

天麻产业开发关键技术

方 伟 邹 娟 邱小燕

刘胜贵 伍贤进 田玉桥

蒋忠权 陈三春

著

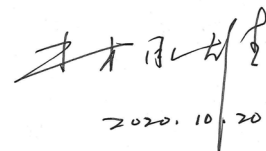
西南交通大学出版社
· 成 都 ·

随着经济的发展、生活水平的提高，人们对健康的关注与投入日益增长，保健品的需求量越来越大。天麻被广泛应用于保健品、药品、化妆品等诸多领域，可谓市场容量巨大、应用前景广阔。天麻作为一种中药材，具有镇痛、镇静、抗惊厥、降低血压、明目、增智等作用，并常作为食补材料，食用方法有很多种。我国天麻主要产区在湖南雪峰山地区，此地区包括怀化、邵阳部分区域，此区域内所种植的天麻俗称“雪峰天麻”。雪峰山位于湖南中部和西部，南起湖南与广西交界处，与八十里大南山相接；北至洞庭湖滨；西侧是湘西丘陵；东侧为湘中丘陵。主峰苏宝顶，海拔 1934 米，植被为亚热带常绿阔叶林，自然条件非常适合天麻的生长。独特的自然环境使雪峰山天麻具有个大、肥厚、质坚实、天麻素含量高、重金属含量极微、无农药残留、无污染、食用安全等独特的品质。

但由于产地环境原因，近年来野生天麻变种严重，质量下降并且产量也不高，产品供不应求。长期以来，天麻人工栽培大都采用无性繁殖，多代的无性繁殖会使麻种退化，产量和质量均有所下降。通过有性繁殖培育天麻杂交种，利用有性杂交种优势可以从根本上解决麻种缺乏、种性退化、产量和品质下降等问题。而在天麻生长过程中，蜜环菌为天麻提供营养，博世康公司在蜜环菌的研究上拥有巨大的优

势，因此，“优质湖南雪峰天麻生产加工及其产业化关键技术研究”项目的实施，能将雪峰天麻的产量、质量恢复到原有的高度，并将这一品种打造成知名品牌，形成湖南雪峰天麻全产业链。

本项目以怀化学院伍贤进教授为技术总负责人，在方伟、邹娟、刘胜贵、邱小燕、蒋忠权、陈三春、田玉桥、魏麟等各位科研人员的共同努力下，对全国天麻种质资源分布、雪峰山区域天麻品种选育、天麻“烂窖”问题解决关键措施、天麻无硫加工及产品开发等方面进行了深入的研究。经过3年多的研究，取得了实质性成果：申请专利6项，授权专利5项，发表科研论文7篇，建立技术标准规范10项，获得科技进步奖2项。本书是该研究项目的研究过程、方法、成果等的总结，相信本书的出版能对雪峰山区域乃至全国天麻产业的持续、健康发展做出应有的贡献。



2020.10.20

PREFACE

前言

天麻 (*Gastrodia elata* Blume) 为兰科天麻属多年生草本植物, 在形态与功能上高度特化, 无叶无根, 是兰科植物中较为独特的种类。天麻主产于湖南、湖北、陕西、云南、四川、贵州等地, 生于海拔 400 ~ 3200 m 的疏林下、林中空地、林缘、灌丛边缘等。天麻在我国有悠久的药用和食用历史, 最早记载于秦汉时期的《神农本草经》并被列为上品, 是著名的道地药材, 有平肝熄风的功能, 用于治疗头晕目眩、肢体麻木、小儿惊风等症。湖南雪峰山一带是天麻野生分布区和传统栽培区。宋代苏颂所著《本草图经》中就有“今京东、京西、湖南、淮南州郡亦有之”的记载, 这里所说的湖南主要是雪峰山区域。明代《本草品汇精要》中关于天麻的记载也有“天麻, 邵州、郢州着佳”。此处所说邵州即为雪峰山区域。产于雪峰山区域的天麻以其质优量大而闻名。

本书在湖南省战略性新兴产业科技攻关类项目“优质湖南雪峰天麻生产加工及其产业化关键技术研究(项目编号: 2016GK4052)”和生物工程湖南省“双一流”应用特色学科、“药用植物活性成分高效利用”怀化市科技创新人才团队等项目的资助下, 以雪峰山主产的天麻为重点研究对象, 对天麻生态种植、成分检测、加工过

程、深度加工等进行了较为深入的研究，制订了有关操作规范或规程，以期为天麻生产和开发利用添砖加瓦。

本书由伍贤进教授负责整体构思，有关作者按照分工开展研究和进行写作，最后由方伟和伍贤进负责统稿，怀化学院化学与材料工程学院曾瞬钦讲师，怀化学院生物与食品工程学院本科生符清莉、廖芳帆、何洁、廖轶群、李玲、郑鑫鑫、陈州莉，易宇航、付敏、周杰、董欣瑞、张雪莎等为本书的完成参与了许多具体研究工作，在此对他们表示感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在错漏之处，敬请读者批评指正。

作者

2020年4月

CONTENTS

目录

1 天麻概述

1.1	天麻简介	001
1.1.1	天麻的形态	001
1.1.2	天麻的名称与栽培利用概况	001
1.2	天麻历代本草记载	002
1.2.1	历代本草对天麻功效的记述	002
1.2.2	天麻产品开发概况	005
1.3	天麻地理分布与种类	005
1.3.1	天麻属植物的地理分布	005
1.3.2	药用天麻种类	006
1.3.3	商品天麻的分级	007
	参考文献	007

2 天麻有效成分分析

2.1	天麻化学成分	009
2.1.1	酚类化合物及苷类	009
2.1.2	有机酸及酯类	010
2.1.3	天麻素	011

2.1.4	天麻的挥发性成分	011
2.1.5	无机元素	013
2.1.6	其他成分	013
2.2	天麻化学成分含量测定	015
2.2.1	样品处理	015
2.2.2	化学成分含量测定	015
2.3	天麻素提取	019
2.3.1	天麻素主要提取方法	019
2.3.2	微波提取天麻素工艺优化	021
2.4	天麻中多糖提取	024
2.4.1	多糖提取及含量测定方法	025
2.4.2	响应面设计与结果分析	026
2.5	天麻素合成	0 错误!未定义书签。
2.5.1	化学合成	0 错误!未定义书签。
2.5.2	细胞合成	0 错误!未定义书签。
2.5.3	天麻糖基转移酶基因克隆及生物信息学分析	0 错误!未定义书签。
	参考文献	0 错误!未定义书签。

3 天麻的低碳种植

3.1	天麻种植的萌发菌和蜜环菌	0 错误!未定义书签。
3.1.1	萌发菌与天麻种植	0 错误!未定义书签。
3.1.2	蜜环菌与天麻种植	0 错误!未定义书签。
3.2	天麻繁殖	0 错误!未定义书签。
3.2.1	天麻种子生产	0 错误!未定义书签。
3.2.2	天麻的有性繁殖	0 错误!未定义书签。
3.2.3	天麻的无性繁殖	0 错误!未定义书签。
3.3	天麻生态种植和仿野生种植	0 错误!未定义书签。
3.3.1	生长环境	0 错误!未定义书签。
3.3.2	种植环境选择	0 错误!未定义书签。
3.3.3	天麻种植与管理	0 错误!未定义书签。

3.4 天麻种植中“烂窖”微生物研究	0	错误!未定义书签。
3.4.1 材料与方法	0	错误!未定义书签。
3.4.2 结果与分析	0	错误!未定义书签。
3.4.3 结论与讨论	0	错误!未定义书签。
参考文献	0	错误!未定义书签。

4 天麻的采收与加工方法

4.1 天麻采收和加工	0	错误!未定义书签。
4.1.1 采收时间	0	错误!未定义书签。
4.1.2 采收方法	0	错误!未定义书签。
4.1.3 天麻加工	0	错误!未定义书签。
4.1.4 古法炮制	0	错误!未定义书签。
4.2 天麻干燥温度与加工方式对成分的影响	0	错误!未定义书签。
4.2.1 干燥温度对天麻成分的影响	0	错误!未定义书签。
4.2.2 加工方式对天麻成分影响	0	错误!未定义书签。
4.3 天麻贮藏	0	错误!未定义书签。
4.3.1 新鲜天麻的贮藏	0	错误!未定义书签。
4.3.2 干制天麻的贮藏	0	错误!未定义书签。
参考文献	0	错误!未定义书签。

5 天麻系列食品加工

5.1 天麻脱苦脱涩研究	0	错误!未定义书签。
5.1.1 材料与方法	0	错误!未定义书签。
5.1.2 效果评价	0	错误!未定义书签。
5.1.3 实验结果	0	错误!未定义书签。
5.2 天麻红枣饮料研制	0	错误!未定义书签。
5.2.1 材料与方法	0	错误!未定义书签。
5.2.2 结果与分析	0	错误!未定义书签。
5.3 天麻保健酸奶研制	0	错误!未定义书签。

5.3.1	材料与amp;方法	0	错误!未定义书签。
5.3.2	天麻匀浆酶解工艺	0	错误!未定义书签。
5.3.3	天麻酸奶发酵工艺	0	错误!未定义书签。
5.4	天麻果酱研制	0	错误!未定义书签。
5.4.1	酶解条件分析	0	错误!未定义书签。
5.4.2	材料与amp;方法	0	错误!未定义书签。
5.4.3	天麻果酱工艺条件研究	0	错误!未定义书签。
	参考文献		错误!未定义书签。

附录

附录 A	天麻种植环境选择标准操作规范		错误!未定义书签。
附录 B	天麻种麻培育规范		错误!未定义书签。
附录 C	天麻种植段木制备规范		错误!未定义书签。
附录 D	天麻栽培用蜜环菌培养规范		错误!未定义书签。
附录 E	天麻栽培用萌发菌培养规范		错误!未定义书签。
附录 F	天麻种植标准操作规程		错误!未定义书签。
附录 G	天麻栽培种麻标准		错误!未定义书签。
附录 H	天麻采收标准操作规程		错误!未定义书签。
附录 I	天麻无硫加工技术规范		错误!未定义书签。
附录 J	天麻饮片质量标准		错误!未定义书签。
附录 K	天麻种植部分彩图		135

