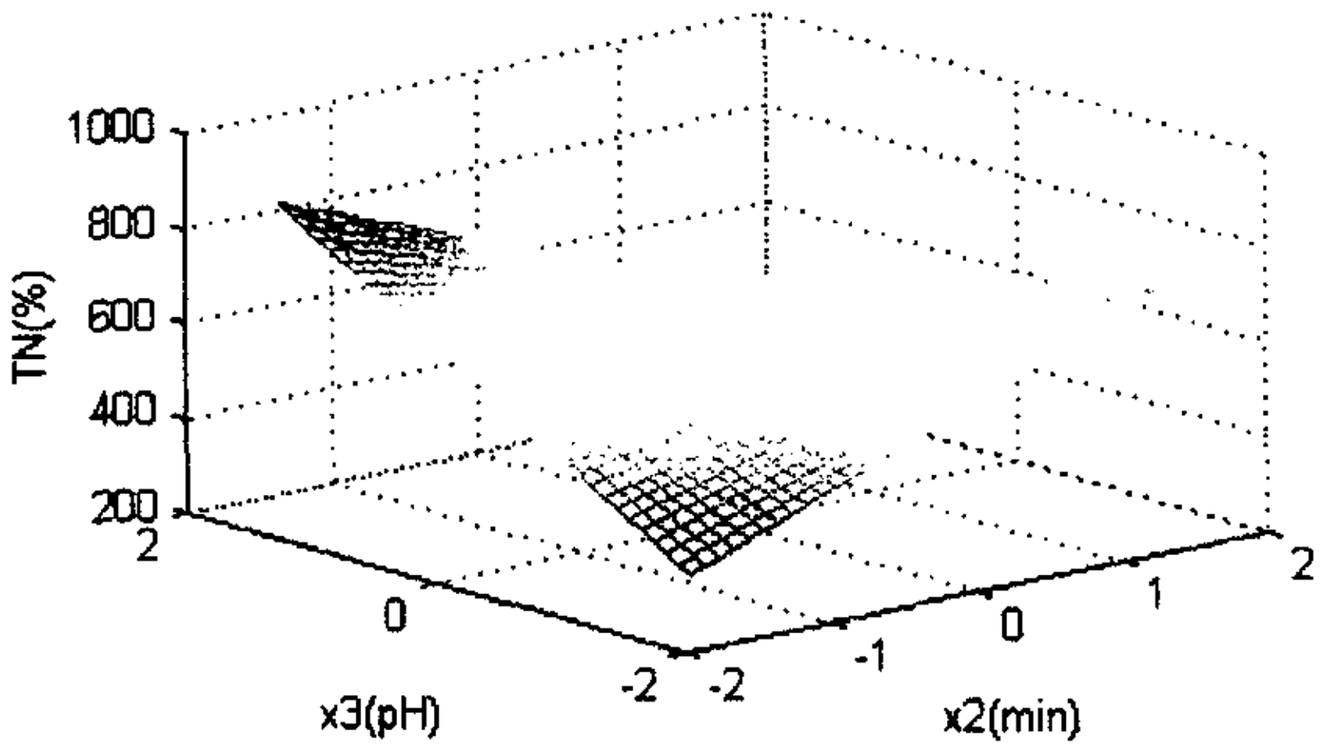


图 6.12 脱胶精麻工艺纤维细度与预处理时间、pH 的关系

第五节　　工艺参数的优化

由上节对试验结果的分析可知，不同的工艺参数对精麻的脱胶效果及品质指标有不同的影响，必须综合考虑各因素，利用所求得的有效回归方程进行多目标优化，以使精麻的可纺性达到本课题条件下的最优，从而验证课题试验设想的正确性，从逆向论证上述的分析结果。

一、优化方法

本次优化设计所检验的指标有四个：胶质去除率 f2(x)、木质素去除率 f1(x)、精麻工艺纤维长度及细度。这几个指标均要求越大越好，但木质素去除率不能大于 100，胶质去除率在 85～90 之间为好。而且，由于大麻化学脱胶的主攻对象为木质素，因此木质素去除率为重要指标，胶质去除率指标相对居于次要地位。而精麻工艺纤维长度和细度这两个指标，由于仅要求值越大越好，没有其他的制约条件，且它们也取决于精麻的脱胶效果指标，所以优化中将不加以考虑。

综合考虑，这里参照多目标函数的目标规划方法，确定优化目标函数为：

求 $x=[x_1, x_2, x_3] \in R^3$ 使

$$\min F(x)=100-f1(x)$$

满足 $85 \leqslant f2(x) \leqslant 90$ 条件下。

采用的优化方法为随机方向搜索法，该方法的流程图如附录二。

随机方向搜索法的具体方法步骤参见有关优化设计教材和参考资料，其计算机程序见附录三。

三、优化结果

采用上述的优化方法，各参数选择为：搜索方向 N＝1000，搜索失败的次数 m=50，初始步长 a_0=0.01，步长缩短的界限值 r_0=0.0001，优化的精度 ε_0=0.0001。

通过多次选择不同的初始点进行随机方向搜索，将不同初始点下求得的最优目标函数值进行比较，得到本优化问题的最优解如下：

x1=0.3442，　x2=-0.9491，　x3=-1.5888，　F＝54.4650

经解码，得到的最优工艺参数为：

双氧水浓度：6.413，预处理时间:10.86，pH 值:5.0

四、优化结果分析

从优化的结果可以看出，大麻的脱胶效果相对最好时，双氧水浓度、预处理时间和 pH 值的取值既非在最大值也非在最小值。这就说明了预处理的工艺参数并非越大越好，而是应选择合适的范围。但总的来讲，pH 值应在酸性条件下，若将之设定在碱性条件下，则由于双氧水与尿素在碱性条件下可能反应而造成脱胶效果的下降。

