

药用植物复合种植研究进展*

李远菊^{1,2}, 张 霁¹, 王元忠¹, 张金渝^{1,2**}, 金 航^{1,2}

(1. 云南省农业科学院药用植物研究所 昆明 650200; 2. 云南中医学院中药学院 昆明 650500)

摘 要:复合种植在中国有着悠久的历史,在世界其他国家也被广泛应用。药用植物的复合种植是对传统中药材种植模式的优化,一定程度上缓解了中药材与作物争地的矛盾,对中药资源的可持续发展具有重要意义。本文综述了药用植物复合种植的概念、发展历史、理论基础以及主要模式,分析了复合种植对药用植物生长、产量、药效成分、病虫害防治的影响,对药用植物复合种植产生的生态效益和经济效益进行评价,探讨了药用植物复合种植研究有待解决的问题和发展前景,为药用植物栽培者合理种植提供依据。

关键词:药用植物 复合种植 生态学 经济

doi: 10.11842/wst.2013.09.015 中图分类号:S567 文献标识码:A

随着我国国民经济的增长和中药产业的发展,国内外市场对中药材的需求量不断增加^[1]。但长期以来,由于人们对合理开发利用中药资源认识不足,过度采挖造成中药资源分布范围日益缩小,许多珍贵的中药材濒临灭绝^[2]。野生的中药材已不能满足人们的需求,将野生的中药材变为人工种植,加强种植技术研究,实现规范化种植,对中药资源的可持续发展起着重要作用^[3]。

药用植物复合种植是对传统中药材种植模式的优化,是将药用植物与农林生物复合种植,充分利用土地、光、水分、养分等自然资源,它是中药资源生产的主要研究内容之一,一定程度上可以借鉴农业生态学的理论和方法^[4]。研究表明,合理的复合种植能提高生产效率,实现药用植物栽培地的可持续利用^[5]。本文就目前复合种植在药用植物栽培中的应用,对复合种植的理论与经济基础进行了综述,从药用植物的生长、产量、药效成分变化以及产

生的生态经济效益方面分析了复合种植,以期对药用植物栽培者合理种植中药材,生产优质高效的中药材提供理论依据。

1 复合种植概述

关于复合种植的概念,Francis^[6]在《Multiple Cropping Systems(复合种植系统)》一书中将其定义为在时间和空间上集约化种植,即在同一土地上种植两种或两种以上的作物,包括间作、套种等几种不同的种植模式。

复合种植在中国有着悠久的历史。公元前1世纪西汉末期《汜胜之书》中记载了瓜豆间作,公元6世纪《齐民要术》一书总结了桑园和小豆、绿豆、谷子等间作的经验。后魏经隋唐到元代,间混套作不断发展,《农桑辑要》引《农桑要旨》记述了多种桑间作方式,如“又桑间可种禾,与桑有宜与不宜,如种蜀黍其枝叶与桑等,桑亦不茂;如种绿豆、黑豆、芝麻、瓜、薯,其桑郁茂”,可见当时人们已经认识到复合种植中的种间关系。至明清时期,间作套种全

收稿日期:2013-03-08

修回日期:2013-03-28

* 国家自然科学基金委地区科学基金项目(81260608)滇龙胆生态化学计量特征及其驱动机制研究,负责人:金航;国家自然科学基金委地区科学基金项目(81260610)西南人参属种质资源遗传多样性及生态适应性研究,负责人:张金渝;科学技术部国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAI13B02-04)西南地区中药材规范化种植及大宗中药材综合利用开发技术研究——滇龙胆规范化种植基地及其SOP优化升级研究,总课题负责人:李隆云,子课题负责人:金航。

** 通讯作者:张金渝,研究员,硕士生导师,主要研究方向:中药资源开发与利用。

面发展,《群芳谱》中讲述了苜蓿与荞麦混作,《农政全书》中记载了棉薯间作“朴地成蔓,可以抵抗大风的灾害”。复合种植在亚洲其他国家、非洲、拉丁美洲也得到了广泛应用,最早的复合种植出现在人口多、土地资源少的国家,如印度、巴基斯坦、孟加拉国等。