1

天麻概述

天麻为我国传统医学中的名贵药材，始载于秦汉时期的《神农本草经》，被列为上品。天麻在我国历代本草医书和《中华人民共和国药典》（简称《中国药典》，下同）中均有记载，有 2000 多年食用和药用历史（尚志钧，2008）。本章对天麻的基本情况、历代本草记载、分布和商品分级等进行介绍，为读者对天麻形成基本认知提供综合资料。

1.1 天麻简介

1.1.1 天麻的形态

天麻（*Gastrodia elata* Blume）为兰科天麻属多年生草本植物，在形态与功能上高度特化，无叶无根，是兰科植物中较为独特的种类，整个生命周期中不出现自养器官，完全依赖同化已侵染其本身的蜜环菌菌丝体作为营养来源（张维经，1997）（附录 K 图 K1）。

天麻全株无绿叶，高 30~100 cm，有时可达 2 m；地下块茎肥厚，呈长椭圆形或哑铃形，长 10~20 cm，粗 3~7 cm，肉质，常平卧；节较密，节上轮生多数三角状广卵形的膜质鳞片。总状花序顶生，花期显著伸长，长 30~50 cm，具花 30~80 朵；苞片长圆状披针形，长 1~1.5 cm；花橙红、淡黄、蓝绿或黄白色，近直立；花梗长 3~5 cm；萼片与花瓣合生成花被筒，顶端 5 裂；内轮裂片（花瓣离生部分）近长圆形，较小；唇瓣长圆状卵圆形，长 6~7 mm，宽 3~4 mm，3 裂，基部贴生于蕊柱足末端，与花被筒内壁上并有一对肉质胼胝体，上部离生，上具乳突，边缘有不规则短流苏；蕊柱长 5~7 mm，有短的蕊柱足。蒴果直立，倒卵状椭圆形，长 1.5~2 cm，直径 8~9 mm；花果期 5—7 月，种子细小，多数。

1.1.2 天麻的名称与栽培利用概况

在我国古代和近代，由于人们对天麻的植物学特征和生长发育习性一直不清楚，天麻的

形态及其应用一直神秘莫测，且历代本草典籍对天麻的描述因角度不同而形成了许多异名，如赤箭、离母、鬼督邮、神草、独摇芝、赤箭脂、定风草、合离草、独摇、自动草、水洋芋和明天麻等。其干燥块茎即为著名中药材天麻（附录 K 图 K2）。

因天麻独特的生物学特性，野生数量十分有限，加之其良好的药用价值，野生天麻资源在 20 世纪 50 年代就逐渐枯竭。为了保证天麻的市场供应，20 世纪 70 年代开始，我国相继开展了天麻人工栽培技术的研究并取得了成功，从而结束了天麻不能人工栽培的历史（徐锦堂，2001）。目前人工栽培天麻的技术日趋成熟和规范，种植天麻已经成为偏远山区发展经济、帮助农民脱贫致富的重要手段。2002 年，我国卫生部将天麻列入可用于保健食品的物品名单，显著拓宽了天麻产业范围。近年来，天麻的应用研究逐渐增多。随着社会经济发展和人民生活水平不断提高，对于各类新型保健食品和健康食品的需求日益增多，批准天麻作为新资源食品用于食品加工具有非常重要的社会意义。综合考虑各地需求，为了顺应趋势推进按照传统既是食品又是中药材物质目录的修订工作，结合我国传统饮食习惯和国外管理经验，2018 年 4 月，国家卫计委公布《关于就党参等 9 种物质作为按照传统既是食品又是中药材物质开展试生产征求意见的函》，计划将天麻按照食药资源管理并进行为期两年的试生产。这无疑为天麻产业发展带来了新的契机，为进一步研究开发利用天麻提供了政策支持。开发天麻健康食品、提升产品附加值成为天麻产业发展的新亮点。

1.2 天麻历代本草记载

1.2.1 历代本草对天麻功效的记述

天麻在我国有悠久的药用和食用历史，最早记载于秦汉时期的《神农本草经》并被列为上品，是著名的道地药材。历代本草医书也有很多关于天麻产地、药名、药用部位与功效的记载（附录 K 图 K3）。

1.2.1.1 天麻药名的本草考证

秦汉时期，天麻以“赤箭”为正名，而以“离母”和“鬼督邮”为其别名，如《神农本草经》记载：“赤箭……一名离母，一名鬼督邮”（陈安华，1989）。魏晋南北朝时期，天麻的名称比较多，其中《吴普本草》以“鬼督邮”作为天麻正名，用“神草”和“阎狗”为其别名（张彩玲，1981）；《名医别录》和《本草经集注》则沿用“赤箭”作为正名，而以“离母”和“鬼督邮”作为别名（卢进，1994）；《抱朴子》以“独摇芝”为正名；在《雷公炮炙论》中首载“天麻”之名。隋唐时期，在《新修本草》中沿用了“赤箭”正名，在《药性论》中则用“赤箭脂”为正名，用“天麻”和“定风草”为别名。宋朝时期，天麻名称出现了一些混乱：《嘉祐本草》将天麻茎秆称为“赤箭”，《开宝本草》用“天麻”为正名；《本草图经》

和《本草衍义》则是将赤箭和天麻分列为两味药；《本草图经》还根据天麻皮的颜色，将其别称为“白龙皮”；《梦溪笔谈》和《证类本草》等不同同意上述本草观点，明确将赤箭和天麻列为一物。元、明、清时期，多以“天麻”为正名并将天麻花苔称为“定风草”，如《本草衍义补遗》将赤箭根称为天麻；《本草纲目》则将“赤箭”和“天麻”合并为一，并记载“赤箭，以状而名；独摇、定风，以性异而名；离母、合离，以根异而名；神草、鬼督邮，以功而名”和“其皮黄白色，名曰龙皮”（龚文玲等，2018）；还有的医书将天麻直接曝干，称为羊角天（《中药大辞典》，1977）、山土豆（《中国药材学》）和自动草（《湖南药物志》）。根据天麻产地不同，又有川天麻、贵天麻和西天麻（陕西天麻）之称。在宋代以前，天麻多用“赤箭”为正名；宋代将天麻分为赤箭和天麻两味药；宋代以后逐步以地下块茎形态描述的“天麻”为正名。同时，根据天麻的性状，功效，地下块茎形态、颜色、采收时间，加工后药材形态，产地和地方俗称，有不同别名或商品名。天麻历史上还存在同名异物现象，如《本草拾遗》中记载的天麻实为益母草；《名医别录》中称为“五母麻”的，李时珍质疑也是益母草的一种（黄斌，1989）。

1.2.1.2 天麻的功效

秦汉时期对天麻的功效主治和生境（即山谷）就有了描述但未提及其药用部位。《神农本草经》载：“赤箭味辛，温。主杀鬼精物、蛊毒恶气，久服益气力、长阴肥健、轻身增年。”魏晋时期的《吴普本草》载：“治痲肿（御览）”。汉末的《名医别录》载：“主消痲肿，下肢满，寒疝下血。”南北朝时期的《本草经集注》载“味辛，温。主杀鬼精物，蛊毒恶气，治痲肿，下肢满疝，下血。久服益气力，长肥健，轻身增年。”北宋时期《嘉祐本草》载：“味辛，平，无毒。主诸风湿痹，四肢拘挛、小儿风痲惊气，利腰膝，强精力，眩晕头痛等症。久服益气，轻身长年”（朱艳玲，2011）。明代《本草纲目》载：“天麻乃肝经气分之药。眼黑头眩，风虚内作，非天麻不能治。天订乃定风草，故为治风之神药。今有久服天麻药，遍身发出红丹者，是其祛风之验也。”清代《本草新编》载：“味辛、苦，气平，无毒。入肺、脾肝、胆、心经。能止昏眩，疗风去湿，治筋骨拘挛瘫痪，通血脉，开窍，服食无忌。总之，天麻能祛外来之邪，逐内闭之痰，而气两虚之人，断不可轻用耳。”据《全国中草药汇编》（人民卫生出版社，1996）记载，天麻“主治高血压、眩晕、头痛、口眼歪斜、肢体麻木、小儿惊厥等症”。《中国药典》（2015版）载：“息风止痉，平抑肝阳，祛风通络。用于小儿惊风，癫痫抽搐，破伤风，头痛眩晕，手中不遂，肢体麻木，风湿痹痛。”现代药理研究表明，天麻主要有四大治疗作用：对神经中枢系统的镇静、抗惊厥和镇痛作用；对心血管系统的强心作用；耐缺氧作用；增强免疫功能的作用（L. Chen，2017）。故天麻有“三镇”“三抗”“一补”之说，即抗癫痫、抗惊厥、抗风湿，镇静、镇痉、镇痛和补虚。

1.2.1.3 天麻药膳

民间对天麻俗称“定风草”，其最广为流传的效用就是“补脑”，既可入药，也可入膳。天麻入食最早见于典籍《本经》，云：“天麻久服益气，长阴肥健，嵩山、衡山人取生者蜜煎

作果食之，甚珍。”

天麻在民间被广泛食用，与不同材料进行配伍所起作用亦各有不同，如天麻蒸煮鸡蛋，可有助于治疗子宫脱垂、头痛、目眩等症；天麻枸杞煮猪脑，可辅助治疗脑震荡后遗症等；天麻蒸羊脑和鲜天麻蒸猪肉，可治疗肝虚型高血压、动脉硬化、美尼尔综合征和神经衰弱等症；天麻与鸭肉、猪肉和鱼类等共炖，可滋阴潜阳，平肝息风，治疗眩晕、头痛、高血压和中风等症（孙明祎，2019；金·李东垣，2005；孙文奇，1985；梁嘉莹，2017）。流传比较广泛的典型民间天麻药膳食谱有：

