

保健食品研究与开发系列

保健食品 工艺学

范青生 主编

aoJian ShiPin
GongYiXue

B

中国医药科技出版社

责任编辑：宋红丽

封面设计： ZSA 中国美术学院设计艺术学院

保健食品 工艺学

ISBN 7-5067-3500-8



9 787506 735001 >

ISBN 7-5067-3500-8

定价：48.00 元

保健食品研究与开发系列

保健食品工艺学

主 编 范青生

副主编 胡居吾 胡 伟 喻长远

编 委 (按姓氏拼音排序)

范青生 付 斌 胡居吾 胡 伟

黄丹菲 雷 玲 刘志勇 马永花

夏 敏 肖小年 辛 欣 喻长远

赵文红 张建民

中国医药科技出版社

内 容 提 要

本书以2005年7月1日起实施的《保健食品注册管理办法(试行)》为准则,系统地介绍了保健食品工艺新政策、新理论、新方法。作者突出实用原则,结合长期从事保健食品研发、生产、监管、审评等方面工作经验,介绍了保健食品工艺学的概念、工艺设计与技术审评要点、生产技术、稳定性研究、包装、工艺学实验方法,并对常见的保健食品剂型(片剂、胶囊剂、保健糖果、蛋白粉、口服液、茶剂、饮料、颗粒剂、保健酒)生产工艺分别作了详细论述,并附有研发申报实例,可作为保健食品企业研发、生产、管理人员的实用参考书,也可作为保健食品相关专业研究生和大学生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

保健食品工艺学/范青生主编. —北京:中国医药科技出版社, 2006.11

(保健食品研究与开发系列)

ISBN 7-5067-3500-8

I. 保… II. 范… III. 疗效食品—生产工艺—研究
IV. TS218

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第100457号

美术编辑 陈君杞

责任校对 张学军

版式设计 程明

出版 中国医药科技出版社

地址 北京市海淀区文慧园北路甲22号

邮编 100082

电话 010-62244206

网址 www.cspyp.cn www.mpsky.com.cn

规格 787×1092mm^{1/16}

印张 29^{3/4}

字数 585千字

印数 1—3000

版次 2006年11月第1版

印次 2006年11月第1次印刷

印刷 北京昌平百善印刷厂

经销 全国各地新华书店

书号 ISBN 7-5067-3500-8/R·2886

定价 48.00元

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换



作者简介

范青生，1963年6月出生。长期从事保健食品的研究、开发与审评工作，为国家食品药品监督管理局保健食品审评专家，南昌大学中德联合研究院、教育部食品科学重点实验室研究员，保健食品方向研究生导师，美国宾州州立大学访问学者，创办了中国保健食品网。已主持或作为骨干参加并完成了已通过国家及省部级鉴定的科研项目20项，在国内外杂志发表论文50余篇，著书6部。



B

aoJian ShiPin
GongYiXue

前 言

保健食品工艺学是根据技术上先进、经济上合理的原则，研究保健食品的原材料、半成品和成品的加工过程和方法的一门新的应用学科，它涉及的内容广泛而复杂，诸如药剂学、中药学、营养学、食品化学、食品微生物学、食品工程原理、食品原料学、食品工艺学理论、保健食品法规和条例、保健食品质量管理等。因此，保健食品工艺的研发需要全方位、多层次的探索和研究，需要了解最新政策与掌握保健食品科学知识。

保健食品的生产工艺不合理是导致注册申报不予批准的主要原因，2005年7月1日施行的《保健食品注册管理办法（试行）》对保健食品注册申报要求大幅度提高，对保健食品的生产工艺要求也有较大幅度的提高，申报资料要求更加科学和详尽。生产工艺不能有效提取主要功效成分和具有申报功能作用的成分或可能造成以上两种成分的大量损失、生产工艺可能产生有害物质、使用的加工助剂及酶制剂不能用于食品加工中、生产工艺无法在实际生产中实施、工艺操作不符合规范等都是致命的错误。我们总结和析了国家食品药品监督管理局接管以来数百项不予批准产品的原因，突出实用原则，结合长期从事保健食品研发、生产、监管、审评等方面工作经验，介绍了保健食品工艺学的概念、工艺设计与技术审评、生产技术、稳定性研究、包装、工艺学实验方法，并对常见的保健食品剂型（片剂、胶囊剂、保健糖果、蛋白粉、口服液、茶剂、饮料、颗粒剂、保健酒）生产工艺分别作了详细论述，并附有研发申报实例，可作为保健食品企业研发、生产、管理人员的实用参考书，也可作为保健食品相关专业研究生和大学生的参考教材。