第六节　　小结

通过本章的试验、分析和讨论，在本试验条件下，可得到以下的结论：

1、　双氧水浓度、预处理时间对大麻胶质去除率有显著影响，pH 值的影响则相对较弱；

2、　双氧水浓度、预处理时间和 pH 值对大麻木质素去除率均有显著的影响；

3、　双氧水浓度、预处理时间对大麻精麻工艺纤维长、细度的影响显著，pH 值的影响则相对复杂；

4、　预处理的主要工艺参数（双氧水浓度、预处理时间和 pH 值）对大麻根、中、梢部影响的规律性有显著不同，相应建立的有效回归方程是有很大差异的，从而说明在实际生产中应对这三个部位进行区别对待。

5、在本课题的试验条件下，双氧水浓度在 6～7g/l、预处理时间在 10～11min 和 pH 值 5 左右，经脱胶的大麻精麻的脱胶效果相对最好。

第七章　工艺纤维长度和细度

第一节　试验设想

在传统上，大多数的研究者认为工艺纤维长度和细度之间的关系符合“越长越粗，越短越细”的规律。对于亚麻等研究较多的工艺纤维，研究已发现它们是符合这样的规律的。但对于大麻，这方面的研究由于种种原因，目前尚未开展。

本论文尽管并没有针对工艺纤维长度和细度作过系统的分析，但试验进行中却发现大多数的精麻工艺纤维具有长度越长细度(特克斯数)越高的特点，因此很有必要对大麻工艺纤维开展长、细度间的关系研究，以证明二者间的关系是否的确如此。但是，试验中也发现脱胶精麻的脱胶均匀程度对长、细度测量的影响非常大，为避免脱胶不匀的影响，此处将用精梳麻条来研究工艺纤维长、细度的关系。

第二节　试验原理及方法、步骤

这里，假设大麻纤维的横截面为规则圆形，利用台式显微投影仪测定大麻纤维的直径，而后根据纤维直径的大小对大麻长度进行分类，从而确定大麻工艺纤维长度和细度之间的关系（台式投影仪的测量原理图如图 7.1)。

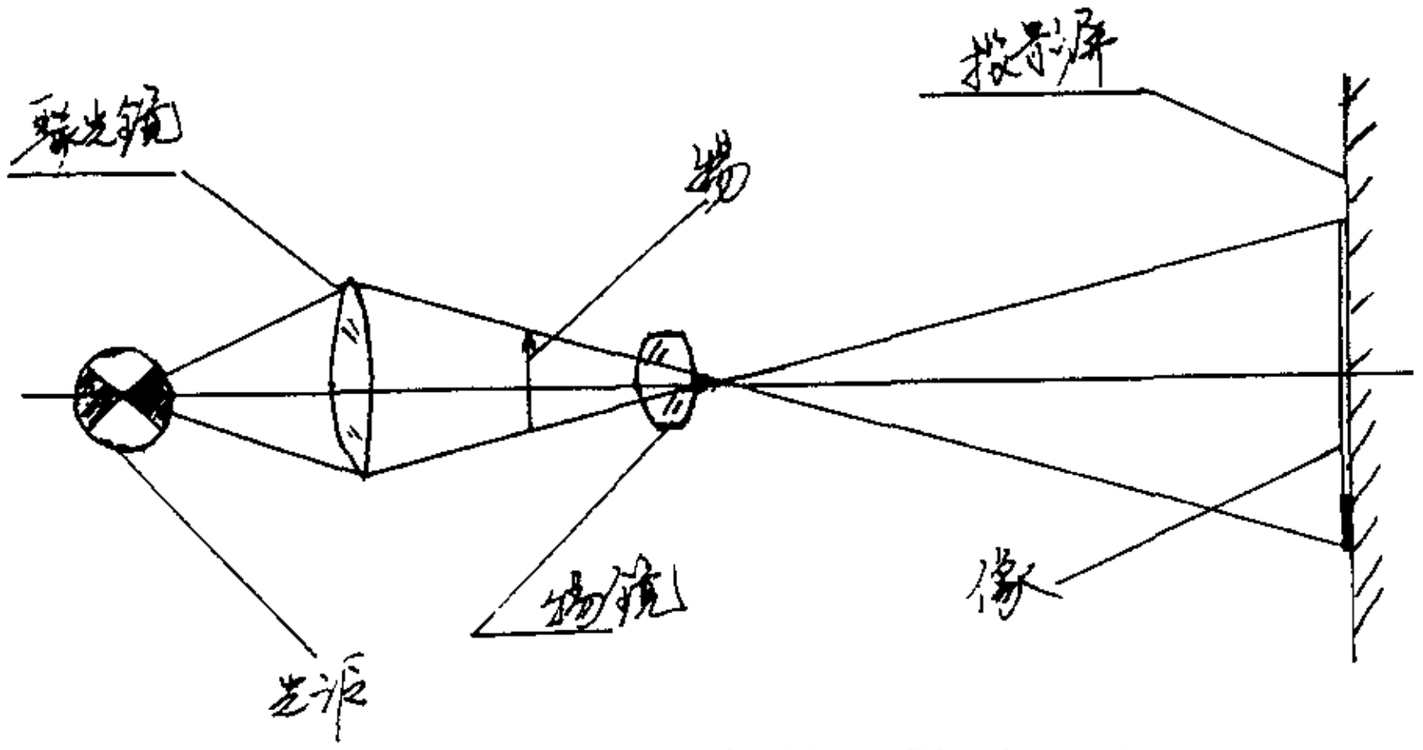


图 7.1 台式投影仪的测量原理图

本试验所用试样均取自山东东平麻纺织集团加工的精梳麻条。试验时，对麻条进行反复手扯至呈工艺纤维状，按长短分类、分组，此后对每组工艺纤维先用粗梳、后用细梳梳去其中的短绒，注意对两头都要梳，直至得到痕路清晰的工艺纤维，将之整齐地由长到短放置于黑绒板上。随后，将梳好的工艺纤维一根根地置于台式投影仪上，调节投影仪的焦距和放大倍数（本试验为便于对比，将放大倍数统一定为 100 倍）使纤维在投影屏上成像清晰，用透明刻度尺测量投影屏上像的宽度，记录数据（即工艺纤维的投影直径）。

表 7.1 显微投影仪测量大麻工艺纤维直径(直径×100)