1. 天麻煮鸡蛋

原料：天麻片 30 g、鸡蛋 3 个、水 1000 g。

加工方法：先将天麻片放锅内加水煮 30 min 后，打入鸡蛋煮熟后即可食用。

功效：改善头痛目眩。

2. 天麻益智仁煮猪脑

原料：天麻片 30 g、益智仁 10 g、猪脑 2 副。

加工方法：天麻片、益智仁加水文火煎 1 h，放入洗净的猪脑煮熟后食用。

功效：健脑益智，也可用于脑病后调养。

3. 天麻钩藤莲藕羹

原料：天麻 15 g、钩藤 10 g、藕粉 20 g、白糖适量。

加工方法：将天麻、钩藤用干净纱布包好，放入适量清水煎煮后去渣，然后用热汤冲熟藕粉，在冲熟的藕粉中调入适量白糖即可食用。

功效：可用于治疗眩晕病。

4. 天麻肉片汤

原料：天麻 15 g、猪肉适量。

加工方法：天麻浸软切片待用。肉片做汤，加入天麻片共煮。药、肉、汤俱食，可常服。

功效：用于治疗高血压、眩晕、头痛。

5. 天麻薏米粥

原料：天麻 10 g、薏米 30 g、粳米 100 g、白糖适量。

加工方法：将天麻浸软，切成薄片，与薏米、粳米加水煮粥，调入适量白糖即成。

功效：可用于治疗头痛、眩晕。

6. 天麻竹沥粥

原料：天麻 10 g、粳米 100 g、竹沥 30 g、白糖适量。

加工方法：将天麻浸软，切成薄片，与粳米加水煮粥，调入竹沥、白糖即成。粥及天麻片在 1 d 内分 2 次服用。

功效：平肝熄风，清热化痰。适用于肝风痰热癫痫症。

7. 天麻参芪羊肉火锅

原料：天麻片、党参（纱布包）、黄芪片（纱布包）各 50 g，胡萝卜、黄瓜、鸡腿菇、白萝卜、鸡血各 200 g，肉食鸡脯肉、鲜竹笋各 300 g，葱白段、料酒各 100 g，羊肉 750 g，生姜片 15 g，胡椒粉 3 g，大茴香 2 粒，丁香 5 粒，砂仁 2 粒，高汤、鸡精、精盐、香辣酱、花生油、鸡油各适量。

天麻用于药膳具有悠久的历史 and 民间传统，在一定程度上可以说明其作为新资源食品的安全性。但是天麻的主要成分如天麻素等在高温炖煮的过程中可能挥发流失。天麻作为药膳烹制食用，是否能同样发挥和中医药炮制后一样的作用还需要进一步的科学研究来证实。

1.2.2 天麻产品开发概况

随着天麻栽培研究迅速开展，天麻无性繁殖技术、有性繁殖技术和杂交育种技术得到了迅速推广普及，使天麻生产有了新的突破，缩短了生长周期，增加了产量（周铨，1981）。为天麻产品的产业化开发提供了原料基础。由于产量大大提高，天麻除用作中药配方和药膳外，也被用于生产多种含天麻或以天麻为主的产品，如复方天麻颗粒、天麻丸、天麻片、天麻头风灵胶囊、天麻头痛片、天麻首乌片、天麻追风膏、天麻祛风补片、天麻钩藤颗粒、天麻胶囊、天麻眩晕灵合剂、天麻醒脑胶囊和天麻壮骨丸等。此外还有功能食品如天麻酒、天麻蜜、天麻微粉以及天麻微粉胶囊等（张嘉硕，2006）。

《中国药典》记载有 8 种以天麻为主药的复方制剂，在临床治疗和预防疾病方面发挥了重要作用（国家药典委员会，2015）。天麻在化妆品方面的应用也开发了相关产品，如天麻多糖润肤霜是以天麻多糖为主要原料，再加上甘油、羊毛脂、白凡士林和液体石蜡等辅料制作而成的，在促使皮肤角质层降解和新陈代谢方面起到良好的效果，还具有保湿性、抗氧化作用，是一种绿色天然皮肤养护化妆品原料，为原料的深度开发利用提供了新方向（訾丽霞，2016）。

1.3 天麻地理分布与种类

1.3.1 天麻属植物的地理分布

天麻属（*Gastrodia*）是被子植物门兰科的一个属，该属多为腐生草本，约 20 种，分布于东亚、东南亚及大洋洲等，主要分布在热带、亚热带、温带以及寒温带山地。从马达加斯加经斯里兰卡、印度、喜马拉雅山以南各国、东南亚诸国至新几内亚、澳大利亚、新西兰、新喀里多尼亚、小笠原群岛、日本、朝鲜、中国以及俄罗斯远东地区均有分布（中国科学院中国植物志编辑委员会，1991）。

我国产的天麻有 13 种：原天麻（*G. angusta* S. Chow et S. C. Chen），无喙天麻（*G.*

appendiculata C. S. Leou et N. J. Chung), 秋天麻(*G. autumnalis* T. P. Lin), 八代天麻(*G. confusa* Honda et Tuyama), 天麻(*G. elata* Bl.), 夏天麻(*G. flabilabella* S. S. Ying), 春天麻(*G. fontinalis* T. P. Lin), 细天麻(*G. gracilis* Bl.), 冬天麻(*G. hiemalis* T. P. Lin), 南天麻[*G. javanica* (Bl.) Lindl.], 勐海天麻(*G. menghaiensis* Z. H. Tsi et S. C. Chen), 北插天天麻(*G. peichatieniana* S. S. Ying), 疣天麻(*G. tuberculata* F. Y. Liu et S. C. Chen)。属模式种:天麻(*Gastrodia sesamoides* R.Br.), 该属的大部分物种的根部均可以作为天麻入药。

1.3.2 药用天麻种类

《中国植物志》(18卷)记载药用天麻特征为:腐生草本;产于中国吉林、辽宁、陕西、甘肃、安徽、浙江、湖北、湖南、四川、贵州、云南和西藏等地;生于疏林下、林中空地、林缘或者灌丛边缘,海拔400~3200m。尼泊尔、不丹、印度、日本、朝鲜半岛至西伯利亚也有分布(中国植物志编纂委员会,2001)。

中国科学院昆明植物研究所周铨研究员在对天麻进行广泛野外调查的基础上,根据天麻花和花茎的颜色,结合人工栽培的经验,将我国药用天麻分为5个变型:原变型红天麻、乌天麻、绿天麻、黄天麻和松天麻(周铨,1983)。

红天麻(*G. elata* f. *elata*),又名水红秆天麻,株高1.5~2m,根状茎棒槌形或哑铃形,最重达1kg,含水量达85%,茎橙红色,花浅姜黄色,略带淡绿色,花期4—5月;分布于黄河流域与长江流域。

乌天麻(*G. elata* f. *glauca*)又名铁杆天麻,株高1.5~2m,或者更高,根状茎椭圆形或卵圆形,节较密,最长可达15cm或更长,最重达0.8kg,含水量达60%~70%,茎灰褐色,花蓝绿色,花期6—7月,果实形状不同于其他品种,为棱形或倒楔形;分布于云南东北部至西北部和贵州西部。

绿天麻(*G. elata* f. *viridis*),又名青天麻,株高1~1.5m,根状茎椭圆形或倒圆锥形,节较密,最重达0.6kg,含水量达70%,茎淡蓝绿色,花淡蓝绿或白色,较为少见,花期6—7月;分布于我国东北至西南各省。

黄天麻(*G. elata* f. *flavida*),又名草天麻,株高1m或以上,根状茎长椭圆卵形,最重达0.5kg,含水量达约80%,幼嫩茎淡黄绿色,成熟茎淡黄色,花淡黄色,花期4—5月;分布于云南东北部、贵州西部、河南和湖北。

松天麻(*G. elata* f. *alba*),株高约1m,根状茎梭形或圆柱形,含水量达90%以上,茎微黄色,花淡黄或白色,花期4—5月,常见于松栎林下;分布于云南西北部。

在这几种天麻中,红天麻种子发芽率和产量高,适应性和耐旱性强;乌天麻块茎繁殖率、种子发芽率和产量均较低,但含水量低,干品质量好,因此红天麻和乌天麻均是较常栽培的优良品种,其中红天麻栽培最为广泛。而绿天麻品质虽好,但较为稀少。

注:①实为质量,包括后文的重量、恒重等。但现阶段我国农林畜牧等行业的生产、科研实践中一直沿用,为使读者了解、熟悉行业实际,本书予以保留。——编者注

1.3.3 商品天麻的分级

商品麻要及时出售或加工干制。天麻干燥块茎呈长椭圆形，扁缩稍有弯曲，一般长 5~13 cm、宽 2~6 cm、厚 1~3 cm；顶端有红棕色芽孢或残留茎基，下端有圆脐形疤痕；表面黄白色或淡黄棕色，有纵皱纹及沟纹，具环节，上有点状斑痕或膜质鳞叶，并可见棕褐色菌索；质坚实，半透明，不宜折断，断面较平坦。加工的饮片薄而透明，故称明天麻。

要提高天麻的商品价值，可从三个方面着手将工作做细：第一，严格分级。每次熟制、烘干的操作，只用一个规格的天麻，以便于掌握火候和操作。第二，将麻体洗净后，使用滚皮机将天麻的粗糙外表、斑点等脱掉。第三，烘制过程中，麻体皮下会有气泡突起，可使用极细的竹针扎破放气，并随之抚平压平整。加工后的天麻按商品质量规格进行分级，不同等级商品价格相差悬殊，一般商品干天麻分为五个等级，具体分级与质量要求如下：

特等：干货；呈长椭圆形；扁缩弯曲，去净栓皮；表面黄白色，有横环纹，顶端有残留茎基或红黄色的枯芽；末端有圆盘状的凹脐形疤痕，质坚实、半透明、断面角质白色；味甘微辛；每千克 16 个以内，无空心、枯炕、杂质、虫蛀或霉变。

一等：干货；呈长椭圆形；扁缩弯曲，去净栓皮；表面黄白色，有横环纹，顶端有残留茎基或红黄色的枯芽；末端有圆盘状的凹脐形疤痕，质坚实、半透明、断面角质白色；味甘微辛；每千克 26 个以内，无空心、枯炕、杂质、虫蛀或霉变。

二等：干货；呈长椭圆形；扁缩弯曲，去净栓皮；表面黄白色，有横环纹，顶端有残留茎基或红黄色的枯芽；末端有圆盘状的凹脐形疤痕，质坚实、半透明、断面角质白色；味甘微辛；每千克 46 个以内，无空心、枯炕、杂质、虫蛀或霉变。

三等：干货；呈长椭圆形；扁缩弯曲，去净栓皮；表面黄白色，有横环纹，顶端有残留茎基或红黄色的枯芽；末端有圆盘状的凹脐形疤痕，质坚实、半透明、断面角质白色；味甘微辛；每千克 90 个以内，大小均可，无枯炕、杂质、虫蛀或霉变。

四等：干货；每千克 90 个以上，且不符合一、二、三等的碎块、空心及未去皮者均属此等；无杂质、虫蛀或霉变。

参考文献

- [1] 尚志钧. 神农本草经校注[M]. 北京：学苑出版社，2008.
- [2] 张维经，李碧峰. 天麻与蜜环菌的关系概述[J]. 西北大学学报（自然科学版），1977（2）：57-63.
- [3] 陈安华.“赤箭”功用考[J]. 吉林中医药，1989（2）：36-36.
- [4] 徐锦堂. 对当前中药材栽培研究的几点意见[J]. 中国医学科学院学报，2001（6）：540-541.
- [5] 杨启德. 天麻[J]. 成都中医学院学报，1983（3）：62-63.
- [6] 中国植物志编纂委员会. 中国植物志（第 18 卷）[M]. 北京：科学出版社，2001：254.
- [7] 周铉，陈心启. 国产天麻属植物的整理[J]. 植物分类与资源学报，1983，5（4）：363-368.
- [8] 邢康康，张植玮，涂永勤，等. 天麻的生物学特性及其栽培中的问题和对策[J]. 中国民族民间医药，2016，25（14）：29-31.