目前研究较为广泛的为农林复合系统,即林木和农作物之间的复合种植。与传统林业相比,农作物和林木复合种植具有良好的生态、经济、社会效益。中药材广泛种植需要一定的土地,面对环境问题造成的可耕地面积逐年减少,有必要寻求新型的中药材种植模式。药用植物复合种植是对农林复合种植的推广运用^[7],这一复合种植模式模拟了药用植物生长的原生态环境,充分利用了土地资源,使农民获得了多方面经济收入。

2 药用植物复合种植的理论基础

药用植物复合种植可以理解为以生态学、经济学为基础,在同一土地单元上,人为地将药用植物与农作物、林木按一定时间、空间合理搭配进行立体多层次种植。

2.1 生态学基础

2.1.1 复合种植系统

农林复合系统集树、农作物、动物为一整体,潜在地发挥了保护生物多样性,提高土壤肥力,改善水和空气质量^[8]。Peng等^[9]在黄土高原的农林复合系统研究中,发现树木与作物之间的复合种植是修复土壤沙化的有效方法之一,一方面保护了生态环境,另一方面改善了贫穷的经济状况,促进了经济和环境之间的和谐发展。农林复合系统中的复合种植集中于对树木和作物之间相互关系的研究,复合种植系统在农林复合系统的基础上,进一步探索了不同植物之间、植物与环境之间的相互关系。

生态位(Ecological niche)是复合种植研究的基础,Whittaker^[10]认为生态位是一个物种在群落中的时间和空间位置及其机能关系。两个物种共同占用同一资源的情况为生态位重叠,物种对资源利用的重叠程度增大,竞争激烈,会引起一方被淘汰或出现生态位分离^[11]。竞争相同资源导致的优胜劣汰以及生态位分离使整个生物系统处于稳定状态^[12]。复合种植运用了生态位原理,填补了单一种植中的生态位空白,不同物种选择利用自然资源,使竞争减

小,作物产量增加。Cao等^[13]在银杏和作物的复合种植研究中,发现大豆和小麦的生长填补了银杏生长的生态位空白,银杏和作物都获得了高产,原因可能与根在不同土壤层的分布对资源利用程度不同有关。

药用植物复合种植系统为药用植物之间,药用植物与林木、农作物之间的复合种植。目前运用最广的为林木与药用植物之间的复合种植。林木一般在2~3年形成树冠,具备一定的遮荫度,在幼林期,可套种一些茎干矮、株型小的中药材,随着树苗不断长大,形成荫蔽的环境,可种植一些喜阴的中药材,成长5年后,行距内形成较荫蔽的环境,为适宜生长的中药材提供天然生长条件^[14]。

2.1.2 种间关系

不同物种复合种植,种间关系复杂多变,化感作用是影响复合种植的主要因素之一。化感作用是指一个植物(供体)通过地上部分挥发、淋溶和根系分泌等途径向环境中释放化学物质,从而促进或抑制邻近植物(受体)生长^[15]。这些化学物质多为植物的次生代谢产物,是植物受到环境胁迫或外界生物侵扰时分泌的物质。当受体和供体为同种植物时产生的抑制作用为化感自毒作用^[16]。

药用植物的次生代谢产物多为药效物质,而药效物质又是化感物质的主要来源,因此化感作用是药用植物复合种植需要考虑的主要因素之一。目前药用植物化感作用主要集中于抑制作用研究。金毛狗伴生镰羽复叶耳蕨和山姜,镰羽复叶耳蕨和山姜中的一些简单酚类和萜类化合物对金毛狗的孢子萌发和配子体发育起到明显的抑制作用^[17]。Nazir等^[18]在药用植物对农作物的化感作用研究中,发现西南委陵菜(*Potentilla fulgens*)和云木香(*Saussurea lappa*)的水提取物对尾穗苋(*Amaranthus caudatus*)、绿豆(*Phaseolus mungo*)、菜豆(*Phaseolus vulgaris*)、龙爪稷(*Eleusine coracana*)、小麦(*Triticum aestivum*)及荞麦(*Fagopyrum esculantum*)的萌芽均起到抑制作用。