长度（cm）↑ / 根数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20～22	10.5	12.5	13.5	13.5	13	10	12	13	11	11	12	12.5
18～19	8.7	11.5	10.5	9	9	12	9	11	10	11	11.5	10.5
16～17	9.5	9.3	9	8.5	9	10	8	9	9.5	8.5	8.5	10.5
14～15	8	7.5	7	7.8	6	8	7	8.5	9.5	6.8	7.5	6.5
12～13	7	6.8	6.5	6.5	9/2	6	6	5	6.5	6	4.5	5
10～11	5.5	6	5.5	5.5	5	5	4.5	5.7	4.5	4.5	4	4
8～9	8.5/2	7.5/2	7.5/2	6.5/2	7.5/2	4.5	4	4.5	3	6.5/2	3	4.2
6～7	6.5/2	3.8	6.5/2	2.5	3	3	2.5	3	3.5/2	4.9/2	2.5	2.6
4～5	4.5/2	7.5/3	2	2	4.5/2	4/2	2	2	2	1.9	2	2
2～3	3/2	1.5	1.7	1.5	1.7	1.6	1.5	1.8	1.8	1.6	1.8	2
2 以下	1	1	1.5	1.1	1.3	1.2	1	1.5	1.2	1.1	1.2	1.2

本试验中值得注意的是：被测量的工艺纤维，如果分叉达到纤维长度的三分之一以上，则应将该纤维计为两根。

测得的试验数据为表 7.1。

将上述试验结果作出散点图，并对每一长度下的投影直径的平均值

进行曲线拟合（如下图 7.2）。

显然，大麻工艺纤维长度和细度间的关系也符合以下的规律：即随着工艺纤维长度的增加，工艺纤维的投影宽度随之增加，也即工艺纤维的细度随之降低。这一规律与亚麻等工艺纤维基本相同。但在本试验中，工艺纤维的投影直径与长度间具体符合图 7.2 中所示的多项式关系。

基于这一规律，又由于纤维细度提高可提高成纱质量和纺纱支数，而长度缩短则会对成纱质量产生不利的影响，因此，　要想提高大麻纤维的纺纱支数和成纱质量，理想的情况就是在保证合适工艺纤维长度的情况下，尽可能地提高工艺纤维的细度。

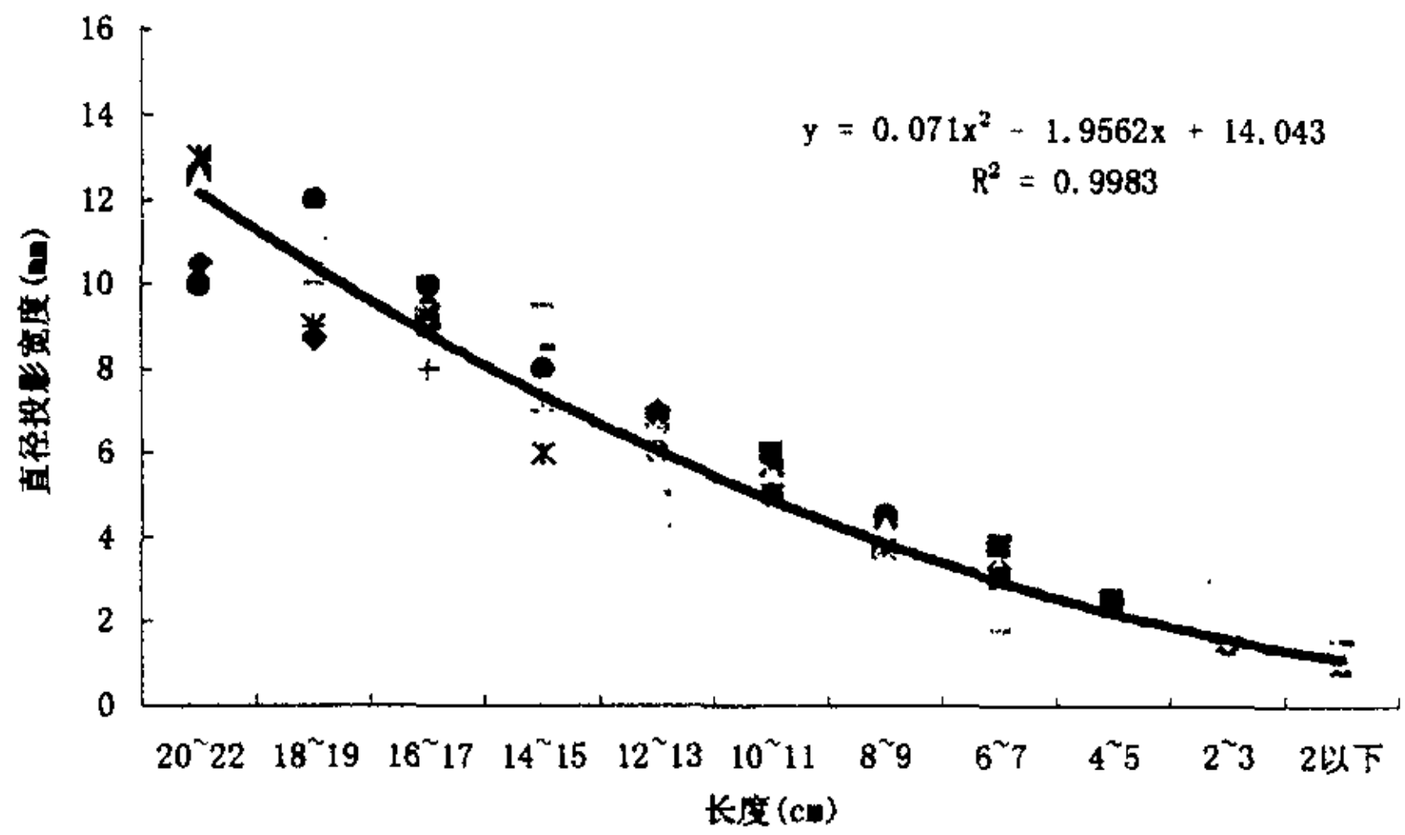


图 7.2 工艺纤维长度与其直径投影宽度间的关系

第三节　小结

通过本章的试验和分析，可得到以下的结论：

1、　大麻精麻工艺纤维长、细度间也符合“长而粗，短而细”的规律，但它们之间并非是纯粹的直线关系；

2、　在本试验条件下，工艺纤维长、细度间的相关系数值高达 0.97 以上，这也说明它们之间的关系非常紧密，在实际生产中很有必要对工艺纤维的长、细度合理选择，以达到最好的纺纱效果。