- [9] 刘炳仁. 天麻高产栽培技术[M]. 上海:上海科学技术文献出版社, 1992.
- [10] 李景惠. 天麻生长所需的环境条件[J]. 特种经济动植物, 2002, 5(12): 29-29.
- [11] 曾勇, 蔡传涛, 刘贵周, 等. 不同海拔两种天麻仿野生栽培下产量和品质变化[J]. 植物科学学报, 2011, 1(5): 637-643.
- [12] 段宁, 卢学琴. 干旱对天麻产量的影响[J]. 中药材, 2006, 29(1): 3-5.
- [13] 李昌华. 长白山露水河施业区的土壤条件及其与林型分布和林木生长的关系[J]. 林业科学, 1963, 8(2): 93-104.
- [14] 赵施迪, 张博华, 杨德才. 天麻仿野生种植区菌材树种选择与森林资源保护对策研究[J]. 资源开发与市场, 2015, 31(6).
- [15] 蔡戟. 天麻生长的自然环境及其保护与发展[J]. 西藏医药, 1977(2): 136-140, 142.
- [16] 张彩玲. 中药天麻古今谈[J]. 陕西中医学院学报, 1981(3).
- [17] 卢进, 丁德容. 天麻的本草考证[J]. 中药材, 1994(12): 34-36.
- [18] 龚文玲, 詹志来, 江维克, 等. 天麻本草再考证[J]. 中国现代中药, 2018.
- [19] 朱艳玲, 郭瑞华. 天麻四性变迁的本草考证[J]. 山东中医药大学学报, 2011, 35(5): 423-424.
- [20] 黄斌. 《集验方》“天麻草”的考证[J]. 中药材, 1989, 12(6): 39-40.
- [21] 周铤. 天麻生活史[J]. 植物分类与资源学报, 1981, 3(2): 179-202.
- [22] 张嘉硕. 天麻产业的培育与产品开发[C]//银龄睿智——为“十一五”规划建言献策论文选编, 2006.
- [23] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社, 2015: 58.
- [24] CHEN L, LIU X, WANG H, et al. Gastrodin attenuates pentylentetrazole-induced seizures by modulating the mitogen-activated protein kinase-associated inflammatory responses in mice[J]. Neuroscience bulletin, 2017, 33(3): 264-272.
- [25] 孙明祎. 天麻钩藤饮对原发性高血压患者血压变异性及血管内皮保护机制作用研究[J]. 长春中医药大学学报, 2019, 35(2): 261-263.
- [26] 金·李东垣. 脾胃论:下卷[M]. 北京:人民卫生出版社, 2005: 73.
- [27] 孙文奇, 朱君波. 药酒验方选[M]. 太原:山西科学教育出版社, 1985: 46.
- [28] 梁嘉莹. 天麻多糖润肤霜工艺配方研究[J]. 化工管理, 2017(2): 201.
- [29] 昝丽霞, 王宇, 胡琳琳, 等. 天麻多糖在润肤霜中的应用[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2016, 32(3): 53-57+64.
- [30] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社, 1991: 29-39.

2

天麻有效成分分析

天麻除含有初级代谢产物外，还含有天麻素、对羟基苯甲醇等多种具有药用和保健功能的成分（C. L. Hsieh 等，1999）。但是这些成分含量偏低，需要采用提取、分离和纯化等技术手段进行测定或开发。本章探究了天麻所含有效成分种类、含量以及检测方法，总结了其关键活性成分——天麻素的提取和检测方法。

2.1 天麻化学成分

天麻的主要化学成分有天麻素、天麻糖苷、酚和酚类糖苷、多糖等十余种（李德勋等，2007）。随着分析检测技术的不断进步，越来越多的成分被发现。

2.1.1 酚类化合物及苷类

从天麻中分离得到的酚类化合物有 40 多种，其中包括含有一个苯环的化合物（表 2-1）和含两个及以上苯环的化合物（表 2-2）（冯孝章等，1979）。

表 2-1 天麻中含有一个苯环的化合物

序号	中文名	英文名
1	香荚兰醇	vanillylaleohol
2	香荚兰醛	vanilline
3	对羟基苯甲醇	<i>p</i> -hydroxybenzylalcohol
4	对羟基苯甲醛	<i>p</i> -hydroxybenzaldehyde
5	3,4-二羟基苯甲醛	3,4-dihydroxybenzaldehyde
6	对羟基苯乙基醚	<i>p</i> -hydroxybenzylethylether
7	对羟基苯基甲醚	4-hydroxybenzylmethylether
8	邻苯二甲酸二甲酯	dimethylphthalate

续表

序号	中文名	英文名
9	苯甲醇	benzylalcohol
10	香荚兰酸	vanillic acid
11	对甲氧基苄基乙醚	<i>p</i> -methoxybenylethylether
12	对甲基苄基-1-O- β -D-吡喃葡萄糖苷	<i>p</i> -methylphenyl-1-O-D-glucopyranoside
13	3,5-二甲氧基苯甲酸-4-O- β -D-吡喃葡萄糖苷	3,5-dimethoxybenzoicacid-4-O- β -D-glucopyranoside
14	对羟基苄基-1-O- β -D-吡喃葡萄糖苷	4-hydroxybenzyl- β -D-glucopyranoside
15	1-异阿魏酸- β -D-吡喃葡萄糖苷	1-isoferuloyl- β -D-glucopyranoside

资料来源：冯孝章，陈玉武，杨峻山等，1979。

表 2-2 天麻中含两个及以上苯环的化合物

序号	中文名	英文名
1	4,4'-二羟基二苄基甲烷	4,4'-dihydroxydibenzylmethane
2	4,4'-二羟基二苄基醚	4,4'-dihydroxydibenzylether
3	天麻醚苷	gastrodeoside
4	2,2'-亚甲基双-(4-甲基-6-叔丁基苯酚)	2,2'-methylene-bis(6-tert-butyl-4-methylphenl)
5	对羟基苄氧基苄基醇	<i>p</i> -hydroxybenyloxybenzylalcohol
6	3,5-二甲氧基苯甲酸-4-O- β -D-吡喃葡萄糖苷	3,5-dimethoxyben-zoicacid-4-O- β -D-glucopyranoside
7	4,4'-二羟基二苄基亚砷	4,4'-dihydroxybenzylsulfoxide
8	天麻羟胺	gastrodamine
9	硫化二对羟基苄	bis-(4-hydroxybenzyl) sulfide
10	4,4'-二羟基二苄基砷	4,4'-dihydroxybenzylsulfone

资料来源：周俊，浦湘渝，杨雁宾等，1979。

2.1.2 有机酸及酯类

从天麻中分离得到的有机酸及酯类化合物有 10 多种，其中柠檬酸、琥珀酸和棕榈酸在植物中较为常见。从天麻中分离得到的有机酸及酯类见表 2-3（周俊，杨雁宾等，2005）。

表 2-3 天麻中有机酸及酯类化合物

序号	中文名	英文名
1	棕榈酸	palmitic acid
2	柠檬酸	citric acid
3	琥珀酸	succinic acid
4	β -苯丙烯酸	<i>trans</i> -3-phenylacrylic acid
5	单硬脂酸甘油酯	6-methylcitrate

续表

序号	中文名	英文名
6	柠檬酸单甲酯	citricacidmonomdtylester
7	柠檬酸二甲酯	1,5-dimethylcitrateester
8	丙三醇-1-软脂酸单酯	propanetriol-1-palmicacidester
9	巴利森苷	tri-[4-(β -D-glucopyranosyloxy) benzyl]citrate
10	巴利森苷 B	1,2-bis[4-(β -D-glucopyranosyloxy) benzyl]citrate
11	巴利森苷 C	1,3-bis[4-(β -D-glucopyranosyloxy) benzyl]citrate
12	间羟基苯甲酸	<i>m</i> -hydroxybenzoic acid
13	丁香酸	syringic acid
14	原儿茶酸	protocatechuic acid

资料来源：周俊，杨雁宾，杨崇仁，黄占波，宋冬梅，陈发奎等，2005。

2.1.3 天麻素

天麻素又称天麻苷，化学名称为 4-羟基苯- β -D-吡喃葡萄糖苷半水化合物，常温下为白色结晶性粉末，易溶于水、甲醇、乙醇、丙酮和热乙酸乙酯，难溶于乙醚。天麻素用苦杏仁酶水解，可得对羟甲基苯醇苷元。天麻素是天麻发挥其药理活性最主要的成分，在天麻中的含量高达 0.33%~0.67%，是其能清除自由基、抗衰老、扩张血管、调节血管渗透性、防止动脉硬化、利尿、抗菌消炎以及抑制肿瘤细胞等药理功能的主要物质基础。不同研究者因为采样月份和地点的不同，所测得天麻中天麻素含量有一定差异。