药用植物的化感自毒作用是发生连作障碍的重要因素之一^[16]。在种植过一茬后的土壤里继续栽种人参,人参的存苗率降至30%以下,大约70%的人参须根脱落、烧须,简在友等^[19]研究表明人参分泌的化感物质棕榈酸甲酯等酯类是连作障碍的原因之一。刘红彦等^[20]通过对土壤灭菌和残叶、块茎碎块灭菌的盆栽试验研究,发现地黄连作障碍主要

是由根系分泌物引起的。药用植物复合种植合理复合群体的设计在一定程度上可以克服化感自毒作用和缓解连作障碍。例如,人参与紫苏间作,改善了人参连作障碍,提高了人参的产量和质量,同时植物间的相生作用也减少了病虫害的发生^[21]。

在药用植物的复合种植中,应根据化感作用机制找到互利共生的植物,减轻化感作用对药用植物的影响。通过对不同药用植物和药用植物与其他植物之间化感作用的研究,建立合理的复合种植制度,克服化感作用,提高中药材质量^[22]。

2.1.3 个体生理生态

光是植物生长不可缺少的气候因子之一,各种植物生长对光的需求不同。Ma等^[23]研究了光密度对金线莲(*Anoectochilus formosanus*)生长的影响,发现光量子通量密度减小时,金线莲生物量增加,总黄酮含量增加。复合种植根据植物生长对光的需求不同,将植株高矮搭配,变平面采光为立体采光,使作物群体分层受光,提高了光能利用率^[24]。樟树市发展林下中药经济主要依据林木郁闭度选择适宜生长的中药材,郁闭低时种植阳生或中间型药用植物,郁闭度高时种植阴生药用植物。

水是影响植物生长的主要因素之一,植物在水分不能满足自身生长需要时,生长过程发生变化。在干旱等恶劣的生长环境条件下,药用植物以形成次生代谢物的形式来提高自身防御能力,协调与环境间的相互作用^[25]。夏枯草(*Prunella vulgaris*)在中度干旱胁迫条件下,生产量降低,但植物体内的迷迭香酸、齐墩果酸、熊果酸含量增加^[26]。药用植物大多为浅表层根系植物,与木本植物复合种植,木本植物的深根系可以从土壤深层吸收水分,释放到干旱的上层,实现不同土层水分的互补利用,满足药用植物生长对水分的需求。

土壤养分是维持植物正常生长所需养分的主要来源。药用植物复合种植不同物种层次搭配,上层木本植物地上部分凋落物和地下部分根系的分解物可以作为土壤养分来源,为下层药用植物生长提供养分。凋落物分解使土壤有机物含量增加,土壤渗透性增加,降低地表径流和土壤侵蚀,减少土壤养分的流失^[27]。Banful等^[28]研究发现大叶千斤拔(*Lemningia macrophylla*)在与车前草(*Plantago asiatica*)的复合种植中,大叶千斤拔的凋落物经缓慢降解能持续维持车前草生长所需的营养。药用植物复

合种植可引起土壤pH和有机物含量变化。槟榔间作芳香药用植物,在0~30cm土层3年间pH提高了0.3~0.9,与不同芳香药用植物复合种植,土壤有机物含量变化不同^[29]。

复合种植使植物生长的光、温度、水分等气候条件发生变化,形成适应生长的小气候。Brandle等^[30]研究发现防风林附近风向改变,遮荫区内小气候会发生变化,而小气候的改变提高了农业生产的利润率,实现了农业生产可持续。

