

# 前言

茯苓为多孔菌科真菌茯苓 *Poria cocos* (Schw.) Wolf 的干燥菌核，其药性平和，不伤正气，内至脏腑，外达肌肤，凡水、湿、痰诸症均可应用，对症不论寒热虚实，不分四季，可与多种药物配伍，发挥其独特功效，古人称为“四时神药”。

茯苓作为中药和膳食补充剂已有两千多年历史，其以“服零”之名首载于《五十二病方》“干骚（瘙）病”治疗。《史记·龟策传》及《淮南子》中分别称“伏灵”“女萝”，东汉《神农本草经》记为茯苓并沿用至今。在中药材发展历程中，茯苓始终是历代本草关注及广泛收载的重要品种。随着应用深化，衍生出茯苓皮、茯神等不同药用部位，出现白茯苓与赤茯苓的分化及合并。

茯苓在中医药领域应用广泛，中医临床配伍使用频次居首。《中医方剂大辞典》中有茯苓相关配方 12 310 个、茯神相关配方 1648 个、茯苓皮相关配方 72 个，故有“十方九茯苓”之说。茯苓是近 300 种中成药、700 余种保健食品的主要原料。国家中医药管理局两批《古代经典名方目录》收载的 193 首经典名方中，茯苓达 34 首，占比较高。

茯苓作为优质食品资源和化妆品工业原料，备受历代医家、道家及养生家重视。宋代文学家苏轼制作茯苓饼的方法传承至今，杜甫、陆游分别写下“知子松根长茯苓，迟暮有意来同煮”“松根茯苓味绝珍，甑中枸杞香动人”的诗句。目前，茯苓馒头、茯苓饺子等药膳已融入养生日常，茯苓夹饼更成为京华风味小吃及文旅佳品。此外，茯苓在化妆品领域应用广泛，国家批准使用的茯苓及其提取物化妆品原料有 7 个，以其为原料的国产化妆品达 256 个。

云茯苓不仅是全国茯苓中产量与品质的佼佼者，也是云南中药材产业的名片。古籍记载，茂州、雍州、郁州、华山、嵩山、太山等地（今四川、陕西、山西、河南、山东一带）有野生茯苓。南北朝时期，今江苏地区开始探索茯苓栽培技术。随社会变迁、气候变化及栽培技术提升，浙江及安徽大别山一带开始广泛种植茯苓。明清时期，以云贵茯苓品质为佳，尤以云南天然产品最优。《本草衍义》首载“云茯苓”，其后《本草汇》《本草从新》等均记载茯苓“产云南”，1930 年《药物出产辨》明确茯苓道地性及商品规格：“以云南产者为云苓，最正地道。”目前，云南省云茯苓栽培面积 10 万余亩，产量 4 万吨，占全国总产量的 70% 以上。

云茯苓是十大云药之一，是生物多样性真菌类资源中的瑰宝，也是云南省政府大力发展的道地药材品种。本书从茯苓的研究概况、团队近年来关于云茯苓的系列研究

出发,详细阐释云茯苓道地性科学依据;汇集了团队在优质菌种选育、松木资源替代方面的研究进展,解析了茯苓三萜及水溶性多糖的新活性,拓展了茯苓总多糖的交叉创新应用;同时,系统阐述了茯苓药材质量的评价方法,茯苓组方配伍规律的深度挖掘及茯苓活性单体作为先导化合物的药效评价,并展示了茯苓在健康产品领域的应用开发等研究成果,希望为业内同仁提供参考,助力云茯苓产业健康发展。

本书分为上、下篇。上篇为茯苓研究概要,主要梳理、总结茯苓研究文献的整体进展情况;下篇为云茯苓创新研究纪实,主要展现课题组近十年来在云茯苓研究领域取得的成果。本书在编撰过程中,参考了《中华人民共和国药典》(2025年版)、《中华道地药材》、《中国大型真菌》等书籍及中国知网等数据库资料。由于参考资料较多和编撰工作量大,编者专业水平有限,书中疏漏和不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