2.1.4 天麻的挥发性成分

国内外学者对天麻的挥发性成分做了比较系统的分析（表 2-4），主要含有酚类及其苷类、有机酸类、甾醇类、含氮类及多糖类化合物（谢笑天，李海燕，王强等，2004）。对天麻素的研究、应用最早且最多（汪军玲，周本宏等，2009），而对天麻挥发性成分的研究甚少，仅贵州大学关萍等（2008）用水蒸气蒸馏提取法对产自贵州大方的天麻进行过挥发性成分分析的报告。本研究首次通过溶剂回流提取结合气相色谱-质谱联用技术对陕西宁强、湖北宜昌、云南昭通三个不同产地红天麻挥发性成分进行研究，为天麻的全面开发利用提供依据。

表 2-4 不同产地的天麻挥发性成分的组成分析

序号	化合物	面积占比/%			保留时间 /min
		湖北宜昌	陕西宁强	云南昭通	
1	对甲基苯酚	33.85	0.12	—	14.76
2	4-甲氧甲基苯酚	0.23	—	—	21.54

3	4-羟基苯甲醇	41.47	11.45	0.31	22.72
---	---------	-------	-------	------	-------

续表

序号	化合物	面积占比/%			保留时间 /min
		湖北宜昌	陕西宁强	云南昭通	
4	对羟基苯甲醛	31.56	0.33	—	23.18
5	4-乙氧甲基苯酚	30.79	—	—	23.35
6	香草醛	30.12	—	—	24.13
7	2,4-二叔丁基苯酚	—	—	0.09	26.98
8	正十八醛	20.16	—	—	31.84
9	9-十六碳烯酸	20.32	—	—	36.45
10	正十六烷酸	33.02	66.19	77.93	36.98
11	十七烷酸	—	—	0.12	38.78
12	亚油酸	114.47	225.62	224.23	40.12
13	油酸	66.67	77.63	—	40.64
14	十八碳烷酸	0.58	11.21	—	41.26
15	二十二烷	0.64	—	—	41.36
16	二十烷	11.18	—	—	42.83
17	十七烷	11.54	—	—	44.07
18	二十四烷	0.72	—	—	44.08
19	2,2'-亚甲基双-(4-甲基-6-叔丁基苯酚)	—	0.1	0.17	44.12
20	9,12-十八碳二烯酸	11.45	11.71	0.57	44.26
21	亚麻醇	—	0.26	—	44.41
22	孕甾-5-烯-3,20-二酮	11.02	0.49	—	44.45
23	双环[10.1.0]十三碳-1-烯	22.50	22.12	11.25	44.78
24	4,5,7-三甲氧基-3-苯基-香豆素	—	0.74	—	45.92
25	角鲨烯	11.10	0.45	11.23	47.93
26	豆甾烷-3,5-二烯	33.43	22.10	11.86	51.16
27	菜油甾醇	—	0.80	0.67	53.44
28	豆甾醇	—	0.63	0.46	53.96
29	γ -谷甾醇	339.18	334.89	440.23	55.26
30	β -谷甾醇	0.25	0.19	—	55.75

注：“—”代表未检出。

3个不同产地红天麻的挥发性成分主要为甾醇类、有机酸类和烯炔类化合物，7种主要成分（4-羟基苯甲醇、n-十六烷酸、亚油酸、双环十三碳-1-烯、角鲨烯、豆甾烷-3,5-二烯和 γ -谷甾醇）相同，其中 γ -谷甾醇含量最高，均大于30.0%。 γ -谷甾醇是 β -谷甾醇的C₂₄位异构体，

β -谷甾醇的 24 位碳是 β 构型的，而 γ -谷甾醇的 24 位碳是 α 构型（盛漪，谷文英等，2002）。研究表明， γ -谷甾醇具有降血糖和抗癌活性（Khanmr，1999）。此外，含量较高的亚油酸，具有降低血脂，降低血液黏稠度及抑制 MiaPaCa2 人胰腺癌细胞的增殖、迁移、促进其凋亡等作用（杨军等，1998；陈传贵，2009）。

2.1.5 无机元素

天麻中含有多种微量元素，其中 Fe 含量较高，Cu、Mn、Zn、I 次之。研究发现，不同地区产的天麻其化学成分种类和含量有差异。P、B、N、K、Cu、Mn、Fe、Mg 等 8 种元素是天麻的特征元素，天麻中 K 和 N 含量高且相对稳定（李金玲，赵致，刘洪昌等，2015）。

2.1.6 其他成分

除酚类、有机酸和甾体外，天麻中还含有其他化合物，包括多糖类、呋喃醛类、腺苷类、氨基酸及多肽等。

1. 多 糖

早在 20 世纪 80 年代，就有研究从天麻正丁醇萃取部位分离得到蔗糖，继而证实天麻中含有的天麻多糖为葡聚糖（周俊，冯孝章等，1979）。胡梅清等研究发现天麻中含有匀多糖，是一种由葡萄糖分子组成的匀多糖。此后，有学者在天麻中分离出 3 种杂多糖 GE-I、GE-II、GE-III，均为白色粉末，且均有细胞免疫活性；还分离得到肿根糖 A（宋振玉，王莉等，2009）。

2. 呋喃醛类

Yun-Choi 等（1997）报道分离得到薊醛。张伟等（2010）报道分离出 5-羟甲基-2-呋喃甲醛。

3. 腺苷类

黄占波等（2005）报道分离出腺苷。Huang 等（2006）报道分离出 N6-(4-羟基苄基)-腺苷。Wang 等（2007）分离得到天麻核苷即 N2-(对羟苄基)-鸟苷。

4. 二 酮

张伟等（2010）在天麻正丁醇萃取物中分离得到 7,8-二甲苯基蝶啶-2,4(1H, 3H)-二酮。李志锋等（2014）在天麻 50%乙醇提物中分离得到 1-furan-2-yl-2-(4-hydroxy-phenyl)-ethane-1,2-dione，命名为天麻呋喃二酮。

5. 氨基酸及多肽

包括硫-(4-羟苄基)-谷胱甘肽[S-(4-hydroxybenzyl)-giutathione]（Anderssonm，1995）、L-焦古氨酸（L-pyroglutamic acid）（郝小燕等，2000）、赛比诺啶-A（3,5-dihydroxy-1,4-phenanthraquinone）

和 α -乙酰胺基-苯丙基- α -苯甲酰胺基-苯丙酸酯 (肖永庆, 李丽等, 2002)。从天麻的顶生块茎中分离并纯化得到了一种抗真菌蛋白 (GAFP), 通过实验证明该蛋白为碱性蛋白, 有强抗木霉菌丝生长的活性, 并测得该蛋白为多肽单链 (胡忠等, 1988)。

2.2 天麻化学成分含量测定

天麻的主要活性成分有天麻素、天麻苷元等苷类化合物和对羟基苯甲醇、对羟基苯甲醛、柠檬酸等，对其进行含量分析可以判断其品质，也可以对生产中适时采收和质量控制体系的建立提供帮助。

2.2.1 样品处理

取新鲜天麻，根据重量大小分 4 个等级分档后，水洗除去泥土及表面脏物，放于蒸笼中蒸制不同时间：以单个天麻质量计，小于 75 g 的天麻蒸制 10 min；介于 75 ~ 150 g 的天麻蒸制 20 min；介于 150 ~ 300 g 的天麻蒸制 30 min；大于 300 g 的天麻蒸制 35 min。鲜天麻以蒸至透心为度，取出，将天麻药材置于 55 °C 电热恒温鼓风干燥箱中干燥，期间取出发汗 2 次，最终天麻水分在 15% 以下时取出，磨粉，过 80 目筛，冷冻保存备用(季德，宁子琬，张雪荣等，2016)。

测定前，将天麻粉放入干净的铝盒中，置于 80 °C 鼓风干燥箱中干燥(8 h 以上)，再移入干燥器内，供实验用。

2.2.2 化学成分含量测定

2.2.2.1 多糖含量的测定

1. 标准溶液制备

取经 105 °C 干燥至恒重的无水葡萄糖对照品 33 mg，精密称定，置于小烧杯中，加适量水溶解，转移入 100 mL 容量瓶中，用少量水洗涤烧杯，洗液一并转入容量瓶中，加水稀释至刻度，摇匀，即得(每 1 mL 中含无水葡萄糖 0.33 mg)(陈琛等，2018)。

2. 标准曲线绘制

精密量取对照品溶液 0 mL、0.1 mL、0.2 mL、0.3 mL、0.4 mL、0.5 mL、0.6 mL，分别置 10 mL 具塞刻度试管中，分别加水 2 mL、1.9 mL、1.8 mL、1.7 mL、1.6 mL、1.5 mL、1.4 mL，摇匀，冰水浴中缓缓滴加(大概 7 min 滴加完 8 mL) 0.2% 蒽酮-硫酸(0.2 g 蒽酮加入 100 mL 浓硫酸中，搅拌均匀)各 8 mL，混匀，放冷后置 80 °C 水浴中保温 10 min，取出，立即置冰水浴中冷却 10 min。取出，以相应试剂为空白，在 582 nm 波长处测定吸光度。以吸光度为纵坐标、浓度为横坐标，绘制标准曲线。

3. 多糖含量测定

取 80 °C 干燥至恒重的本品细粉约 0.25 g，精密称定，置圆底烧瓶中，加 80% 乙醇 150 mL，

置水浴中加热回流 1 h，趁热过滤，残渣用 80%热乙醇洗涤 3 次，每次 10 mL，将残渣及滤纸置烧瓶中，加水 150 mL，置沸水浴中加热回流 1 h，趁热过滤，残渣及烧瓶用热水洗涤 4 次，每次 10 mL，合并滤液与洗液，放冷，转移至 250 mL 容量瓶中，加水至刻度，摇匀。精密量取 1 mL，置 10 mL 具塞干燥试管中，照标准曲线的制备项下的方法，自“加水”起，依法测定吸光度，从标准曲线上读出供试品溶液中含无水葡萄糖的重量，计算即得。