2.2 经济学基础

土地期望值(Land Expectation Value, LEV)是对无林地进行长期木材生产获得的净现值(Net Present Value, NPV),是一个标准的现金流量折现法(Discounted Cash Flow, DCF),被用于经济效益评价^[31]。Guo等^[32]通过Faustmann模式对茶树单作、橡胶树单作、茶树-橡胶树间作的经济效益进行分析,发现茶树-橡胶树间作获得了最高的LEV,橡胶树单作其次,茶树单作最低,表明复合种植产生了比单一种植更高的经济效益。Lu^[33]研究了北方和南方的两个不同农林复合系统,发现北方的桐间作系统比非桐间作系统产投比增加7.56%,南方的茶间作系统比茶单作系统产投比增加64.29%。因为产品的价格、劳动力以及工资成本在不同时期有一定的波动,所以复合种植产生的经济效益不固定,在此期间需要根据经济收入来筛选适合的种植模式。在茶树、橡胶树的几种不同种植模式研究中,当茶叶价格减少30%时,茶树-橡胶树间作的利润低于橡胶树单作,茶叶价格增加30%,茶树-橡胶树间作的利润高于茶树单作^[32]。

3 药用植物复合种植的模式

复合种植的模式主要有间作、套作、混作及立体种植。间作是最常见的复合种植模式,是在同一土地上分行或分带种植两种或两种以上的作物^[24]。

目前药用植物复合种植主要有林药复合、粮药复合、果药复合、药药复合等。①林药复合:大多为林下种植根茎类中药材,如吉林的林参间作;四川、湖南的常绿、落叶混交林间种黄连;广东、云南的橡胶树、砂仁间作。②粮药复合:多是利用高秆作物为耐荫药用植物遮蔽强光,形成适合药用植物生长的环境,如黄连在玉米的遮荫条件下不需要搭棚可以正常生长,施足底肥,加强管理,可以获得高产。

③果药复合:在华北、西北及黄淮海平原运用较广,如在山杏、板栗、核桃树下种植丹参、知母、远志等。

④药药复合:是把两种或两种以上的药用植物有机组合在一起。主要为喜阳的高层与耐阴的低层中药材组合;深根与浅根中药材组合,如薏苡与紫苏,黄芪与地黄,杜仲与穿心莲等。

在选取药用植物复合种植模式时因遵循一定的原则。首先,应根据当地的土壤条件、气候条件,选取适宜的药用植物因地制宜。其次,尽量选取植株高矮、深根浅根、早熟晚熟、喜阴喜阳植物相搭配,充分利用自然资源,发挥植物间的互补作用。

4 药用植物复合种植的研究内容

4.1 对药用植物生长的影响

药用植物复合种植可减少植物间的竞争,促进植物生长。贺润平等^[34]研究了柠条与甘草复合种植,发现柠条甘草复合种植有益于甘草生长,当间作距由 140 cm 减小到 50 cm 时,甘草的根长、芦头直径增加值由 25.7 cm 减小到 1.33 cm。Carrubba 等^[35]在茴香(*Foeniculum vulgare*)与莨菪(*Anethum graveolens*)间作的可持续生产研究中,采取茴香与莨菪以 33:66、50:50、66:33 的间作比复合种植,结果表明植物的生物量可能与伴生植物的种植密度有关,随着茴香种植密度增加,莨菪的单株生物量比纯种植增加了 85%。也有研究表明复合种植物种对部分药用植物生长产生抑制作用。Zhang 等^[36]研究了茶树、桉树、木瓜、旱冬瓜对滇龙胆生长的影响,结果发现 4 种当地树木叶和根的水提物对滇龙胆种子萌发、胚芽和胚根的生长均有不同程度的抑制作用,但茶树对滇龙胆生长影响最小,因此建议滇龙胆可以与茶树复合种植。

4.2 对药材产量的影响

药用植物复合种植,物种组合及种植密度对产量产生一定影响。王继永等^[37]观测了毛白杨分别与甘草、桔梗、天南星 3 种药用植物复合种植的产量分布规律,发现毛白杨行距分别为 15 m、10.67 m、6.39 m 时,几种药用植物产量较高。王华等^[38]采取几种不同的种植模式对湖北恩施紫油厚朴的复合种植进行比较,发现厚朴+竹节参、厚朴+黄连、厚朴+紫萁的复合种植模式厚朴皮产量较单作分别增加 1.6%、4.9%、11.4%。Singh 等^[39]对 *Chlorophytum borivillianum* 与不同的作物复合种植进行研究,发现