为了确保信息来源的可靠性和先进性，在编著时作者查阅了许多国内外近年保健食品相关学科书籍和学术期刊，参考了许多现已出版的相关参考书，摘录了部分网上资料，在此一并深表谢忱！由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请同仁来信来电批评指正。有关保健食品的更多信息可从中国保健食品网（www.cnfoods.org）上了解和查询。

范青生

于南昌大学教育部食品科学重点实验室

2006年10月

目 录

第一章 概述	(1)
一、保健食品工艺学的内容和任务	(1)
二、保健食品生产工艺原则	(2)
三、保健食品工艺研究及工艺制定依据	(4)
第二章 保健食品制备工艺	(10)
一、保健食品生产工艺详细说明	(10)
二、保健食品制备工艺的叙述要求	(18)
三、正交设计法	(29)
四、生产工艺注意事项及申报常见问题	(45)
第三章 保健食品生产技术	(54)
一、中药材炮制技术	(54)
二、粉碎技术	(71)
三、筛析技术	(77)
四、提取技术	(79)
五、浓缩技术	(91)
六、干燥技术	(96)
七、灭菌技术	(108)
八、膜分离技术	(128)
九、分子蒸馏技术	(145)
十、超临界流体萃取技术	(151)
十一、微胶囊技术	(158)
第四章 保健食品稳定性研究	(172)
一、保健食品稳定性研究的意义	(172)
二、保健食品稳定性研究的范围	(172)
三、引起保健食品不稳定的因素及解决方法	(173)
四、保健食品稳定性实验	(180)
五、保健食品稳定性实验实例	(184)
第五章 保健食品的包装	(188)
一、包装的目的	(188)

二、包装的作用	(189)
三、包装的分类	(193)
四、包装材料	(193)
五、包装材料相关国家标准	(206)
第六章 工艺学实验方法	(208)
一、水分测定法	(208)
二、片剂的脆碎度检查法	(211)
三、崩解时限检查法	(212)
四、粉体流动性的测定	(214)
五、乙醇量测定法	(216)
六、粉末直接压片配方设计及影响因素考察实验	(217)
七、脂肪与脂肪油及其酸败的相关指标测定	(220)
八、相对密度测定法	(224)
九、灰分的测定法	(225)
第七章 片剂	(227)
一、概述	(227)
二、片剂常用辅料	(228)
三、片剂的制备	(235)
四、片剂制备中可能发生的问题及原因分析	(241)
五、片剂的质量检查	(247)
六、片剂的包装和贮存	(249)
七、片剂的包衣	(249)
八、薄膜包衣存在的问题及解决方法	(253)
九、片剂生产管理规程	(256)
十、片剂批生产管理记录	(258)
十一、片剂制备举例	(266)
第八章 胶囊剂	(275)
一、概述	(275)
二、硬胶囊剂的制备	(276)
三、软胶囊剂的制备	(278)
四、胶囊剂的质量评价及贮藏	(280)
五、胶囊剂制备中存在的问题及解决方法	(282)
六、胶囊剂生产管理规程	(284)
七、胶囊剂批生产管理记录	(286)

八、胶囊制备实例	(301)
第九章 保健糖果	(312)
一、硬糖	(312)
二、软糖	(319)
三、奶糖	(325)
四、淀粉糖浆	(330)
第十章 大豆蛋白粉	(336)
一、大豆蛋白粉的制备	(336)
二、蛋白粉的质量要求	(338)
三、蛋白粉制备实例	(340)
第十一章 口服液	(343)
一、概述	(343)
二、口服液概念和特点	(343)
三、口服液的制备	(343)
四、口服液的质量检查	(349)
五、口服液生产管理规程	(350)
六、口服液批生产管理记录	(352)
七、口服液制备举例	(360)
第十二章 茶剂	(369)
一、概述	(369)
二、茶剂的类型与制备	(369)
三、茶剂的质量检查	(370)
四、茶剂制备实例	(370)
第十三章 保健饮料	(376)
一、概述	(376)
二、保健饮料的制备	(376)
三、保健饮料的质量检查	(378)
四、保健饮料生产管理规程	(378)
五、保健饮料制备实例	(381)
第十四章 颗粒剂	(384)
一、概述	(384)
二、颗粒剂的辅料	(387)
三、颗粒剂的制备	(388)