本书编写得到了国家自然科学基金(项目编号:82104381、82160748、82460794、82574650)等项目支持,在此表示感谢。

编 者

2025 年 12 月

# 目 录

## 上 篇 茯苓研究概要

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第一章 茯苓资源 .....               | 3  |
| 第一节 国内茯苓资源 .....             | 3  |
| 第二节 国外茯苓资源 .....             | 5  |
| 第二章 茯苓人工种植 .....             | 6  |
| 第一节 茯苓人工种植历史 .....           | 6  |
| 第二节 茯苓生物学特性与育种 .....         | 7  |
| 第三节 茯苓种植技术 .....             | 11 |
| 第三章 茯苓采收、加工与炮制 .....         | 16 |
| 第一节 茯苓采收 .....               | 16 |
| 第二节 茯苓加工 .....               | 16 |
| 第三节 茯苓炮制 .....               | 18 |
| 第四章 茯苓质量标准及商品规格等级标准 .....    | 20 |
| 第一节 茯苓质量标准 .....             | 20 |
| 第二节 茯苓商品规格等级标准 .....         | 40 |
| 第五章 茯苓性味归经及功能主治 .....        | 43 |
| 第一节 本草古籍记载性味归经与功能主治 .....    | 43 |
| 第二节 现代标准、文献记载性味归经与功能主治 ..... | 45 |
| 第六章 茯苓化学成分 .....             | 49 |
| 第一节 多糖类 .....                | 49 |
| 第二节 三萜类 .....                | 51 |
| 第三节 甾醇类 .....                | 59 |
| 第四节 其他类 .....                | 62 |
| 第七章 茯苓药理作用 .....             | 66 |
| 第一节 对心血管系统的作用 .....          | 66 |
| 第二节 对泌尿系统的作用 .....           | 69 |
| 第三节 对中枢神经系统的作用 .....         | 72 |
| 第四节 对消化系统的作用 .....           | 74 |
| 第五节 抗炎与免疫调节作用 .....          | 76 |
| 第六节 对糖代谢的调控作用 .....          | 77 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第七节 美白、抗氧化与抗衰老作用····· | 77  |
| 第八节 抗肿瘤作用·····        | 79  |
| 第九节 其他作用·····         | 80  |
| 第八章 茯苓方剂临床应用·····     | 82  |
| 第九章 茯苓保健产品研发·····     | 132 |
| 第一节 茯苓保健/健康食品研发·····  | 132 |
| 第二节 茯苓药膳研发·····       | 133 |

## 下 篇 云茯苓创新研究纪实

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| 第十章 云茯苓育种与生态种植·····                           | 140 |
| 第一节 云茯苓优质菌种选育·····                            | 140 |
| 第二节 云茯苓菌种评价体系的构建·····                         | 153 |
| 第三节 云茯苓生态种植·····                              | 156 |
| 第十一章 云茯苓药效物质及药效机制研究·····                      | 162 |
| 第一节 云茯苓调节线粒体缓解代谢相关脂肪性肝病的药效及有效成分·····          | 162 |
| 第二节 云茯苓来源的细胞外囊泡对代谢相关脂肪性肝炎的干预及机制研究·····        | 172 |
| 第三节 云茯苓主要化学成分对高脂高糖饮食诱导脾虚大鼠的干预作用及机制研究·····     | 180 |
| 第四节 云茯苓中两种三萜酸调节胆汁酸代谢缓解代谢相关脂肪性肝病的<br>机制研究····· | 201 |
| 第十二章 云茯苓质量评价研究·····                           | 227 |
| 第一节 云茯苓、云茯苓皮、云茯苓神的总三萜、总多糖比较研究·····            | 227 |
| 第二节 云茯苓、云茯苓皮、云茯苓神的水提物化学成分·····                | 229 |
| 第三节 云茯苓定量指纹图谱研究·····                          | 243 |
| 第十三章 云茯苓健康产品研发·····                           | 250 |
| 第一节 云茯苓芡实莲子饼干·····                            | 250 |
| 第二节 云茯苓黄芪挂面·····                              | 252 |
| 第三节 雪花云茯苓饼·····                               | 254 |
| 第四节 云茯苓药膳·····                                | 255 |
| 第十四章 云茯苓资源的创新应用研究·····                        | 258 |
| 第一节 茯苓酸性多糖及其衍生物在高效液相色谱手性固定相中的应用·····          | 258 |
| 第二节 茯苓酸性多糖手性固相萃取柱的制备及其手性拆分性能评价·····           | 264 |
| 第三节 茯苓多糖作为药物载体的应用潜力·····                      | 266 |
| 参考文献·····                                     | 268 |