2.2.2.2 蛋白质含量测定

1. 标准溶液制备

(1) 100 $\mu\text{g/mL}$ 牛血清蛋白标准溶液的制备：精确称取 10 mg 牛血清蛋白，用蒸馏水溶解，定容至 100 mL，摇匀即得。

(2) 考马斯亮蓝 G-250 溶液的制备：精确称取 100 mg 考马斯亮蓝 G-250，将其置于 250 mL 烧杯中，加入 50 mL 95%乙醇进行溶解，确认完全溶解后加入 100 mL 85% (V/V) 磷酸，用玻璃棒充分搅拌均匀，后倒入 1000 mL 容量瓶中，烧杯再用蒸馏水洗 3 次，洗液一并倒入容量瓶中，定容至 1000 mL，摇匀。溶液最后浓度是 0.01% (W/V) 考马斯亮蓝 G-250，4.7% (V/V) 乙醇以及 8.5% (V/V) 磷酸，然后用滤纸过滤，滤液置于棕色瓶中备用。

2. 标准曲线绘制

精确吸取牛血清蛋白溶液 0.0、0.2、0.4、0.6、0.8、1 mL，分别置于 6 个 10 mL 具塞刻度试管中，先分别加蒸馏水 1、0.8、0.6、0.4、0.2、0.0 mL，摇匀，然后再分别加入 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 溶液，置于避光处反应 3 ~ 8 min。再用分光光度计在 595 nm 处测定吸光度值。以吸光度 (y) 为纵坐标、浓度 (x) 为横坐标绘制标准曲线，得到回归方程。

3. 蛋白质含量的测定

准确称取于 80 $^{\circ}\text{C}$ 干燥箱烘干至恒重的天麻样品粉 0.1 g，放入干净且干燥的研钵中，向研钵中加入适量磷酸缓冲液（先称定 31.2 g 磷酸二氢钠，将其定容至 1000 mL，制成的溶液为 A 液；再称 71.6 g 磷酸氢二钠，定容至 1000 mL，制成的溶液为 B 液，所需缓冲液配比为 A 液、B 液体积比=38：62），研磨至匀浆状，将其转入抽滤瓶中用定性滤纸进行抽滤，滤液倒入 25 mL 容量瓶，滤瓶用磷酸缓冲液洗 3 次，将洗液一并转入容量瓶中，用磷酸缓冲液定容至刻度，取出 1 mL 加入 25 mL 具塞试管中，然后再加入 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 溶液。充分摇匀后，于 595 nm 处测得吸光度，取 3 组吸光度的平均值代入标准回归方程中，即知所测天麻样品中蛋白质的含量（杨玉芳，2007）。

2.2.2.3 天麻素含量测定

天麻药理功能的主要有效成分天麻素现已能人工合成。天麻素测定方法有很多，包括高效液相色谱测定法、紫外分光光度法、薄层色谱扫描法、二阶导数分光光度法及其他分析方法，其中尤以高效液相色谱法较为常用。

高效液相色谱法是天麻中天麻素含量测定的常用方法，是利用高压输液泵将具有不同极

性的单一溶剂或不同比例的混合溶剂、缓冲液等流动相泵入装有固定相的色谱柱，经进样阀注入待测样品，由流动相带入柱内，在柱内各成分被分离后，依次进入检测器进行检测，从而实现对试样的分析。从高效液相色谱测定法应用过程来看，其具有高效、快速、灵敏和范围广等优点。

1. 色谱条件

色谱柱为 Wondasil TMC 18 柱，以乙腈-0.05%磷酸溶液（3：97）为流动相；检测波长为 220 nm。进样体积为 5 μ L。理论板数按天麻素峰计算应不低于 5000。

2. 对照品溶液制备

取天麻素对照品、对羟基苯甲醇对照品适量，精密称定，加乙腈-水（3：97）混合溶液制成每 1 mL 含天麻素 50 μ g、对羟基苯甲醇 25 μ g 的混合溶液，即得（袁胜浩等，2008）。

3. 供试品溶液制备

取干燥至恒重的天麻粉约 2 g 精密称定，置具塞锥形瓶中，精密加入稀乙醇（乙醇 529 mL，加水稀释至 1000 mL）50 mL，称定重量，超声处理（功率 120 W，频率 40 kHz）30 min，放冷，再称定重量，用稀乙醇补足减失的重量，过滤，精密量取续滤液 10 mL，浓缩至近干无醇味，残渣加乙腈-水（3：97）混合溶液溶解，转移至 25 mL 容量瓶中，用乙腈-水（3：97）混合溶液稀释至刻度，摇匀，过滤（0.22 μ m 微孔滤膜），取续滤液即得。

4. 测定法

分别精密吸取对照品溶液与供试品溶液各 5 μ L，注入高效液相色谱仪，测定，即得。

2.2.2.4 灰分测定

1. 总灰分含量测定

将配套的坩埚洗净晾干，放到高温炉内，在（550 \pm 20） $^{\circ}$ C 下灼烧 30 min，待冷却到 300 $^{\circ}$ C 时取出，再放入干燥器中冷却至室温（大约 30 min），称其重量（精确至 0.0001 g），再重复上述方法灼烧、冷却、称量，直到前后两次重量之差小于 0.003 g 即为恒重，取最后两次重量的平均值。

称取 3 份 3~5 g 已处理的样品（精确到 0.0001 g），放入已经恒重的坩埚中，在电炉上小心炭化，在炭化过程中，应在较低温度下加热灼烧至无烟，然后升温灼烧至样品无炭粒，再用坩埚钳夹取放到马弗炉中（过程中注意坩埚钳夹放位置不可触及样品），在（550 \pm 20） $^{\circ}$ C 下灼烧 3 h，关闭马弗炉，等到炉内温度降到 300 $^{\circ}$ C 时，取出，放入干燥器中冷却 30 min，称取重量，再同样重复灼烧 1 h，冷却，称量。再放入马弗炉中灼烧 30 min，取出，冷却，称量，直到前后两次称量之差不超过 0.001 g 为止。取两次称量的平均值。

样品总灰分含量以干态质量分数（%）表示，在重复条件下同一样品的测定结果绝对值差不超过算术平均值的 5%。计算公式如下：

$$\text{总灰分含量 (\%)} = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \cdot w \cdot 100\%$$

式中 m_2 ——灼烧至恒重的坩埚与样品的质量, g;
 m_1 ——坩埚的质量, g;
 m_0 ——称取的样品质量, g;
 w ——试样干物质含量(质量分数), %。

2. 水不溶性灰分含量测定

用 25 mL 沸蒸馏水, 将 3 份总灰分从坩埚内洗入 3 个洁净的 100 mL 烧杯中, 于沸水浴中加热至微沸(注意防溅), 趁热用无灰滤纸过滤, 用沸蒸馏水洗涤烧杯和滤纸上的残留物数次, 直到洗液与滤液体积约达 150 mL, 将滤纸与残渣一同移入原坩埚中, 干燥, 再移入马弗炉内以 $(550 \pm 20)^\circ\text{C}$ 灼烧至无炭粒(一般需要 1 h), 等炉温降到 300°C 时, 小心取出坩埚, 放入干燥器中, 冷却至常温(约需 30 min), 称重(准确至 0.0001 g), 再将其放到高温炉中以 $(550 \pm 20)^\circ\text{C}$ 灼烧 30 min, 重复上述操作步骤, 直到前后两次称量之差不超过 0.001 g 时为恒重, 取两次称量的平均值。

天麻水不溶性灰分含量以干态质量分数(%)表示, 在重复条件下同一样品的测定结果绝对值差不超过算术平均值的 5%。计算公式如下:

$$\text{水不溶性灰分含量}(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \cdot w \cdot 100\%$$

式中 m_2 ——坩埚与水不溶性灰分的质量, g;
 m_1 ——坩埚的质量, g;
 m_0 ——称取的样品质量, g;
 w ——试样干物质含量(质量分数), %。

3. 酸不溶性灰分含量测定

用 25 mL 10% 盐酸将上述 3 份总灰分分别分次洗入 3 个 100 mL 烧杯中, 覆盖表面皿, 在沸水浴中小心加热, 直到溶液由浑浊变为透明时, 再继续加热 5 min, 趁热用无灰滤纸过滤, 用少量沸蒸馏水反复洗涤烧杯以及滤纸上的残留物, 直至其不显氯化物反应, 再将滤纸连同滤渣移入原坩埚中, 干燥至坩埚中无明显水分, 将其移入高温马弗炉内, 以 $(550 \pm 20)^\circ\text{C}$ 灼烧至无炭粒(一般需要 1 h), 待炉温降到 300°C 时, 取出坩埚, 放入干燥器中, 冷却至常温(约 30 min), 称重(准确至 0.0001 g), 再放到高温炉中以 $(550 \pm 20)^\circ\text{C}$ 灼烧 30 min, 重复上述操作步骤, 直到前后两次称量之差不超过 0.001 g 时为恒重, 取两次称量的平均值。

样品酸不溶性灰分含量以干态质量分数(%)表示, 在重复条件下同一样品的测定结果绝对值差不超过算术平均值的 10%。计算公式如下:

$$\text{酸不溶性灰分含量}(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \cdot w \cdot 100\%$$

式中 m_2 ——坩埚与酸不溶性灰分的质量, g;
 m_1 ——恒重坩埚的质量, g;
 m_0 ——称取的样品质量, g;
 w ——样品干物质含量(质量分数), %。

2.2.2.5 含水量测定

取洗净的铝盒，放入 105 °C 干燥箱内，盒盖倾斜放开盖在铝盒上，干燥 1 h 后取出盖好，置于干燥器内冷却 30 min，称量。再重复上述步骤，干燥至前后两次称量差不超过 0.002 g，即为铝盒恒重。

取冷藏保存的天麻粉样品，称量 2.9999 g (精确到 0.0001 g)，装入已经恒重的铝盒中，放于 101 ~ 105 °C 的鼓风干燥箱中，盒盖斜支于盒边，干燥 2 ~ 4 h，盖好盖取出，放到干燥器内冷却 30 min 后称其重量。然后再放入干燥箱内继续干燥 1 h 左右，取出，放入干燥器内冷却 30 min 后称重，重复上述干燥步骤，直至前后两次称量之差不超过 0.002 g，即为恒重。