四、颗粒剂的质量要求·····	(390)
五、颗粒剂生产管理规程·····	(391)
六、颗粒剂批生产管理记录·····	(393)
七、颗粒剂制备实例·····	(396)
第十五章 保健酒 ·····	(403)
一、概述·····	(403)
二、保健酒的制备·····	(405)
三、保健酒的质量保证·····	(406)
四、保健酒生产管理规程·····	(408)
五、保健酒制备实例·····	(410)
附录 ·····	(413)
附录一 保健食品注册管理办法(试行)·····	(413)
附录二 预包装特殊膳食用食品标签通则·····	(426)
附录三 定量包装商品净含量计量检验规则(JJF 1070-2005)·····	(432)
参考文献 ·····	(468)

第一章 概 述

保健食品的生产工艺不合理是导致产品不合格的主要原因，也是导致保健食品注册申报不予批准的主要原因，2005年7月1日施行的《保健食品注册管理办法（试行）》对保健食品注册申报要求大幅度提高，对保健食品的生产工艺要求也有较大幅度的提高，申报资料要求更加科学和详尽。生产工艺不能有效提取主要功效成分或可能造成功效成分的大量损失、生产工艺可能产生有害物质、使用的加工助剂及酶制剂不能用于食品加工中、生产工艺无法在实际生产中实施、工艺操作不符合规范等都是致命的错误。因此，必须重视保健食品的生产工艺，掌握这门学科知识。

一、保健食品工艺学的内容和任务

保健食品工艺学是根据技术上先进、经济上合理的原则，研究保健食品的原材料、半成品和成品的加工过程和方法的一门应用科学。从这样一个概念出发，首先提出了这门学科所要遵循的原则，是技术上先进、经济上合理。因此，本门学科的研究既需要有技术观点，又需要有经济观点。技术观点，即所谓技术上先进，包括工艺先进和设备先进两部分。要达到工艺上先进，就需要了解和掌握工艺技术参数对加工制品品质的影响，实际上就是要掌握外界条件和食品生产中的物理、化学等学科之间的变化关系，切实掌握物理学、化学和生物学方面的知识，特别是生物化学、食品化学和微生物学方面的基础知识。在这个基础上，才能将其中发生的变化和工艺技术参数的控制联系在一起，主动地进行控制，达到工艺控制上的高水准。设备先进包括设备自身的先进性和对工艺水平适应的程度，一般地说，这是设备制造行业的任务。但工艺技术的研究则应该考虑到设备对工艺水平适应的可能性，因此需要了解有关单元操作过程的一般原理，掌握化工原理或食品工程原理等学科，并初步了解机电方面的相关知识，以对设备的水平进行判断。

保健食品工艺学，是运用食品科学及药剂学原理研究保健食品资源的选择、加工、包装、保藏及流通过程中的各种问题，探索解决问题的途径，实现生产合理化、科学化和现代化，为人类提供卫生安全、具有某种功效、品质优良、种类繁多、食用方便的保健食品的一门学科。

保健食品工艺学的主要任务可以归纳为以下6个方面：

(1) 研究充分利用现有普通食品资源、国家规定的可用于保健食品的原料和开辟保健食品新资源的途径；

- (2) 探索保健食品生产、流通和销售过程中保健食品变质的原因及其控制方法；
- (3) 改进保健食品包装，提高保健食品的保藏质量，以便于运输、储存和消费；
- (4) 开发新型保健食品；
- (5) 以提高保健食品质量和生产效益为目标，研究合理的保健食品生产组织、先进的生产方法及科学的生产工艺；
- (6) 研究并提出保健食品工厂的综合利用和废弃物处理方案。

保健食品工艺学涉及的内容广泛而复杂，诸如药剂学、中药学、营养学、食品化学、食品微生物学、食品工程原理、食品原料学、食品工艺学理论、保健食品法规和条例、保健食品质量管理等。

二、保健食品生产工艺原则

确定正确的生产工艺，是保证保健食品能否顺利投入生产和保证产品质量的基本条件，有些保健食品在进行研制和开发时，往往在实验室或者较小试验规模情况下制备，其功能学评价、产品质量等指标相当满意，可在正式工厂化生产时，往往会出现各种问题，或者是生产难度较大，或者质量不稳，或者功效不理想等。出现这些问题的原因很多，但往往是生产工艺不合理，有的研制者在研制出的保健食品后，没有经过中间试验，就直接投入工业化生产，难免会出现问题或造成失败。