上 篇

茯苓研究概要



## 第一章

# 茯苓资源

茯苓是多孔菌科真菌茯苓 *Poria cocos* (Schw.) Wolf 的干燥菌核，多寄生于气候凉爽、干燥、向阳山坡上的马尾松、黄山松、赤松、云南松、黑松、思茅松等松科植物根下 20~30cm 处。茯苓分布广泛，我国为茯苓最大的主产国，亚洲其他国家及美洲、非洲等地也均有分布。

## 第一节 国内茯苓资源

我国地域辽阔，优越的自然条件使得茯苓遍布各地，且有着悠久的种植历史。

### 一、茯苓主要产区

茯苓野生资源主要分布于云南、安徽、湖北、河南、贵州、四川、广西、广东、福建、浙江、湖南、重庆、陕西、江苏、山东、辽宁、台湾等地。据考证，茯苓栽培最早出现于我国北方，至今已有 1500 余年历史，因战争、气候变化等原因，栽培区域逐步南移至鄂、豫、皖交界的大别山地区。随着栽培技术的改进及推广，茯苓产区进一步扩展至云南、湖北、四川、广东、广西、江西、浙江、福建等省区。

云南省具有亚热带、中亚热带、北亚热带、暖温带及高原气候等多个气候类型，特殊的地理位置孕育了丰富的自然资源，被称为“植物王国”。云南省自然分布着种植茯苓所需的云南松和思茅松，且资源丰富，为茯苓种植发展提供了保障，也使其成为我国茯苓的最大产区。楚雄彝族自治州、玉溪市、普洱市、大理白族自治州、怒江傈僳族自治州、迪庆藏族自治州等地均有茯苓分布，人工栽培产区主要在楚雄彝族自治州、普洱市、丽江市、临沧市、保山市等地。

安徽省为茯苓栽培的另一大产区，主要分布于皖西大别山区的安庆市岳西县、潜山市、六安市金寨县、霍山县等地。其中，岳西县、潜山市是大别山区茯苓的最早栽培地点，发展至今形成了以岳西县、金寨县为中心的安徽大别山茯苓生产基地，茯苓也是“十大皖药”之一。

湖南省靖州苗族侗族自治县地处云贵高原边缘，湿润的气候和丰富的森林资源非常适宜茯苓的栽培，于 20 世纪 60 年代开始栽培茯苓。但湖南产区茯苓栽培规模较小，且相对不集中，其行业影响力在于拥有全国最大的茯苓交易流通中心——靖州茯苓大市场，因此

有“中国茯苓之乡”的美誉。2024 年该中心集散鲜茯苓 10 万吨，干茯苓 6.2 万吨，集散量占全国总量的 70%以上，年均产值近 30 亿元。

湖北省也是茯苓道地药材产区，生产历史悠久，产地主要分布在黄冈市、宜昌市、恩施市、襄阳市、十堰市等地。其中黄冈市九资河镇生产的九资河茯苓，作为中国国家地理标志产品出口至日本及东南亚、欧洲各国。

贵州省黔东南苗族侗族自治州森林资源丰富，且冬无严寒、夏无酷暑，是国家重点中药材生产基地，茯苓的栽培遍布全州 16 个县市，其中黎平县、从江县、榕江县、天柱县等地栽培面积最广，是贵州茯苓重点产区及全国著名产区。

四川产区茯苓栽培规模较小，但呈逐年上升趋势，主要集中于拥有“秦巴药库”之称的广元市及宜宾市、巴中市、西昌市。其他地区如广西壮族自治区百色市，广东省江门市、佛山市、韶关市等地均有少量栽培。

茯苓资源的分布呈以云南和大别山两个道地主产区为中心逐渐向四周扩散的趋势，尤其以云南种植范围最广。茯苓药材的特殊性在于产地趁鲜、异地加工。目前，国内公认的两大茯苓集散地分别位于湖南省怀化市靖州苗族侗族自治县与安徽省安庆市岳西县，全国每年约 90%以上的鲜茯苓通过药商运往两地进行加工，再销往国内外各大企业及药材市场，这一业态持续多年。值得关注的是，近 3 年来，云南省普洱市景谷县与楚雄彝族自治州双柏县已初步形成云南茯苓两大集散中心，加之云南得天独厚的气候优势，未来也有望带动云南本地茯苓加工产业。