在三次重复条件下所获得的独立测定结果的绝对差值不得高于算术平均值的 10%。计算公式如下：

$$\text{含水量}(X) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \cdot 100\%$$

式中 X ——试样中含水量，g/100 g；

m_1 ——铝盒和样品的质量，g；

m_2 ——铝盒和样品干燥后的质量，g；

m_3 ——铝盒的质量，g；

100——单位换算系数。

2.3 天麻素提取

提高天麻素提取量对于天麻药材的高效利用具有重要意义。目前，天麻中天麻素的提取方法主要有传统浸提法、超声提取法、酶提取法、微波提取法和热回流提取法等。微波具有穿透力强、选择性高、加热效率高等特点。根据文献报道采用微波萃取中药黄芪和景天中有效成分，均收到良好的效果(王莉等，2001)。本节综合了天麻素提取方法，重点就其微波提取进行研究。

2.3.1 天麻素主要提取方法

2.3.1.1 超声波提取法

超声波提取法是采用超声波辅助溶剂对中药材有效成分进行提取的一种方法。通过超声波产生高速、强烈的空化效应和搅拌作用来破坏植物药材的细胞，使溶液渗透到药材细胞中。这种方法的优点是可以增大物质分子运动频率和速度、缩短提取时间、提高提取率。此方法已成功应用于黄酮类、皂苷类、萜醌类、香豆素和木脂素类、生物碱类、有机酸类及多糖等有效成分的提取。

2.3.1.2 破碎提取法

组织破碎提取法采用先进的破碎混合器在室温液体溶剂中利用高速破碎、高速研磨、高速搅拌和超分子渗透技术，对药材进行组织破碎、研磨至细微颗粒，从而达到快速提取的效果。此方法具有速度快、提取充分、不需要进行加热等显著优点，可以在提取过程中节约大量的操作时间，减少溶剂和原材料的损耗。

2.3.1.3 空气爆破法

空气爆破法提取中药材有效成分是利用植物细胞组织中的空气受压缩后突然减压时释放出的强大冲击力，打破植物细胞壁，撕裂植物组织，使药材结构疏松，利于溶剂渗入药材内部，增加溶剂与药材的接触表面积。此方法有利于溶剂在药材颗粒内部运动和输送，促使其释放活性产物，提高提取效率。

2.3.1.4 超临界流体萃取 (SFE)

超临界流体萃取是一种以超临界流体作为萃取剂，对中药有效成分进行萃取和分离的方法。超临界流体是温度和压力同时高于临界值的流体，即压缩到具有接近液体密度的气体。二氧化碳是比较常用的超临界流体之一，可用于提取亲脂性、分子量小的物质，如挥发油、黄酮类及有机酚类、苷类及萜类、香豆素类、醌类及其衍生物等成分。

2.3.1.5 微波辅助萃取 (MAE)

微波辅助萃取是根据不同物质吸收微波能力的差异，使得基体物质的某些区域或萃取体系中的某些组分被选择性加热，从而使得被萃取物质与体系分离，进入介电常数较小、微波吸收能力相对差的萃取剂中，达到提取的目的。采用微波辅助萃取技术进行提取时，药材基体不会出现凝聚、焦化等现象。微波辅助萃取技术还具有选择性高、提取效率高及有效成分收率高等优点。

2.3.1.6 树脂分离法

以天麻苷和天麻总苷的吸附量和洗脱率为考察指标，研究 AB-8 大孔吸附树脂分离纯化天麻中天麻苷和天麻总苷的工艺条件及参数。结果发现 AB-8 树脂对天麻苷吸附容量为 7.32 mg/g、对总苷吸附容量为 16.25 mg/g，洗脱率分别为天麻苷 96.77%、天麻总苷 96.25%，终产品中天麻总苷的纯度可达 18.96%。进而表明采用 AB-8 大孔吸附树脂分离纯化天麻中天麻苷和总苷是可行的，为天麻的开发应用奠定了一定的基础（李文兰等，2007）。

2.3.2 微波提取天麻素工艺优化

2.3.2.1 材料与仪器

1. 材料

天麻购自酒泉市洪洋中药材生态种植加工有限责任公司，天麻素对照品（纯度 $\geq 98.3\%$ ）购于中国食品药品检定研究院；色谱分析用水为纯净水；乙腈（色谱纯，迪马公司）；乙醇、甲醇、二氯甲烷、磷酸（分析纯，国药集团化学试剂有限公司）；其余试剂均为分析纯。

2. 仪器

粉碎机（FW-100 北京中兴伟业仪器有限公司）；集热式磁力搅拌器（DF-101S 巩义市予华仪器有限责任公司）；旋转蒸发仪（QG5200T 郑州自拓仪器设备有限公司）；高效液相色谱仪（LC-15C 日本岛津，配 SPD-15 型紫外检测仪）。

2.3.2.2 提取方法

取天麻原药材，用万能粉碎机粉碎，粉末过筛， $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 干燥 2 h 备用。称取干燥天麻粉 10 g，加入一定量的乙醇，置于 500 mL 三颈烧瓶中，计算称量重量。浸泡 6 h 后，置于 MAS-II 型常压微波合成/萃取反应工作站中，装好冷凝管，按设计的实验方案因素探究进行微波提取。用与之匹配的体积分数乙醇补充损失的溶剂重量，摇匀，过滤。滤渣重新按照上步骤提取。合并多次提取液，减压浓缩，过 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 的微孔滤膜，得供试品溶液。

2.3.2.3 精密度实验

准确吸取对照品溶液 $10\text{ }\mu\text{L}$ ，在上述色谱条件下，重复进样 5 次，测定天麻素峰面积相对标准偏差 RSD 为 1.08%，结果表明仪器精密度良好。

2.3.2.4 重现性实验

取同一供试品溶液 5 份，分别独立按供试品溶液制备方法制成样品溶液，在上述色谱条件下测定，测得 RSD 为 1.28%，结果表明方法重现性良好。

2.3.2.5 稳定性实验

取同一供试品溶液，每隔 2 h 进样 $10\text{ }\mu\text{L}$ ，共测 6 次，以天麻素面积计算 RSD 为 1.27%，表明供试品溶液在 12 h 内稳定。

2.3.2.6 提取工艺参数的单因素试验

1. 提取溶剂对微波法提取效果的影响

称取过 80 目药典筛的天麻粉，每份 10.00 g，共 7 份，分别加入不同体积分数溶剂，天麻粉、溶剂质量之比=1：12，提取时间为 45 min，微波功率为 400 W，提取次数为 3 次/h，在微波反应提取装置中进行实验，结果如图 2-1 所示。

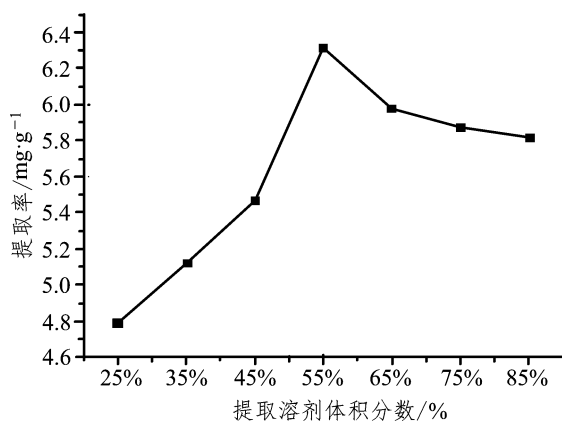


图 2-1 提取溶剂对提取率的影响

2. 微波功率对微波法提取效果影响

称取过 80 目筛天麻粉，每份 10.00 g，共 6 份，分别采用不同的功率进行实验，选用 55% 乙醇为提取溶剂，天麻粉、溶剂质量之比=1：12，提取时间为 45 min，提取次数为 3 次/h，在微波反应提取装置中进行实验，结果如图 2-2 所示。

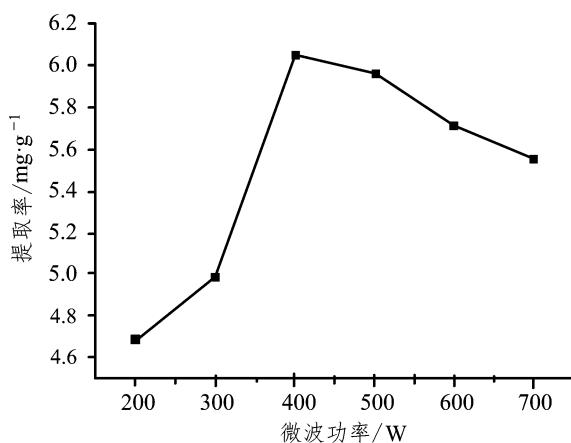


图 2-2 微波功率对提取率的影响

3. 天麻颗粒度对微波法提取效果影响

称取粉碎后的天麻粉，每份 10.00 g，共 6 份，分别采用不同孔径铜筛过筛后进行实验，选用 55%乙醇为提取溶剂，天麻粉、溶剂质量之比=1：12，提取时间为 45 min，微波功率为 400 W，提取次数为 3 次/h，在微波反应提取装置中进行实验，结果如图 2-3 所示。

4. 提取时间对微波法提取效果的影响

称取过 80 目筛天麻粉，每份 10.00 g，共 6 份，分别采用不同的提取时间进行实验，选用 55%乙醇为提取溶剂，天麻粉、溶剂质量之比=1：12，微波功率为 400 W，提取次数为 3 次/h，在微波反应提取装置中进行实验，结果如图 2-4 所示。