为什么实验室研究和工业化生产之间存在着很大的差别呢？原因是不论所处的工作环境和条件、原料和设备，还是所处理的物料的数量及方法，都不在一个水平上，在实验室能够成功的实验到生产中不一定能够成功，实验室中能达到的纯度和质量指标在工厂中就可能难以达到。因此，一个产品从实验室到工厂生产，必须经过中试才行，其中工艺比较复杂，生产条件要求较严格的还需经过多次放大试验。中试的目的是检验小试确定的工艺是否合理，确定最佳工艺条件和工艺参数，确定适用的设备、考察水、电、汽的消耗量及生产率等，从而计算产品的成本。通过中试确定正确的生产工艺，并依据中试数据编制可行性研究报告。

在确定生产工艺时，应掌握以下原则^[1]：

1. 生产工艺应合理、稳定、成熟，适合工业化生产

生产工艺必须合理、稳定、成熟。因为一经确定生产工艺，并在申报、审批过程中通过，生产中就必须按照申报所批准的工艺组织生产，不得随意改动。工艺的改变往往会造成产品质量的改变并影响产品的功能。

生产工艺必须适合工业化生产，一些工艺在小试中可行，但生产中可能行不通。例如利用乙醚脱脂或乙醚提取某些功效成分，在实验室中问题不大，但在工厂生产中由于乙醚的高度挥发性和易燃性，就很难采用。在小试中，液体物料的转移传送常用人工，而在生产中就不合适，需要设计物料的传送方式与传送设备。有时，在实验室中，提取

液含有较多的杂质，或者黏性较大，由于数量小，可以花很长的时间分离。但在生产中可能会造成分离困难，影响生产的顺利进行，就得考虑改变提取溶剂或改变提取条件或采取其他一些措施。总起来说，在设计生产工艺中，一定要从工厂化生产出发，保证生产的顺利进行。

2. 生产工艺不能对产品的功能产生不利影响

功能性是保健食品区别于普通食品的一个最重要的特点，生产工艺对功能具有重要影响。首先，要考虑功效成分能否提取出来，提取是否完全。按中医药理论作用的要求，分析处方的内容和复方各药味之间的关系，参考各药味所含成分的理化性质及药理作用的研究结果，根据与作用相关的有效成分或有效部位的理化性质，结合剂型制备上的要求，进行提取和制剂的工艺路线的设计和筛选。如某些具有活血化瘀功能的药物，根据其理化性质的研究结果，已知其活血化瘀的有效部位为水溶性，因此工艺设计可以其水溶性成分的提取为主。

如果功效成分在水中的溶解度比较小，而采用水提法，虽然提取了许多水溶性成分，但功效成分却提出不够，则会影响功能效果；而采用醇提法，则一些不溶于的成分也难提出，因此必须根据功效成分的溶解性采用合适的溶剂。有的物料提取比较缓慢或者提取困难，则可考虑在工艺进行前处理，如进行脱蜡或破壁，选择生物酶进行酶解以提高提取效率并加快提取速度。有些成分在不同 pH 条件下提取效率差别很大，工艺上应确定其适宜的 pH 条件。其次，工艺条件不应该使营养成分和功效成分受到破坏。在不少食品加工厂中，这一条常常被忽略，造成保健食品的营养价值和功能作用大打折扣。例如，过高的温度、过长的加热时间、不适宜的酸碱度、局部的过热，都会造成某些成分的氧化、分解，导致产品功能降低。为了最大限度地保存营养和功效成分，常采用减压蒸馏、低温分离、低温干燥等工艺，特别是对于含有不稳定成分的物料，更要特别注意。有时常用添加保护剂的方法，如抗氧化剂、大分子包膜剂等防止不稳定成分的损失。如果需要用同一种溶剂从几种原料中进行提取，但几种原料提取难易不同，最好不要混合提取。混合提取虽然工艺简单，但是难确定合适提取条件。条件温和、时间短，有的原料提取不充分；条件强烈、时间过长，又会造成易提取物质成分的破坏。比较合理的工艺是分别提取和处理，再进行混合。

3. 工艺连续性强，尽量减少手工操作

为了提高保健食品的质量水平和卫生标准，其生产不能停留在作坊式水平上，其工艺流程应尽可能连续化、自动化，最好是程控化。原料的清洗、去杂、粉碎最好采用机械，物料传送应用传送带和管道，温度和压力控制应自动化，前后工序的衔接应合理。工艺中尽量减少笨重的体力劳动，减少用手接触物料，减少食品受污染的机会。