C. borivillianum 以 100 cm×100 cm 或 120 cm×20 cm 的行株距与葫芦、木豆间作,葫芦与木豆两年平均产量分别为 49.82 t/hm²、6.51 t/hm²,而 *C. borivillianum* 与豇豆复合种植,产量大幅度减少。土地当量比(Land Equivalent Ratio, LER)是衡量间混套作比单作增产的一项指标,在 *Plantago ovata* 与小扁豆以不同比例复合种植的研究中,发现 *P. ovata* 与小扁豆以 1:1 的比例间作,获得了较高的土地当量比^[40]。综上所述,选取适宜的物种以合理的密度与药用植物复合种植能够增加药用植物产量。

4.3 对药效成分的影响

药效成分含量反映药用植物品质。在药用植物复合种植中,复合种植条件不仅影响药用植物的产量,对确保药材的品质也具有重要意义。王文杰等^[41]研究发现,榆树林和白栎林下生长的白屈菜植株单宁和生物碱含量分别高于空地生长的 20.2%~16.2%、48%;白栎林下生长的白屈菜植株黄酮含量高于空地生长的 60.1%~48.1%。盛欣等^[42]对不同栽培条件下黄连的质量进行分析,发现在黄连与桑树林、五倍子林、厚朴林等复合种植研究中,黄连中 3 种生物碱的含量均高于对照药材,表明在复合种植的条件下,药用植物体内的部分药效成分含量明显增加。但也有研究表明部分药用植物复合种植药效成分含量低于标准。陈向东等^[43]对不同栽培模式下丹参质量进行研究,发现一年生苹果树地、杨树地丹参间作丹参酮 II A 的含量未达《中国药典》下限要求,说明复合种植条件对药效成分含量影响显著。

不同物种复合种植,药效成分在药用植物器官中的分布及累积有所差异。杨美权等^[44]以滇龙胆为研究对象,探讨了栽培模式与滇龙胆中龙胆苦苷含量之间的关系,发现几种不同复合种植模式中,木瓜茶树滇龙胆套种根部龙胆苦苷含量最高(3.80 mg·g⁻¹);3 年茶树滇龙胆套种根部龙胆苦苷含量最低(3.31 mg·g⁻¹);荒坡种植叶部和花部龙胆苦苷含量最高,分别为 1.34 mg·g⁻¹、1.22 mg·g⁻¹。药用植物复合种植的模式不同,活性成分含量变化不同,因此有必要进一步研究复合物种对药用植物活性成分含量的影响。

4.4 对病虫害防治的影响

复合种植一定程度上改善了作物疾病的发生。如花生和玉米复合种植,由于根际的相互作用可以改善花生铁营养的供给,从而起到缓解花生缺铁黄

化症的作用^[45]。Li 等^[46]等通过田间试验对谷物复合种植进行研究,发现在甘蔗-玉米、土豆-玉米、小麦-大豆的复合种植系统中玉米大斑病、土豆枯萎病及大豆褐斑病都比它们各自单作时发病率有所降低。部分药用植物单作时病虫害严重,作物复合种植缓解病虫害发生的原理也可以被运用到药用植物复合种植中减少病虫害发生。

4.5 对生态环境的影响

药用植物复合种植在保持水土、维持土壤肥力、保护生物多样性方面发挥了积极的作用。对于林药复合下生长的草本类药用植物,林木形成的树冠可有效拦截降雨,覆盖在地表的枯落物可减缓雨水对土壤的冲刷,林木对药用植物生长起到了庇护作用,药用植物对土壤的固着也增强了水土保持^[47]。周幸^[48]对太行山山地林、药复合种植模式及技术进行探索,发现在刺槐-荆条-知母、速生杨-丹参、花椒-板兰根的复合种植中,分布于土壤表层的药用植物浅根系对表层土起到了加筋固着作用,使水土流失减少。辛夷、厚朴、杜仲为3种木本药材,辛夷的药用部位为花,而厚朴和杜仲则取皮入药,辛夷、厚朴和杜仲组成的混交造林模式避免了厚朴和杜仲取皮入药后砍伐造成的水土流失^[49]。