## 二、茯苓产量

尽管茯苓每年的药用和食用需求量都较大，但我国茯苓产业供需稳定，自给自足能力强，受国内外市场需求驱动显著。自 2016~2021 年以来，茯苓产量稳步上升，尤其是 2019~2021 年间，显示出强大的市场潜力和生产能力。到 2022 年，尽管总产量较 2021 年下降 4.1%，但仍保持在高位，达到 25.2 万吨。

## 三、茯苓品质与品牌

茯苓在我国各大历史产区形成了不同的特性和品质。云南茯苓以其生长环境得天独厚、肉质饱满、色泽纯正、香气浓郁而以“云苓”著称。安徽所产茯苓因质优且特色明显，被称为“安苓”。贵州则因所产茯苓具有特殊的香气和口感，品质上乘，曾荣获外贸部颁发的“优质产品证书”和“出口免检证书”。湖北茯苓因其种植历史悠久、产量稳定、品质优良而闻名。甘肃、四川两地的特色茯苓种植，产量大，品质出众，受到市场的广泛认可。黑龙江、吉林等地具有丰富的茯苓野生资源，也有一定的栽培面积。山西、河南等地同样有着悠久的茯苓种植历史，且规模不断扩大，产量和品质逐年提升。上述产地茯苓不仅在产量上占据优势，更在品质上有着各自的出色表现，不仅在国内市场占有重要地位，还远销海外，受到国际市场的一致好评。



全国通过认证的茯苓 GAP 基地共有 3 个, 分别属于北京同仁堂湖北中药材有限公司、九州通医药集团公司和湖南补天药业股份有限公司。2022 年新的 GAP 发布, 云南省普洱良品益康药业有限公司 3 个茯苓种植基地评价结果符合规定, 这些企业大大推动了当地茯苓规范化栽培水平。通过查询农业农村部及国家知识产权局等相关网站, 截至 2025 年 1 月, 国内与茯苓相关的国家地理标志保护商标包含九资河茯苓、英山茯苓、靖州茯苓、商茯苓、岳西茯苓、黎平茯苓、昭化茯苓 7 个, 涉及湖北、湖南、河南、安徽、贵州、四川等省区。后续各地区应充分发挥“国家地理标志”的基础优势, 完善产业链, 使茯苓产业成为当地特色经济产业。

## 四、茯苓进出口

茯苓是我国大宗药食同源药材之一, 畅销国内外市场。2011~2020 年, 我国茯苓国际贸易以出口为主, 伴有少量进口。2018 年以前, 我国内地茯苓年出口总量总体下降, 2018~2020 年出口量趋于平稳, 主要出口至日本、韩国、越南、马来西亚等国家, 占出口总量的 97.50%。出口茯苓来源于我国内地 29 个省区, 主要为云南、安徽、广西、湖北、四川和湖南, 占出口总量的 84.14%。进口茯苓主要来源于朝鲜、马达加斯加、韩国, 主要进口省份为吉林、辽宁、安徽、江苏和河北。

## 第二节 国外茯苓资源

茯苓在全世界较多地区均有分布, 全球生物多样性信息网络中国节点 ([www.gbifchina.org.cn](http://www.gbifchina.org.cn)) 及文献检索显示, 除我国之外, 亚洲、美洲、非洲等国家均有茯苓分布。其中, 亚洲的韩国、朝鲜、日本、印度、越南、缅甸、马来西亚等, 美洲的美国、加拿大, 非洲的马达加斯加、南非、赞比亚等国家均有茯苓栽培及使用记载。2015 年, 来自湖南省靖州苗族侗族自治县的茯苓纯菌丝种“湘靖 28 号”首次落根马达加斯加并大获成功。由于当地气温较高, 在湖南生长期为 1 年的茯苓, 在非洲只需 9 个月即可采挖, 且深受非洲药材商青睐。2016 年, 靖州茯苓又被推广至南非, 同年, 马达加斯加和南非共种植茯苓 200 万窖, 鲜茯苓年产量达 5000 吨, 2017 年的年产量超 1 万吨。