4. 工艺简单、流程简捷

保健食品的生产工艺以能生产出高功效、高品质的产品为目的，能以较简捷的流程

达到目的就无需追求复杂的工艺流程。工艺流程越长、工序越多，就越增加生产的成本，增加原料的损耗和产品受污染的机会。如果同一产品有几个不同的工艺流程可以利用，应选工艺相对简单、技术容易掌握、成本低、质量好的工艺。如果利用水提取同用有机溶剂提取相差不大，尽量采用水提法；用常温常压可达到要求的，就不用高温高压。功效成分作为食品的一个原料，不需要高度纯化就可以的情况下，就没有必要增加精制纯化工序。总之，保健食品生产工艺应该简捷、方便。但是，必需的工艺程序不能随便省去，否则会对产品造成不利影响。

5. 运行成本低

运行成本是产品成本的重要组成部分，保健食品的生产工艺应该考虑运行成本的高低。一般来说，用有机溶剂提取成本高于水提法，电耗、汽耗、水耗等不同耗能方式，也影响产品的成本。例如，干燥常是生产中耗能最高的工序，工艺中应考虑能耗较低的方法，如低温流化床。溶液喷雾干燥耗能很大，常将溶液先进行真空浓缩，提高料液中固形物含量，再进行喷干，这样就减少了喷雾干燥中水分的蒸发量，可节省大量的热能电能。

6. 尽可能采用先进技术和先进设备

我国食品生产技术相对比较落后，在进行保健食品生产时，应采用一些先进技术。新的先进技术有助于：提高产品的质量，提高效率，增强产品的功能，工艺设计时应给予应有的关注。

7. 有利于环境保护

生产所用的溶剂和生产后的残渣不得污染和破坏生态环境。

正确的工艺包括有机溶剂的回收利用、余热的利用和水、汽的循环利用，也有利于降低工厂运行成本。保健食品各种各样，正确的生产工艺不一定都考虑上述7条，但至少应保证生产上可行，功能可靠，产品质量有保证，并尽量降低生产成本。只有合理、稳定、可靠的生产工艺，才能保证产品的稳定和可靠。

三、保健食品工艺研究及工艺制定依据

保健食品工艺制定不能凭经验，必须提供工艺研究依据，依据可以是文献依据，也可以是申请者自行研发数据。按中医药理论作用的要求，根据与作用相关的有效成分或有效部位的理化性质，结合剂型制备上的要求，进行提取和制剂的工艺路线的设计和筛选。

此项资料是反映保健食品研制过程中对其主要药味或制剂的最终产品与质量有关的理化性质研究的内容。一般包括文献资料查考的内容和研制单位本身的实验研究材料。制剂工艺的研究和质量标准的制订均应在此资料的基础上进行，可引述文献报道的资料。

查阅文献资料应注意文献来源的原始性和数据的可靠性,对间接引述的文献资料引用时尤应注意其真实性。引用文献应结合保健食品研制的实际,如制剂中某一药材的药用部位是根,则一般不必引述该植物其他部位的无关资料,文献记述的成分应考虑在研制的新药制剂中该种成分是否确实被提取出来和是否确实最终产品中存在,如白术含苍术酮,但如用水煎煮则不可能提取出来,或者即使提取出来也已破坏,所以,虽然文献报道白术含有此成分,但在研制的制剂中此成分是不存在的,因此要求在引用文献资料时,还需对研制的样品作必要的试验加以验证,以保证引用文献有针对性;又如含女贞子的制剂,文献报道含有齐墩果酸,但如该制剂是采用水提取的工艺,则齐墩果酸难以溶出,成品中是否存在此成分,必要时需要以试验验证;如为该制剂中的主要组分,而文献查到的成分又未被提取出,则需要尽可能地探索其有效成分或有效部位,在申报时,应有研究资料并加以说明。

(一) 以菌草灵芝孢子油超临界 CO₂ 萃取工艺研究为例的研究数据报告

通过对菌草灵芝孢子油超临界 CO₂ 萃取工艺的研究,确定了萃取温度、萃取压力、萃取时间等最佳参数,并对提取物中的三萜类物质进行了定量测定。结果表明:最佳萃取条件为萃取压力 28MPa,萃取温度为 45℃,萃取时间为 2.5 h,CO₂ 流量为 35 kg/h,此时提取率达到 24.82%;在最佳萃取条件下,孢子油中三萜类物质含量为 30.25%。