第八章　结论

本论文的研究条件下，通过对大麻原麻化学成分、化学脱胶工艺方法及其脱胶效果和精麻品质指标（工艺纤维长、细度）的研究，可得到如下的结论：

1、 大麻原麻根、中、梢各部位的化学成分含量有显著的不同：根部纤维素含量为最低，中部次之，梢部为最高，且与其他麻类差异较大，需采用不同的脱胶方法和工艺；

2、 对大麻采用预尿氧处理，所得精麻的脱胶效果符合大麻纺纱的可纺性要求，且更符合大麻化学脱胶的目的和要求；

3、 双氧水浓度、预处理时间和 pH 值对大麻的脱胶效果和精麻的品质指标影响显著，其中 pH 值对木质素去除率的影响比对胶质去除率为大；

4、 预处理各工艺参数对大麻根、中、梢部脱胶效果（胶质和木质素去除效果）和精麻品质指标的影响存在着显著的差异，但总的来讲，双氧水浓度和预处理时间对各部位脱胶效果和精麻品质指标的影响均较显著；

5、 预处理中的各工艺参数应选择适当，过大或过小均达不到理想的脱胶效果。从试验结果的分析可以看出，各工艺参数有一个最优配置范围，能够使大麻脱胶效果和精麻品质指标达到相对最优的。

6、 在本课题的试验条件下，大麻脱胶效果相对最好的预处理工艺参数配置为：双氧水浓度 6～7g/l，预处理时间 10～11min，pH 值 5 左右，浴比 1:15，尿素浓度 10g/l，温度 30℃。

参 考 文 献

1. 顾名淦等，麻纤维开发利用，纺织工业出版社，1993、6
2. 中国进出口商品检验总局，麻类检验，财经出版社，1981、5
3. 李宗道，麻作的理论与技术，上海科学技术出版社，1980、9
4. 钱章武，麻纺原料，纺织工业部经济研究中心编辑出版社，1985、10
5. Ryszard Kozlowski etc，Latest Bast Fibre Achievements，Textile Asia，1997、8，28(8)，p55－58
6. 程际蹇，初议我国亚麻行业兼容大麻开发的前景和意义，麻纺织技术，1999、4，22(2)，p33－37
7. 周明京，大麻及其抗菌纺织品，麻纺织技术，1998，21(3)，p45－48
8. 李桂珍，生物技术在麻纺织领域的开发与应用，麻纺织技术，1998，21(3)，p14－18
9. Row Gluckman，Cannabis is Cool，Asia Week，1997/8/15，p53
10. K. Drury etc，Fibres and the Environment，Canadian Textile Journal，1995，112(5)，p13－15
11. Anon，More European Mills Using Ecologically-Friendly Fibres，Wool Record，1996，155(3616)，p17－19
12. G.Kearns，Canadian Hemp?，Canadian Textile Journal，1996，113(3)，936－39
13. Sarah Hone，The Greening of the Textile Industry，Textiles Magazine，1994，23(1)，p18－20
14. G. Schulze，Experience in Linen Fiber Processing，Melliand，1998、3，p14－16
15. 卢士森等，麻纤维特性比较及其与棉混纺的工艺措施，棉纺织技术，1996、24(11)，p38－40
16. 王德骥等，用大麻作纺织原料的研究，纺织学报，1989，10(5)，p4－7
17. 孙成杰等，利用亚麻短麻工艺路线纺制大麻纱的实践，黑龙江纺织，1994(2)，p7－8
18. 王启祥等，利用苎麻设备开发大麻纱的研究报告，苎麻纺织科技，1996，19(3)，p14－19
19. 王雅琴等，大麻纺纱的工艺探讨及开发，黑龙江纺织，1997、2，p8
20. 延保太，大麻落麻纺制 OE 短纤纱的生产与工艺，麻纺织技术，1997、12，20(6)，p28－30
21. 张百祥，转杯纺开发麻类产品的探讨，棉纺织技术，1998、9，26(9)，p11－14
22. 刘晓霞，苎麻脱胶快速预处理工艺研究，中国纺织大学研究生学位论文，1994、1
23. 王德骥，尿氧浸泡苎麻的新型脱胶工艺研究，纺织学报，1997、6，18(3)，p34－37

24. 祝志锋，中国纺织大学硕士学位论文，1991
25. 姜繁昌等，亚麻、胡麻、大麻等微细结构和性能的研究，纺织学报，1990，11(9)，p388－391，430
26. 姜繁昌等，黄麻纤维与梳理作用，黄麻纺织技术，1990，3～4，p2－36
27. 龚三龙，开发应用大麻纤维的探讨，苎麻纺织科技，1996、6，19(3)，p32－35
28. 刘晓霞，预氯及预氧处理对苎麻纤维的影响，纺织学报，1998、6，19(3)，p37－39
29. 刘晓霞，苎麻脱胶快速预氧处理工艺，麻纺织技术，12997、8，20(4)，p7－9
30. 姜繁昌等，麻类纤维理化性能研究，苎麻纺织科技，1996、2，19(1)，p4－6 及 1996、4，19(2)，p3－4
31. 周裕国，开发大麻产品，振兴大麻生产，苎麻纺织科技，1995、8，18(4)，p46－47
32. 山西晋城纺织厂，风靡国内外的大麻系列产品，国际纺织品动态，1997、4，p30
33. 刘晓霞，苎麻快速预氯处理工艺，武汉纺织工学院学报，1997，10(2)，p18－21
34. 晓虹，感受大麻之靓，中国纺织报，1998、7、27
35. 周明京等，大麻落麻纺纱工艺初探，棉纺织技术，1997、6，25(6)，p19－22
36. 刘冀艳，大麻产品的开发之一，山西纺织，1992、4，p16－18
37. 刘晓霞等，苎麻预氧处理时精干麻脱胶效果与工艺参数的关系，纺织科学研究，1998、9，9(3)，p47－51
38. 刘晓霞，苎麻预氯处理时精干麻脱胶效果与工艺参数的关系，麻纺织技术，1998，21(3)，p26－29
39. 邵宽等，纤维纱线加工化学，1993
40. 周明京等，大麻纺纱工艺路线研究，麻纺织技术，19(6)，p24－30
41. J. Mussig etc，Hemp Fibre as a Textile Resource，Textile Asia，1998、5，29(5)，p39－50
42. Dr. Michael Ryder，Renewed European Interest in Growing Hemp and Flax，Wool Record，1995，154(3613)，p29
43. J. Gale，Hemp－A Fibre for the Future?，Textiles Magazine，1994，3，p15－16
44. E. Gross，Hemp: Historic Fiber Remains Controversial，Textile World，1997，147(11)，p42－48
45. D.E. Akin etc，Effect of Retting Enzymes on the Structure and Composition of Flax Cell Walls，Journal of Textile Research，1997、4，67(4)，p379－287
46. D.E. Akin etc，Structural Effects on Flax Stems of Three Potential Retting Fungi，Textile Research Journal，1998，68(7)，p515－519