茯苓也是日本重要的药材之一, 用于多种汉方药, 如桂枝茯苓丸、牛车肾气丸、五苓散等。《日本药典》收录了药材茯苓菌核、茯苓粉及复方桂枝茯苓丸。

## 第二章

# 茯苓人工种植

茯苓作为一种常见的中药材及兼具药用与食用价值的资源，在中医临床治疗、中成药制剂、保健食品生产及食品原料领域中得到了广泛应用，并且在国际贸易中占有相当数量的出口份额。茯苓的年需求量较高，但野生资源蕴藏量较小，可利用资源极少。因此，临床和生产中使用的茯苓主要依赖于人工种植。茯苓种植主要原料为以马尾松、云南松等为主的松木，然而茯苓种植转化率仅占松木的 20%~30%，对松木资源消耗极大。因此，为保障茯苓种植的产量和质量，必须全面地了解茯苓种植全过程。

## 第一节 茯苓人工种植历史

### 一、茯苓来源

基于古人的时代限制和认知差异，结合所见所闻的野生茯苓生长环境和生态习性，认为茯苓有三种来源。一是“松脂形成说”。此说法出现较早，并一直贯穿于古籍记载。西汉的《淮南子·说林训》云：“茯苓掘，兔丝死”，注云：“松脂入地，千岁为茯苓”；《典术》记述：“茯苓者，松脂入地，千岁为茯苓，望松树赤者下有之”；《本草述钩元》记载：“茯苓是古松流肪入地，久得霜露泉壤之精气而成。”在《记事珠》中，茯苓被记为“松腴”，《说文解字》记：“腴，腹下肥也，从肉臽声。”可见茯苓也来源于松脂。二是“松之灵气伏结形成说”，此说法多见于宋、明时期。宋代《本草图经》提到茯苓形成有松脂入土和假松气于根两种说法，依据当时人们探寻及挖掘茯苓的具体方式，提出茯苓“皆自作块，不附着根上。其抱根而轻虚者为茯神。然则假气而生者，其说胜矣”。之后的《本草衍义》认为“茯苓乃樵斫讫多年松根之气所生”，提出不抱根的为茯苓，伏结于本根为茯神。明代《本草纲目》记载：“（时珍曰）盖松之神灵之气，伏结而成，故谓之伏灵、伏神也”；《本草乘雅半偈》云“生古松根下，下有茯苓。此即古松灵气，沦结成形，如得气之全者，离其本体，故不抱根。如得气之微者，止能附结本根，故中心抱木。”《本草述钩元》亦有：“茯苓本古松灵气沦结成形。”的记载三是“松根形成说”，主要是在《史记·龟策列传》记载“伏灵者，千岁松根也，食之不死”。三种来源虽有不同，但均认为茯苓与松木具有密不可分的关系，因此在明代以前，将茯苓归为“木部”，之后大多数将茯苓归于“木部”之“寓木”。1934 年《中华新药物学大辞典》将茯苓归为“菌类”沿用至今。

## 二、茯苓种植历史

古人发现茯苓的生长离不开松木，因而砍伐松木以种植茯苓。最早的人工种植茯苓见于南北朝时期陶弘景所著《本草经集注》：“今出郁州，彼土人乃故斫松作之”，然而“形多小，虚赤不佳。自然成者，大如三、四升器，外皮黑细皱，内坚白，形如鸟兽龟鳖者，良”，可见当时人工种植茯苓的品质与野生茯苓存在较大差距。

宋代周密撰写的《癸辛杂识》记载：“茯苓生于大松之根，尚矣。近世村民乃择其小者，以大松根破而系于其中而紧束之，使脂液渗入于内，然后择地之沃者，坎而瘞之，三年乃取，则成大苓矣。”表明此时人工种植茯苓技术有显著提升，且产量较高，此方法也是“肉引”栽培法的前身。明代卢之颐在《本草乘雅半偈》中记载：“亦可人力为之。就斫伐松林，则听其自腐。取新苓之有白根者，名曰茯苓缆，截作寸许长，排种根旁，久之发香如马勃，则茯苓生矣。”这里的“茯苓缆”类似于现在的“肉引”种植中嫁接用的茯苓块，根据现行的种植方法进行评估，该技术展现出了其科学性的一面。

清代《本草从新》描述“产浙江者，色虽白而体松，其力甚薄，近今茯苓颇多者，其力更薄矣”，可见当时在华东地区已大量种植茯苓，但品质不佳。民国曹炳章在《增订伪药条辨》中记述了当时茯苓种植方法：“其法用本地天产鲜茯苓，捣碎如泥，种于肥土山叶茂松根上。先将松根傍离根二尺余，掘去泥土至见松根，将茯苓屑每株约一两，以竹箬裹附松之支根上，阅半年，施肥料一次，至三年起掘，则成二三斤重量之茯苓。然其生结不在原种根上，随气息止而结苓，往往有种于西杈根而结苓在东杈根，间有种而不结者。且松根下结苓，而叶必萎黄，或发红色，此即松之精气，收聚凝结为苓也，故土人望而即知其谓有苓。”可见当时茯苓种植技术已相当成熟，用竹箬包裹捣碎茯苓块的做法，与现在的“肉引”种植法非常相似，体现了种植技术的传承。上述记载还提到结苓处与种植处可能完全不同，这与现在用松兜种植的情况完全一致。