4.6 对经济效益的影响

药用植物复合种植,将长周期的林业与短周期的中药材生产相结合,弥补了林木生长周期长、见效慢的特点,提高了经济效益。为增加幼林枣园产值,将枣树、枸杞复合种植,在复合种植第6年平均年产值比单一种植单位面积收入提高12.4%^[50]。不同物种与药用植物复合种植,经济效益存在一定差异。定明谦等^[51]研究了杏树、刺槐、油松与大黄、板蓝根、荆芥复合种植,对比杏树与3种药用植物复合种植,刺槐复合种植2年生药材产量更高。两个物种以不同的间作距复合种植产生的经济效益不同。Ajalla 等^[52]对比了 *Achyrocline satureioides* 和 *Plantago major* 的单作和不同行距下的间作,发现两种植物以不同行距间作收入比单作分别增加30%,70%,77%,131%。在实际生产中,一些不合理的种植模式使产量减少,获得较低的经济效益。如柚木与芦荟、穿心莲、锦紫苏、甜叶菊几种药用植物复合种植,除锦紫苏外,其余药用植物的产量均少于单作,产量的减少可能与药用植物和柚木对光、水分、

养分的竞争有关^[53]。从经济效益的角度出发,应选择将长短期效益相结合的物种复合种植,选择市场前景好经济产量高的经济树种或经济作物与药用植物复合种植。

5 讨论与展望

当前我国的可耕地面积有限,药用植物与农林生物复合种植是实现土地资源充分利用的有效途径,合理的复合种植不但有助于扩大传统中药材的生产,保护和弘扬祖国传统医学,而且还能起到保护生态环境的作用,有助于实现经济和环境的可持续发展。

复合种植模式在生产中发挥了重要作用,已经引起了世界各国的广泛关注。国内外关于复合种植的研究主要集中于农林复合种植系统,对药用植物复合种植的研究并不深入。当前的研究大多集中于复合种植对药用植物产量、药效成分含量变化产生的影响。今后还应加强以下几个方面的研究:①加强对药用植物复合种植的物种与物种之间、物种与环境之间相互关系的研究。主要包括:复合种植中物种的生物、生态学特性研究;复合种植中物种地上和地下部分对复合种植优势相对贡献的研究;复合种植中物种对自然资源的互补利用研究;密度因素对药用植物复合种植的影响;药用植物复合种植对病虫害防治的影响以及机理研究。②从生态效益、经济效益、药用植物品质出发,建立药用植物复合种植的综合评价体系。③加强最优模式研究。以生态学和生态经济学原理为基础,根据生物与环境间的协同进化原理、边际效益原理、整体性原理、地域性原理,对不同药用植物的复合种植进行田间试验,筛选出最优的药用植物复合种植模式。④转变研究方式。药用植物复合种植的研究涵盖了生态学、农学、药学、经济学等多个学科不同领域方面的知识,因此对其的研究应注重多学科多专业多部门之间的结合和渗透,以发挥整体研究优势。⑤广泛开展药用植物复合种植应用技术研究。通过田间试验,结合理论基础和技术基础,制定药用植物复合种植的规范规程和标准。⑥对农林复合系统中已经获得成功的案例进行机理分析,将其吸收并运用到药用植物复合种植中。