47. G. Schulze, Experience in Linen Fiber Processing, Melliand, 1998、3, p14—16
48. G. Mackie, Hemp:the acceptable face of cannabis…, Textile Month, 1998、10
49. 茆诗松等，回归分析及其试验设计，1981，华东师范大学出版社，上海
50. 韩之俊等，概率与统计，1985，国防工业出版社
51. 朱伟勇等，最优设计理论与应用，1981，辽宁人民出版社，沈阳
52. 大麻的有机溶剂制浆和造纸特性，国际造纸，1996，15(6)，p25～29
53. 东北工业大学数学组，正交试验设计法，东北工业大学出版社，1956
54. 姚穆等，纺织材料学，1980，纺织工业出版社
55. 汪萍等，机械优化设计，1986，中国地址大学出版社
56. 吴兆汉等，机械优化设计，2986，机械工业出版社
57. 李庆海等，概率统计原理和在测量中的应用，1982，测绘出版社

附录一　回归方程求解程序

```
function  [x,y]=ldata2;
% 本函数用于输出回归方程求解的 x 及 y 值
    %         编码                    结果
    %编号 x1     x2     x3     y1        y2        y3        y4
idata2=[1  1      1      1      36.84963 86.38811 87.70879 491.30630
       2  1      1      -1     25.91116 84.36994 88.058   633.73016
       3  1      -1     1      27.84679 86.13095 76.81956 758.73016
       4  1      -1     -1     32.34214 86.23534 85.76593 505.57706
       5  -1     1      1      37.57466 86.65183 80.62093 573.49896
       6  -1     1      -1     24.64149 85.42348 71.50403 779.71210
       7  -1     -1     1      26.99625 80.43530 85.3407  594.22059
       8  -1     -1     -1     37.17940 81.27059 82.81259 612.27895
       9  1.682  0      0      35.50579 81.42646 78.42842 511.36955
       10 -1.682 0      0      24.06404 80.73285 80.95110 684.47892
       11 0      1.682  0      35.40319 89.80715 79.02533 693.71893
       12 0      -1.682 0      36.71913 86.89294 88.80760 787.03280
       13 0      0      1.682  35.34963 86.89424 78.30748 726.44551
       14 0      0      -1.682 38.33417 88.43745 84.1571  598.51552
       15 0      0      0      43.54302 89.07724 82.11348 615.38462
       16 0      0      0      39.75390 87.86266 87.65081 654.83899
       17 0      0      0      37.63407 86.88042 82.17503 634.92063
       18 0      0      0      48.14119 87.39336 81.88230 655.81098
       19 0      0      0      35.22413 87.75042 84.46763 749.87715
       20 0      0      0      39.82026 88.12222 82.2568  643.69256   ];
x1=idata2(:,2);
x2=idata2(:,3);
x3=idata2(:,4);
x11=x1.^2;
x22=x2.^2;
x33=x3.^2;
x12=x1.*x2;
x13=x1.*x3;
x23=x2.*x3;
x0=ones(20,1);
x=[x0 x1 x2 x3 x12 x13 x23 x11 x22 x33];
y=idata2(:,5:8);
```

```
function  b=huigui(x,y)
% 本函数用于计算回归系数 b
a=x'*x;
B=x'*y;
c=inv(a);
b=c*B;

function [r,fl]=ctest(x,y)
% 本函数用于进行中心试验点检验
N=20; % 试验次数
cp=10;  % C(P+2,2)的计算结果
m0=6;  % 进行中心试验的次数
y0=y(15:20,:);
yy0=mean(y0);
n=input('输入指标个数 n:');
for i=1:n
    sw(i)=sum((y0(:,i)-yy0(i)).^2); % 试验误差的计算数值
end;
fw=m0-1;
b=huigui(x,y);
B=x'*y;
for i=1:n
  syu(i)=sum(y(:,i).^2)-sum(b(:,i).*B(:,i)); % 剩余误差的计算数值
end
slf=syu-sw; % SLF 误差的计算数值
flf=N-cp-m0+1;
for i=1:n
    fl(i)=(slf(i)/flf)/(sw(i)/fw); % 中心试验点检验的统计量
end
disp('进行中心试验点检验');
a=input('输入 0.1 0.05 0.025 0.01 0.005 检验水平中的任一个:');
fa=finv(1-a,flf,fw);
disp('a 水平下中心试验点的检验标准 f(flf,fw)=f(5,5):');
disp(fa);
for i=1:n
   sprintf('对第%d 个指标进行检验：',i)
   if fl(i)<fa
      disp('a 水平下,失拟平方和是由试验误差等偶然因素引起的!')
      r(i)=1;
   else
      r(i)=0;
```

```
        disp('a 水平下,失拟平方和不是由试验误差等偶然因素引起的!')
    end
end

function h=xtest(r,x,y)
% 本函数用于对回归系数显著性的检验
n=input('输入指标个数:');
N=20; % 试验次数
cp=10; % C(P+2,2)的计算结果
m0=6; % 进行中心试验的次数
y0=y(15:20,:);
yy00=mean(y0);
yy0=[yy00;yy00;yy00;yy00;yy00;yy00];
sw=sum((y0-yy0).^2); % 试验误差
fw=m0-1;
B=x'*y;
b=huigui(x,y);
for i=1:n
    sy(i)=sum(y(:,i).^2)-sum(b(:,i).*B(:,i));% 剩余误差
end
fy=N-cp;
A=x'*x;
c=inv(A);
disp('回归系数显著性的检验');
a=input('输入 0.2,0.1,0.3,0.4,0.5,0.6 显著水平中的任一个:');
for k=1:n
    if r(k)==0
        disp('中心试验点检验不显著时,回归系数显著性的检验标准 t(fw)=t(5):');
        ta=tinv(1-a/2,fw);
        disp(ta);
        for i=1:10
            t(i,k)=abs(b(i,k))/sqrt(c(i,i)*sw(k)/fw);
            if t(i,k)>ta
                %sprintf('在 a 显著水平下回归系数 b(%d)是显著的!',i)
                h(i,k)=1;
            else
                %sprintf('在 a 显著水平下回归系数 b(%d)是不显著的!',i)
                h(i,k)=0;
            end
        end
    else
```