新中国成立后《药材资料汇编》记载了茯苓活体松根接种的栽培方法，生产的茯苓结成后，泥土中的松木已腐朽，其生长无固定地位，若结在附近的树根上，即为抱木茯神。此法得到茯苓较多，更接近于野生，利于茯苓及仿野生优质茯苓的生产。但活体松根接种浪费资源，一棵树接种后必然死亡，不利于茯苓资源的可持续利用与发展。20世纪70年代，中国科学院微生物研究所与湖南靖州科研人员通过多年选育，筛选出“5·78”菌种，开创了利用纯菌丝菌种栽培的技术，使茯苓栽培技术有了质的飞跃。

## 第二节 茯苓生物学特性与育种

### 一、茯苓生物学特性

#### （一）分类及形态特征

茯苓 [*Poria cocos* (Schw.) Wolf] 为担子菌门 (Basidiomycota)、多孔菌目 (Polyporales)、

多孔菌科 (Polyporaceae)、茯苓属 (*Poria*) 真菌的干燥菌核, 又名茯灵、伏灵、茯菟、不死面、松苓。

新鲜茯苓多体重, 质坚实, 呈球形、椭球形、扁球形或不规则团块, 大小不一; 外皮粗糙, 有明显的皱缩纹理, 呈土褐色至深褐色; 断面呈颗粒性, 有的具裂隙, 外层淡棕色, 内部白色, 少数淡红色; 有明显的蘑菇香味, 味淡, 略具弹性, 嚼之粘牙。药用茯苓需要将茯苓菌核“发汗”, 切丁或片, 干燥后使用。干燥茯苓色白, 坚硬。茯苓皮亦可入药, 呈长条形或不规则块片, 大小不一。

**1. 菌丝体** 茯苓菌丝体为白色, 柔毛状, 直径为  $2\sim 5\mu\text{m}$ , 会形成气生菌丝。采用马铃薯葡萄糖琼脂 (potato dextrose agar, PDA) 培养基进行平板培养时, 初期常可见稀疏菌丝和致密菌丝交替排列的几个同心环结构, 随着菌丝继续生长, 环纹逐渐消失。茯苓菌丝体有单核菌丝体和双核菌丝体两种结构。单核菌丝体中每个细胞有一个细胞核, 在担孢子萌发时可以见到。双核菌丝体是菌丝体的主要形式, 每个细胞有两个细胞核, 承担营养物质的运输、吸收和分解功能。

**2. 菌核** 茯苓菌核是储有营养的一团紧密交织的休眠体。条件合适时, 菌核萌发子实体, 产生孢子。茯苓菌核一般生长在松木段木一端, 或沿段木生长, 或包裹松根绳子 (茯神)。菌核呈球形、椭球形、扁球形或不规则团块。单个重量从几百克到几十千克, 大部分人工种植茯苓在  $3\sim 6$  千克/个。菌核在生长过程中与土壤接触, 使菌核破损处的内含物溢出与表面菌丝黏结起来形成茯苓皮。茯苓皮粗糙, 呈土褐色至深褐色, 有明显的皱缩纹理, 生长中菌核的茯苓皮有裂隙。内部白色, 质软, 容易掰开, 有轻微颗粒感。

**3. 子实体** 在自然环境或农田栽培条件下, 菌核发育至一定阶段, 其上端部分会露出地表。若此时环境适宜, 此部分则产生一层白色蜂巢状的结构——茯苓的子实体。目前也有从菌丝直接产生子实体的报道。将茯苓菌株接种在 PDA 培养基 (组培瓶) 中, 在相对湿度为  $70\%\sim 80\%$ , 温度为  $26\sim 30^{\circ}\text{C}$  的条件下, 先进行 7 天暗培养, 之后进行 12h 光暗交替培养直至产生子实体。茯苓子实体呈蜂窝状, 平卧于菌核或密集的菌丝体表面, 大小不一, 无柄。子实体孔管壁薄, 孔口呈多角形, 内壁表面发育成由担子组成的子实层, 担子上各产生四个担孢子。