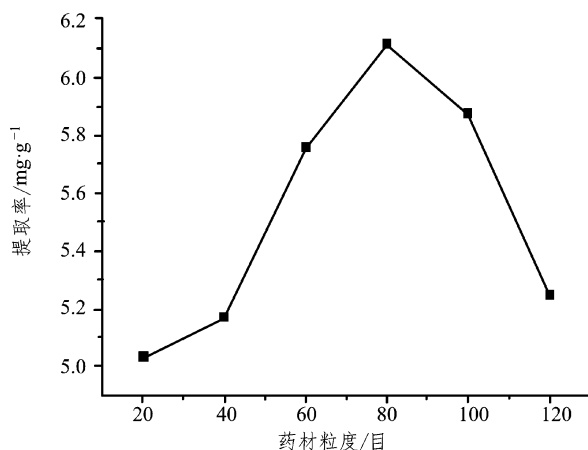


图 2-3 药材粒度对提取率的影响

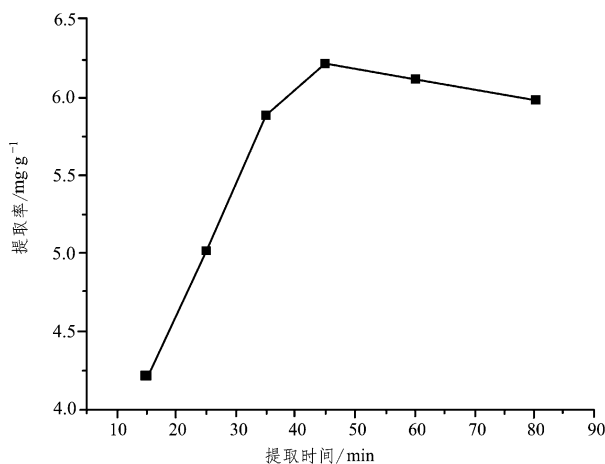


图 2-4 提取时间对提取率的影响

5. 料液比对微波法提取效果的影响

称取过 80 目筛天麻粉，每份 10.00 g，共 5 份，分别采用不同的料液比进行实验，选用 55%乙醇为提取溶剂，提取时间为 45 min，微波功率为 400 W，提取次数为 3 次/h，在微波反应提取装置中进行实验，结果如图 2-5 所示。

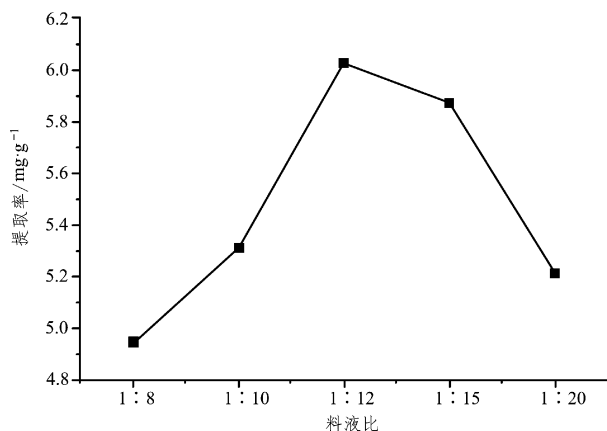


图 2-5 料液比对提取率的影响

6. 提取次数对微波法提取效果的影响

称取过 80 目筛的天麻粉, 每份 10.00 g, 共 5 份, 分别采用不同的提取次数进行实验, 选用 55%乙醇为提取溶剂, 天麻粉、溶剂质量之比=1:12, 提取时间为 45 min, 微波功率为 400 W, 在微波反应提取装置中进行实验, 结果如图 2-6 所示。

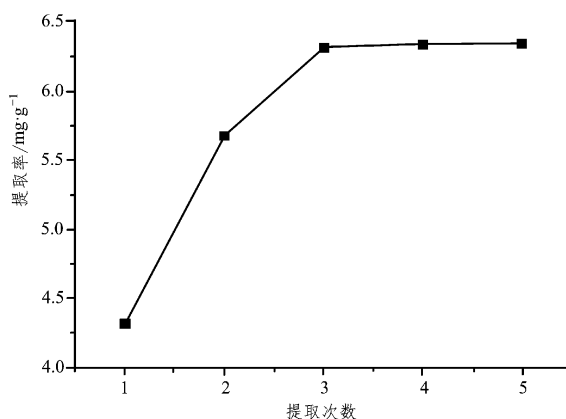


图 2-6 提取次数对提取率的影响

经单因素试验分析结果表明: 选用 55%乙醇为提取溶剂, 天麻的颗粒度为 80 目, 天麻粉、溶剂质量之比=1:12, 提取时间为 45 min, 微波功率为 400 W, 提取次数为 3 次/h, 在该条件下进行微波回流提取得到的天麻素提取率最高, 天麻素提取率为 6.315 mg/g, 达到了最佳效果。该方法相对于传统方法提取时间大大缩短, 提取率较高, 所采用绿色环保的乙醇水溶液为溶剂, 同时实现溶剂回收再利用, 通过实验的重复性和稳定性考察, 说明试验设计与分析方法准确可靠, 能为车间天麻的工业生产提供一定的科学依据和技术支持。另外鉴于实验条件的限制, 无法确定 pH 影响天麻素提取含量的原因, 且是否会影响其分子结构变化还有待进一步的研究, 同时天麻中活性分子的分离纯化、结构鉴定也需要进一步研究。

2.4 天麻中多糖提取

2.4.1 多糖提取及含量测定方法

2.4.1.1 天麻预处理

本实验采用蒸制法处理天麻样品。取质量为 100 g 左右的新鲜雪峰山天麻块茎，洗净，晾干水分后隔水蒸制 20 min，沥干切片，于 80 °C 热风烘干至恒重后粉碎，过筛，待测。

2.4.1.2 提取工艺

1. 工艺流程

新鲜雪峰山天麻干净块茎→蒸制切片→80 °C 烘干恒重→粉碎至 80 目→天麻粉→超声波提取→过滤→离心→上清液→蒸发浓缩→醇沉→离心取沉淀→低温烘干→天麻多糖

2. 条件优化

天麻粉置于烘箱中 80 °C 条件下烘干至恒重，粉碎并过 100 目筛，得到天麻粉后固定其他条件，分别考察料液比（1：4、1：8、1：12、1：16、1：20）、提取温度（30、35、40、45、50 °C）、提取时间（10、20、30、40、50 min）对多糖产量的影响。

2.4.1.3 多糖含量测定

1. 标准溶液配制

称取在 105 °C 下干燥至恒重的无水葡萄糖对照品 33 mg，精确称定，置于小烧杯中，加适量水溶解，转移入 100 mL 容量瓶中，用少量水洗涤烧杯，洗液一并转入容量瓶中，加水稀释至刻度线，摇匀，得到每 1 mL 含无水葡萄糖 0.33 mg 的标准溶液。

2. 标准曲线制作

精确吸取标准溶液 0 mL、1 mL、2 mL、3 mL、4 mL、5 mL、6 mL，分别置于 7 个 10 mL 具塞刻度试管中，先分别加蒸馏水 2 mL、1.9 mL、1.8 mL、1.7 mL、1.6 mL、1.5 mL、1.4 mL，摇匀，在冰水浴中缓慢滴加 0.2% 的蒽酮-硫酸溶液（精确称取蒽酮 0.2 g，溶于 100 mL 浓硫酸中即可）8 mL，混匀，放冷后沸水浴 10 min，取出，立即置于冰水浴中冷却 10 min，取出。用分光光度计在 582 nm 处测定吸光度。

以吸光度（ y ）为纵坐标、葡萄糖浓度（ x ）为横坐标绘制标准曲线，得到回归方程：

$$y=3.6771x+0.0101 \quad r=0.9995$$

3. 多糖测定

精确称取在 80 °C 下干燥至恒重的天麻粉 0.25 g，置于圆底烧瓶中，加入 80%乙醇 150 mL，回流提取 1 h，回流水浴温度 100 °C。趁热过滤，残渣用 80%热乙醇洗涤 3 次，每次 10 mL，将残渣及滤纸置烧瓶中，加水 150 mL，置沸水浴中加热回流 1 h，趁热过滤，残渣及烧瓶用

热水洗涤 4 次，每次 10 mL，合并滤液与洗液，放冷。转移至 250 mL 容量瓶中，加水至刻度，摇匀。精密量取 1 mL，置 10 mL 具塞干燥试管中，加蒸馏水 1 mL，摇匀，再在冰浴中缓慢滴加 0.2% 蒽酮-硫酸溶液 8 mL，混匀，放冷后置于沸水浴中加热 10 min，取出，立即置于冰水浴中冷却 10 min，用分光光度计在 582 nm 处测定吸光度。重复 3 组，取平均值。根据标准曲线，即可求得样品中多糖的含量。计算公式如下：

$$\text{样品含量}(\%) = \frac{C \times V_{\text{总}} \times n}{W \times V_{\text{测}} \times 10^6} \times 100\%$$

式中 C ——有标准曲线上得到的多糖含量， $\mu\text{g/mL}$ ；
 $V_{\text{总}}$ ——提取液的总体积（250 mL）；
 $V_{\text{测}}$ ——测定时取用样品的体积（1 mL）；
 n ——稀释倍数；
 W ——样品质量，g；
 10^6 ——样品质量单位由 g 换算成 μg 的换算系数。

2.4.2 响应面设计与结果分析

2.4.2.1 响应曲面优化实验设计及结果

在单因素试验的基础上，考虑到实验因素对含量的影响是曲线关系，故采用响应面法寻找最佳工艺条件。根据响应面 Box-Behnken 设计原理，选取 A 料液比、 B 提取温度、 C 提取时间共 3 个对含量有影响的参数因子，以单因素试验中最佳水平作为响应面设计的 0 水平设计实验方案，取得实验结果后，采用 3 因子 3 水平的响应面分析法，得到二次回归方程，并找出最佳工艺参数。因素水平见表 2-5，实验设计及实验结果见表 2-6。

表 2-5 Box-Behnken 设计因素编码水平

代码	因素	水平		
		-1	0	+1
A	料液比	1 : 6	1 : 8	1 : 10
B	提取温度/ $^{\circ}\text{C}$	35	40	45
C	提取时间/min	20	30	40

表 2-6 Box-Behnken 实验设计及结果

序号	A 料液比	B 提取温度/ $^{\circ}\text{C}$	C 提取时间/min	含量/%
1	-1	0	-1	0.96
2	0	-1	-1	1.01
3	0	0	0	1.34
4	-1	1	0	0.99
5	1	0	1	1.19

6	1	1	0	1.18
7	0	-1	1	1.16
8	0	0	0	1.35
9	0	0	0	1.32
10	0	1	1	1.15
11	0	1	-1	1.19
12	1	0	-1	1.08
13	0	0	0	1.29
14	-1	-1	0	0.98
15	-1	0	1	1.12
16	1	-1	0	0.99
17	0	0	0	1.33