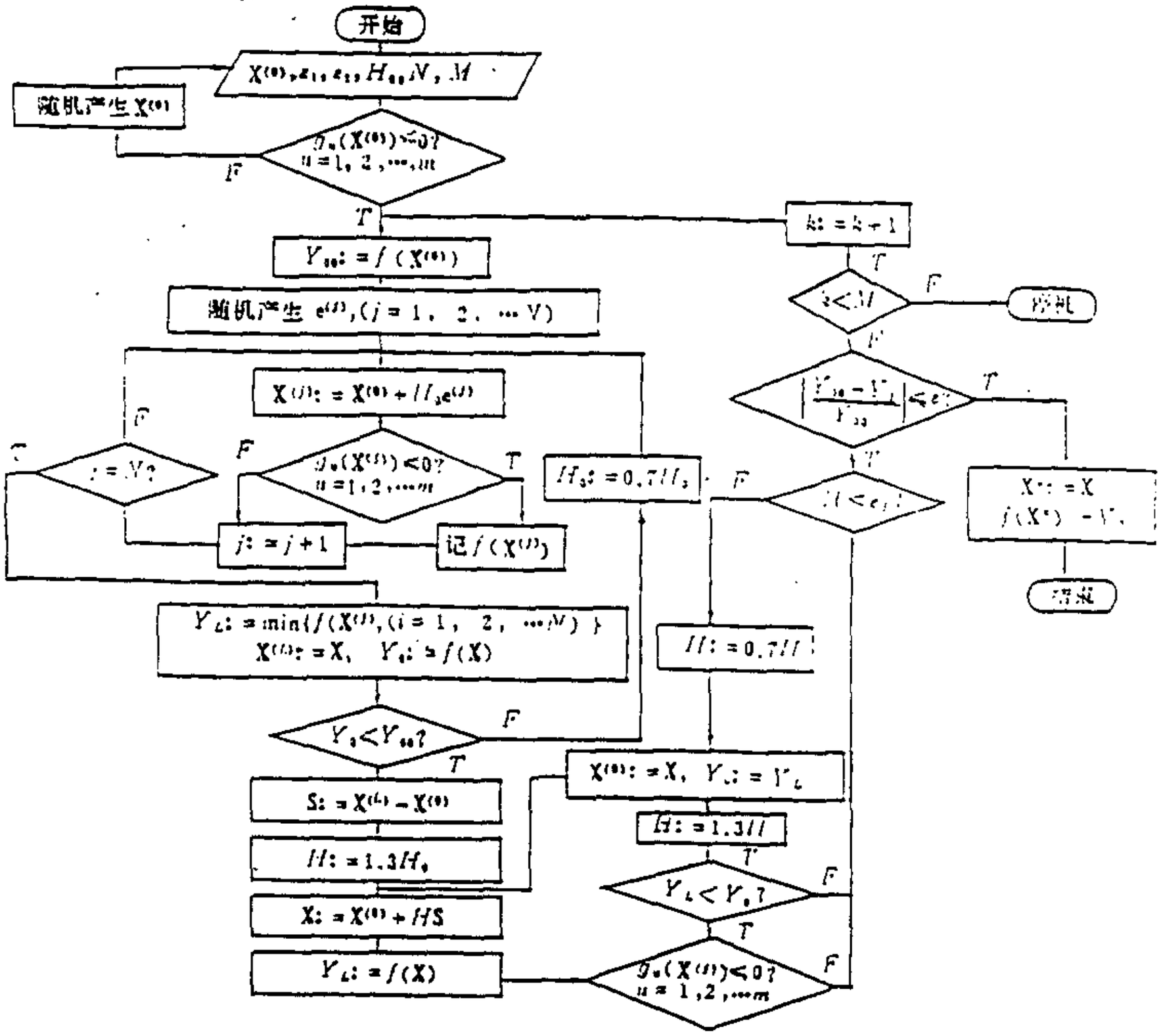
```
disp('中心试验点检验显著时回归系数显著性的检验标准 t(fy)=t(5):');
ta=tinv(1-a/2,fy);
disp(ta);
for i=1:10
   t(i,k)=abs(b(i,k))/sqrt(c(i,i)*sy(k)/fy);
   if t(i,k)>ta
      %sprintf('在 a 显著水平下回归系数 b(%d)是显著的!',i)
      h(i,k)=1;
   else
      %sprintf('在 a 显著水平下回归系数 b(%d)是不显著的!',i)
      h(i,k)=0;
   end
  end
 end
end
disp(t);
for i=1:n
  for j=1:10
    if h(j,i)==0
      b(j,i)=0;
    end
  end
  sprintf('Output the %d equatation',i)

sprintf('y=%f+%f*x1+%f*x2+%f*x3+%f*x12+%f*x13+%f*x23+%f*x11+%f*x22+%f*x33',b(1,i),b(2,i),b(3,i),
b(4,i),b(5,i),b(6,i),b(7,i),b(8,i),b(9,i),b(10,i))
end

function [r2,f2]=ftest(x,y)
% 本函数用于进行回归方程显著性的检验
N=20; % 试验次数
cp=10; % C(p+2,2)的计算结果
n=input('输入指标个数 n:');
b=huigui(x,y);
B=x'*y;
fy=N-cp;
fh=cp-1;
disp('进行回归方程显著性的检验');
a=input('输入 0.1,0.05,0.025,0.25 检验水平中的任一个:');
fa=finv(1-a,fh,fy);
disp('a 水平下的回归方程显著性的检验标准 f(fh,fy)=f(9,10):');
```

```
disp(fa);
for i=1:n
    sz(i)=sum(y(:,i).^2)-sum(y(:,i)).^2/N; % 试验的总误差
    sy(i)=sum(y(:,i).^2)-sum(b(:,i).*B(:,i)); % 试验的剩余误差
    sh(i)=sz(i)-sy(i); % 试验的回归误差
    f2(i)=(sh(i)/fh)/(sy(i)/fy); % 回归方程显著性检验的统计量
    sprintf('对第%d 个方程进行显著性检验：',i)
    if f2(i)>fa
       r2(i)=1;
      disp('在 a 显著水平下回归方程是显著的!');
    else
      disp('在 a 显著水平下回归方程是不显著的!');
      r2(i)=0;
   end
end
```