## (二) 生活史

茯苓是兼性腐生性真菌, 主要寄生或腐生于一些松科植物, 如赤松、马尾松、云南松等根系或树干上, 吸取它们的养分, 完成自身的生命周期。生活史具有菌丝体、菌核、孢子三个阶段。茯苓最初生长从孢子萌发开始, 孢子萌发产生单核菌丝, 菌丝进行分裂后, 不同性别的双核菌丝细胞壁融合, 形成双核菌丝。双核菌丝较单核菌丝更洁白粗壮, 不断产生分支, 生长迅速。菌丝交织形成白色棉絮状的菌丝体, 分解、运输和利用营养物质。

在野生状态或大田种植中, 当环境适宜, 通气良好时, 菌丝沿松木朽木、段木或根部迅速生长。之后在段木的另一端或者侧面, 由菌丝不断堆积, 形成白色菌核, 菌核外部形成茯苓皮。菌核继续生长, 上部露出土层, 待环境条件适宜 (温度  $21\sim 26.5^{\circ}\text{C}$ , 湿度  $70\%\sim 85\%$ ), 此部分会产生白色蜂窝状组织——子实体。子实体为茯苓的有性繁殖结构, 薄, 无柄, 平铺于菌核表面。孔管多角形, 孔管内壁产生包含棍棒状担子的子实层, 担子上有小

梗，上面各长有担孢子。孢子短径约为  $3\mu\text{m}$ ，长径约为  $7\mu\text{m}$ ，孢子壁光滑，无色透明。春末夏初，若温暖多雨，在露出土的段木上也会长出由菌丝直接形成的子实体。子实体成熟时，子实层上产生数以万计的担孢子，担孢子从孔管中喷射出来，待时机成熟时又开始新的生命周期（图 2-1）。

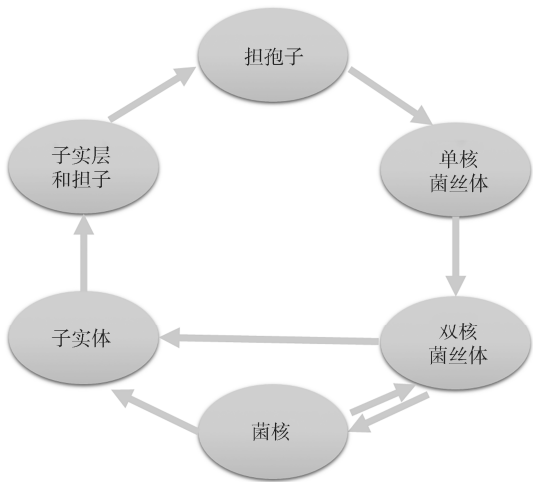


图 2-1 茯苓生活史

## 二、茯苓的主要育种途径

一般供生产使用的菌种需每年选育扩培才能达到优质高产。选择种苓时要从优良品系（云苓、皖苓、鄂苓、建苓等）中选取好的个体，其标准如下：个体大小适中，以  $3\sim 4\text{kg}$  为宜，质地坚实，苓期短，生长  $7\sim 8$  个月，皮薄，龟裂生，形态好，肉色白而细润，结苓率高等。种苓选取后，通过组织分离得到母种（最好通过对菌核的培养使之形成子实体），而后收集孢子进行分离获得母种，这种有性生殖分离法可以有效地防止菌种的衰退、老化，并明显提高茯苓产量和质量。获得的母种应经过严格筛选，优良母种标准：菌丝线毛状，旺盛均匀，分枝浓密粗壮，分泌乳白色露珠，平贴、洁白、纯净、无杂质。

然而，茯苓菌种目前面临菌种的同质化、退化严重和基质利用率低等问题，而菌种质量的好坏直接影响栽培的成败和产量的高低，唯有优良的菌种方能确保茯苓的高产量与高品质，因此建立一套切实可行的茯苓育种技术体系显得尤为关键。