菌草灵芝是利用人工栽种的像草、五节芒、芦苇和巨菌草等为原料生产灵芝,这些原料来源丰富,价格低廉,大大降低了成本,而且在栽培过程中不需要木材,此技术避免了大量砍伐树木而导致生态平衡的破坏,本技术已获得了国家发明专利,已逐渐在全国推广。菌草灵芝的孢子粉的产率高于段木灵芝的孢子粉的产率。

灵芝孢子粉是近年来研究比较多的物质。现代研究已证实了灵芝孢子粉具有抗癌作用、免疫作用、保肝作用、降血糖作用、抗缺氧作用、对神经系统的作用、抗炎作用和清除自由基作用等功能。

超临界 CO₂ 萃取技术是食品工业新兴的一项萃取,分离和纯化的技术。与传统的化学溶剂萃取法相比,其优越性有:①无化学溶剂消耗和残留、无污染、避免萃取物在高温下的热裂解、保护生理活性物质的活性;②工艺简单、能耗低,萃取剂无毒、易回收。

本实验研究了超临界 CO₂ 萃取菌草灵芝孢子油的工艺,确定了萃取温度、萃取压力、萃取时间等最佳参数,并对提取物中的三萜类物质含量用分光光度法进行测定。

1. 材料与amp;方法

(1) 材料和仪器 菌草灵芝孢子粉由福建将乐菌草灵芝生物工程有限公司提供;CO₂ 纯度 99.5% 以上;HA121-50-01 超临界萃取装置(江苏南通化安超临界萃取有限公司)。

无水乙醇、乙酸乙酯均为分析纯；752C型紫外分光光度计（上海第三分析仪器厂）；TG-328型半自动电光分析天平。

(2) 超临界 CO₂ 萃取工艺 原料→破壁→制粒→干燥→过筛→称重→装萃取槽→控制适宜的工作参数→静态、动态萃取→降压分离→由分离柱获得淡黄色孢子油→计算得率。

①孢子粉破壁 由江苏省大丰市恒康生物科技有限责任公司超微粉碎，破壁率达到99.5%。

②制粒 为了保证提取的出油率和产品的质量，制粒时用30%~40%乙醇水溶液作黏合液，若直接采用破壁的灵芝孢子粉进行超临界 CO₂ 萃取，由于少量孢子微粉进入孢子油中，即使经过离心分离，还有微量孢子粉残留在油中，使孢子油的色泽偏深。

③干燥 制粒后在45~50℃温度下，进行减压干燥或真空干燥5~6h，使颗粒的含水量小于5%。如果颗粒的含水量大于5%，不但孢子油的得率低，而且容易造成循环系统结冰而导致 CO₂ 气路堵塞。

(3) 萃取参数研究方法

①单因素对提取率的影响 用水分含量和粒度相同同批制备的等量原料，分别研究萃取压力（20~32MPa）、萃取温度（30~45℃）、萃取时间（2~3h）对萃取率的影响，从而确定最佳参数。

②提取率的计算 $\text{提取率} = (\text{孢子油的重量} \div \text{孢子粉的重量}) \times 100\%$

2. 结果与分析

(1) 萃取压力对提取率的影响 在45℃、2h、CO₂ 流量为35 kg/h的条件下，分别研究20、24、28、32MPa压力对提取率的影响，结果以28MPa压力最佳，得率达23%。

在相同的温度和其他条件下，增加压力可以增加 CO₂ 的密度，对溶质（孢子油）的溶解能力增强，减少了物质间的传质距离，增加了传质速率和浓度差，有利于物质的萃取。但实验发现随着萃取压力的增加，提取率并不成线性增长关系。同时根据设备的压力使用范围和操作费用，萃取压力选择为28MPa较为适宜。

(2) 萃取温度对提取率的影响 在28MPa、2h、CO₂ 流量为35 kg/h的条件下，分别研究30℃、35℃、40℃、45℃对提取率的影响，结果45℃萃取温度最佳。

萃取温度对萃取效果具有双重的影响：温度升高，有利于溶质挥发性的增加和提高物料的扩散系数，有利于孢子油的萃取；但是另一方面，在达到一定温度后继续升高温度又降低了 CO₂ 的密度和浓度，从而导致 CO₂ 的溶解能力的降低，对萃取不利。因此，根据实验结果，萃取温度选择为45℃较为适宜。

(3) 萃取时间对提取率的影响 在28 MPa、45℃、CO₂ 流量为35 kg/h的条件下，分别研究1h、2h、2.5h、3h对提取率的影响，结果说明，萃取时间的延长，有利于孢子油的萃取。但实验发现经过一段时间（2.5h）后，继续延长时间，提取率增大幅度很