附录二　随机方向搜索法的程序流程图



附录三　　随机方向搜索法程序

```
ls2
% 本程序为随机方向搜索法的主程序，是用 MATLAB 语言编写的!
N=input('产生的随机方向的个数 N:');
a0=input('搜索的步长 a0:');
r0=input('步长缩短的最小界限 r0:');
r1=input('一次迭代中初始点与末点间目标函数值的收敛精度 r1:');
n=input('要进行随机方向搜索的次数 n:');
m=input('N 个随机方向中搜索失败的最高次数 m:');
for i=1:n
  x0=1chushi;
  q=1;
  while q>r1
      u=0;
      while u==0
          [e1,e2,e3]=1path(N); % 产生 N 个随机方向
          for j=1:N % 产生沿 N 个方向的随机点
              x(j,1)=x0(1)+a0*e1(j);
              x(j,2)=x0(2)+a0*e2(j);
              x(j,3)=x0(3)+a0*e3(j);
       end
       [s,x1,1]=1kexing2(x0,x,N,m); % 在 N 个方向内搜索可行点 x1
       if 1==0 % 若在 N 个方向内搜索不到可行点则缩短步长搜索
          [s,x1,u]=1suodun2(x0,a0,r0,e1,e2,e3,N);
       else
          u=1;
       end
end
if u==1
   x1=1next2(x0,a0,s,r0); % 若找到可行方向则加大步长搜索可行点 x1
   f0=1mubiao2(x0);
   f1=1mubiao2(x1);
   q=abs((f1-f0)/f0);
      x0=x1;
   end
end
f(i)=1mubiao2(x0);
for k=1:3
    b(i,k)=x0(k);
end
```

```
end
[bestf,best]=min(f);
for i=1:3
    bestx(i)=b(best,i);
 end
x=bestx;
 t(1)=40.7720+4.8188*x(2)*x(3)-4.4168*x(1).^2-2.1983*x(2).^2;
 t(2)=87.8784+0.7695*x(1)+1.0003*x(2)+3.6512*x(1)*x(2)-1.1459*x(1).^2;
sprintf('                    第%d 次随机方向搜索的结果是最优的！',best)
sprintf('                              给定的优化数学模型的全域最优点是:\n
双氧水浓度 x1=%f,预处理时间 x2=%f,pH 值 x3=%f\n                                    对应的最优解
是:%f',bestx(1),bestx(2),bestx(3),bestf)
xx1=(bestx(1)-(1.682))/(2*1.682)*(8－4)+4;
xx2=(bestx(2)-(-1.682))/(2*1.682)*(14－10)+10;
xx3=(bestx(3)-(-1.682))/(2*1.682)*(7-5)+5;
disp('                    对解得的全域最优点解码后')
%sprintf('                          双氧水浓度，预处理时间与 pH 值的最优组合是:\n
双氧水浓度 x1=%f,预处理时间 x2=%f,pH 值 x3=%f',xx1,xx2,xx3)
 disp(t);
function x0=lchushi
% 该函数用于确定搜索初始点
g=-1;
while g<0
       a=[-1.682 -1.682 -1.682];
       b=[1.682 1.682 1.682];
       c=b-a;
       r=rand(1,3);
       x0=a+r.*c;
       h=lyueshu1(x0);
       g=max(h);
end
function [e1,e2,e3]=lpath(N)
% 确定搜索的方向
r=rand(N,3);
s=sqrt(sum(sum(r.^2)));
for i=1:N
    e1(i)=r(i,1)/s;
    e2(i)=r(i,2)/s;
    e3(i)=r(i,3)/s;
end
```

```
function h=lyueshu1(x)
% 输出搜索的约束条件
g(1)=x(1)+1.682;
g(2)=-x(1)+1.682;
g(3)=x(2)+1.682;
g(4)=-x(2)+1.682;
g(5)=x(3)-1.682;
g(6)=-x(3)+1.682;
y(1)=40.7720+4.8188*x(2)*x(3)-4.4168*x(1).^2-2.1983*x(2).^2;
y(2)=87.8784+0.7695*x(1)+1.0003*x(2)+3.6512*x(1)*x(2)-1.1459*x(1).^2;
g(7)=y(2)-85;
%g(8)=y(1)-95;
g(8)=90-y(2);
g(9)=100-y(1);
h=g;

function F=lmubiao2(x)
% 搜索的目标函数
f(1)=40.7720+4.8188*x(2)*x(3)-4.4168*x(1).^2-2.1983*x(2).^2;
%f(2)=87.7326+0.3840*x(1)+0.4891*x(3)-0.4833*x(1)*x(3)-0.3831*x(1).^2-0.6978*x(2).
^2;
%f20=92.5;
%f10=99;
%F=sqrt(((f(1)-f10)/f10).^2+((f(2)-f20)/f20).^2);
F=abs(100-f(1));

function [s,x1,l]=lkexing2(x0,x,N,m)
% 本函数是在N个随机方向内搜索可行的搜索方向S
f0=lmubiao2(x0); % 初始点x0的目标函数值
t=N;
g=-1;
v=N+1;
f1=10.^4;
k=0;
v=t+1;
while f1>=f0 | g<0 & k<=m
      for i=1:t % 计算N个随机点的目标函数值
          if i>=v