### （一）杂交育种

食用菌的杂交育种是遗传物质在孢子萌发的菌丝（细胞）水平上的重组过程，所以又称为孢子杂交育种（图 2-2）。杂交育种只适合同种之间或同种同品系之间的杂交，种间或属间的杂交在自然情况下是难以实现的。食用菌能产生有性孢子，因此理论上都可以像高等植物那样通过有性孢子的有性杂交进行育种，从而获得综合双亲优良性状的新品种。但不同于高等植物的杂交，食用菌的杂交育种是在“孢子-菌丝体”水平上进行的。



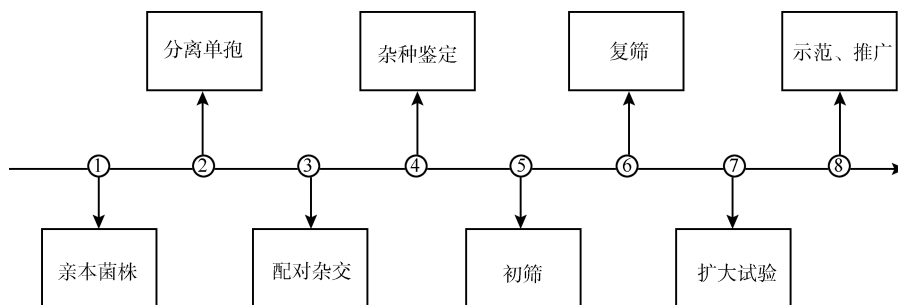


图 2-2 一般的杂交育种流程

由于茯苓菌丝没有锁状联合，且产生的担孢子具有不同的细胞核数目，茯苓担孢子以双核为主，包括双核孢子、单核孢子和无核孢子。因此，目前解决茯苓交配系统的关键在于如何获得准确的同核体菌株。李建寿等通过比较培养特性和简单序列重复（simple sequence repeat, SSR）分子标记，建立了一套茯苓同核体单孢菌株的鉴定方法。结果表明，茯苓同核体菌株菌丝生长速度显著低于亲本，气生菌丝稀少，该表型与文献双孢蘑菇同核体菌株的表型相似，故可以从表型上与亲本进行区分。2022 年，国家相关部门发布《中药材生产质量管理规范》，严格规定和限制了中药材的育种方法：在中药材育种中禁用人工干预产生的多倍体或单倍体品种、种间杂交品种和转基因品种，如使用非传统习惯使用的种间嫁接材料、人工诱变品种和其他生物技术选育品种等，需提供充分的风险评估报告和实验数据证明新品种安全、有效且质量可控。在茯苓的育种过程中，运用诱变育种技术会遭遇多重难题，诸如工作负荷重、效率偏低及安全性欠佳等问题。正因如此，诱变育种技术并未成为茯苓育种的主流方法。然而，科研人员持续开展了茯苓的种内杂交育种研究，成功证实了该育种途径的可行性，进而为茯苓杂交育种技术的进一步探索提供了新的方向。

目前，茯苓的育种工作主要依赖于从野生茯苓菌核中分离、纯化及定向选育茯苓菌株。在进行杂交育种时 also 需要注意亲本的选择、单孢的分离、杂交配对、转管繁殖、初筛和复筛等方面。

## （二）原生质体融合育种

原生质体融合育种是目前遗传工程中应用较为广泛的一项现代生物技术（图 2-3）。它是用适合的酶处理菌丝细胞使细胞壁解体，从而得到大量无细胞壁的原生质体，通过物理化学方法诱导，使两个不同食用菌的原生质体相互融合成为异核体。异核体内不同细胞核融合成共核体（融合子），共核体产生再生细胞壁后即成为杂种融合细胞。杂种融合菌丝的生长速度及菌丝形态应与两个亲本有所不同。经同工酶分析，杂种融合菌株的过氧化物酶、酯酶、酸性磷酸酶等均与两个亲本不同，并表现出优良性状，实现了育种的目的。

刘宇邈的实验结果表明，制备和再生茯苓菌原生质体的最佳条件为菌龄二级液体培养 4 天，酶浓度为 3%（其中蜗牛酶与溶壁酶的比例为 2:1），酶解温度为 36℃，酶解时间为 2.5h，酶解 pH 为 6.5，稳渗剂为 0.6mol/L 的甘露醇。汪琪等也从再生培养基的成分、原生质体涂布方法、酶解时间 3 个方面优化原生质体的再生条件。结果表明，采用培养 6 天的茯苓菌丝，在 3.5%溶壁酶+1%崩溃酶的混合酶液中，36℃酶解 2.5~3h，获得的原生质体