             x(i,1)=x(i+1,1);
             x(i,2)=x(i+1,2);
             x(i,3)=x(i+1,3);
```

```
    end
    a=[x(i,1) x(i,2) x(i,3)];
    f(i)=lmubiao2(a);
end
[f1,v]=min(f); % 找出目标函数值中的最小值点 x1 及其位置
x1=[x(v,1) x(v,2) x(v,3)]; % 计算 x1 的约束条件值
h=lyueshu1(x1);
      g=max(h);
      t=t-1;
      k=k+1;
end
s=x1-x0;
if t==0 | k==m  % 如果在 N 个方向内找不到可行点 x1 将 l 赋值为 0 否则 l 赋值为 1
   l=0;
   disp('stop!!');
else
   l=1;
end

function [s,x1,u]=lsuodun2(x0,a0,r0,e1,e2,e3,N)
% 本函数用于在缩短步长情况下搜索可行点 x1 及可行方向 S
u=0;
while u==0 & a0>=r0
    for j=1:N % 产生沿 N 个方向的随机点
        x(j,1)=x0(1)+a0*e1(j);
        x(j,2)=x0(2)+a0*e2(j);
        x(j,3)=x0(3)+a0*e3(j);
    end
    [s,x1,l]=lkexing2(x0,x,N,m); % 在 N 个方向内搜索可行点 x1
    if l==1
       u=1;
    end
    a0=a0*0.7;
end

function x=lnext2(x0,a0,s,r0)
% 本函数是用于确定下次搜索的初始可行点 x0
while a0>=r0
    f0=lmubiao2(x0);
    a0=a0*1.3;
    x1=x0+a0*s;
```

```
h=lyueshu1(x1);
g=min(h);
f1=lmubiao2(x1);
if g>=0 & f1<=f0 % 若满足可行性及目标函数值下降条件则继续加大步长搜索
    x0=x1;
else
   if f1>f0 & g>=0 % 若满足可行性及目标函数值不再下降条件则退出循环
       a0=-1;
       else
       a0=a0/1.3*0.7; % 其他情况则缩短步长搜索
       end
    end
end
if a0==-1
   x=x1;
else
   x=x0;
end

huitu00
% 用于绘制各指标的三维立体图
yy=-1.682:0.1:1.682;
zz=-1.682:0.1:1.682;
%zz=-1.682:0.1:1.682;
%[x1,y1]=ldata1;
[x2,y2]=ldata2;
%b1=huigui(x1,y1);
b=huigui(x2,y2);
[yy1,zz1]=meshgrid(yy,zz);
[r1,f1]=ctest(x2,y2);
h=xtest(r1,x2,y2);
xx1=1.0;
for j=1:4
   for i=1:10
    if h(i,j)==0
       b(i,j)=0;
    end
end
if j==1
  z1=b(1,j)+b(2,j)*xx1+b(3,j)*yy1+b(4,j)*zz1+...
      b(5,j)*xx1.*yy1+b(6,j)*xx1.*zz1+b(7,j)*yy1.*zz1+...
```

```
        b(8, j)*xx1.^2+b(9, j)*yy1.^2+b(10, j)*zz1.^2;
elseif j==2
    z2=b(1, j)+b(2, j)*xx1+b(3, j)*yy1+b(4, j)*zz1+...
       b(5, j)*xx1.*yy1+b(6, j)*xx1.*zz1+b(7, j)*yy1.*zz1+...
       b(8, j)*xx1.^2+b(9, j)*yy1.^2+b(10, j)*zz1.^2;
    elseif j==3
        z3=b(1, j)+b(2, j)*xx1+b(3, j)*yy1+b(4, j)*zz1+...
           b(5, j)*xx1.*yy1+b(6, j)*xx1.*zz1+b(7, j)*yy1.*zz1+...
           b(8, j)*xx1.^2+b(9, j)*yy1.^2+b(10, j)*zz1.^2;
        else
        z4=b(1, j)+b(2, j)*xx1+b(3, j)*yy1+b(4, j)*zz1+...
           b(5, j)*xx1.*yy1+b(6, j)*xx1.*zz1+b(7, j)*yy1.*zz1+...
           b(8, j)*xx1.^2+b(9, j)*yy1.^2+b(10, j)*zz1.^2;
        end
    end
  end
end
figure;
mesh(yy1, zz1, z1);
xlabel('x2(min)');
ylabel('x3(pH)');
zlabel('EL(%)');
rotate3d on
figure;
mesh(yy1, zz1, z2);
xlabel('x2(min)');
ylabel('x3(pH)');
zlabel('EG(%)');
rotate3d on
figure;
mesh(yy1, zz1, z3);
xlabel('x2(min)');
ylabel('x3(pH)');
zlabel('TL(%)');
rotate3d on
figure;
mesh(yy1, zz1, z4);
xlabel('x2(min)');
ylabel('x3(pH)');
zlabel('TN(%)');
rotate3d on
```

致　　谢

衷心感谢导师张元明副教授两年多来对我学习和生活上的悉心关怀和精心指导，他那严谨治学的态度和平易近人的作风将永远成为我今后学习的楷模！

感谢陈秋水教授多年来对我无微不至的关怀和教导！

感谢郁崇文教授、梁金茹副教授、崔云花老师、俞雯老师、郭腊梅老师等多位老师的指导和帮助。

感谢加工化学实验室陈勉老师、纺纱工厂彭师傅、陈师傅以及一年多来所有关心和帮助过我的老师和同学。

最后感谢父母及家人对我的无私奉献和关爱！