参考文献

- 1 黄璐琦,彭华生,肖培根. 中药资源发展的趋势探讨. 中国中药

- 杂志, 2011, 36(1):1~4.
- 2 陈士林, 肖培根. 中药资源可持续利用导论. 北京: 中国医药科技出版社, 2006.
 - 3 陈士林, 郭宝林. 中药资源的可持续利用. 世界科学技术-中医药现代化, 2004, 6(1):1~8.
 - 4 郭兰萍, 黄璐琦. 中药资源生态学研究理论框架. 资源科学, 2008, 30(2):296~304.
 - 5 高微微, 赵杨景, 王玉萍, 等. 我国药用植物栽培地的可持续利用研究. 中国中药杂志, 2006, 31(20):1665~1669.
 - 6 Francis C A. Multiple cropping systems. New York: Macmillan, 1986.
 - 7 Rao M R, Palada M C, Becker B N. Medicinal and aromatic plants in agroforestry systems. *Agroforest Syst*, 2004, 61(1-3):107~122.
 - 8 Jose S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforest Syst*, 2009, 76(3):1~10.
 - 9 Peng X B, Zhang Y Y, Cai J, *et al.* Photosynthesis, growth and yield of soybean and maize in a tree-based agroforestry intercropping system on the Loess Plateau. *Agroforest Syst*, 2009, 76(3):569~577.
 - 10 Whittaker R H. Communities and ecosystems. New York: Macmillan, 1975.
 - 11 孙浩, 黄璐明, 黄璐琦, 等. 基于生态位理论的药用植物化感作用与连作障碍的探讨. 中国中药杂志, 2008, 33(17):2197~2199.
 - 12 Terradas J, Peñuelas J, Lloret F. The fluctuation niche in plants. *Int J Ecol*, 2009, 29:959702.
 - 13 Cao F L, Kimmins J P, Jolliffe P A, *et al.* Relative competitive abilities and productivity in Ginkgo and broad bean and wheat mixtures in southern China. *Agroforest Syst*, 2010, 79(3):369~380.
 - 14 余振忠. 山阳县退耕还林工程林药间作模式效益研究. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
 - 15 周洁, 郭兰萍, 黄璐琦, 等. 植物化感作用及其在中药材栽培中的应用. 世界科学技术-中医药现代化, 2007, 9(5):34~38.
 - 16 张重义, 林文雄. 药用植物的化感自毒作用与连作障碍. 中国生态农业学报, 2009, 17(1):189~196.
 - 17 王馨, 邓洪平. 常见伴生植物对药用植物金毛狗 *Cibotium barometz* (Linn.) J Sm. 孢子萌发和配子体发育的化感作用研究. 中国中药杂志, 2011, 36(8):973~976.
 - 18 Nazir T, Uniyal A K, Todaria N P. Allelopathic behaviour of three medicinal plant species on traditional agriculture crops of Garhwal Himalaya, India. *Agroforest Syst*, 2007, 69(3):183~187.
 - 19 简在友, 王文全, 孟丽, 等. 人参属药用植物连作障碍研究进展. 中国现代中药, 2008, 10(6):3~5.
 - 20 刘红彦, 王飞, 王永平, 等. 地黄连作障碍因素及解除措施研究. 华北农学报, 2006, 21(4):131~132.
 - 21 赵杨景. 植物化感作用在药用植物栽培中的重要性和应用前景. 中草药, 2000, 31(8):附1~4.
 - 22 张爱华, 郝玉钢, 许永华. 我国药用植物化感作用研究进展. 中草药, 2011, 42(10):1885~1888.
 - 23 Ma Z Q, Li S S, Zhang M J. Light intensity affects growth, photosynthetic capability, and total flavonoid accumulation of *Anoec-tochilus* plants. *Hort Science*, 2010, 45(6):863~867.
 - 24 贺佳, 安瞳昕, 韩学坤, 等. 间作群体生态生理研究进展. 作物杂志, 2011(4):7~11.
 - 25 阎秀峰. 植物次生代谢生态学. 植物生态学报, 2001, 25(5):639~640.
 - 26 Chen Y H, Guo Q S, Liu L, *et al.* Influence of fertilization and drought stress on the growth and production of secondary metabolites in *Prunella vulgaris* L. *J Med Plants Res*, 2011, 5(9):1749~1755.
 - 27 Morenoa G, Obrador J J, García A. Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. *Agr Ecosyst Environ*, 2007, 119(3-4):270~280.
 - 28 Banful B, Dzietror A, Ofoli I, *et al.* Yield of plantain alley cropped with *Leucaena leucocephala* and *Flemingia macrophyllain* in Kumasi, Ghana. *Agroforest Syst*, 2000, 49(2):189~199.
 - 29 Sujatha S, Bhat R, Kannan C, *et al.* Impact of intercropping of medicinal and aromatic plants with organic farming approach on resource use efficiency in arecanut (*Areca catechu* L.) plantation in India. *Ind Crop Prod*, 2011, 33(1):78~83.
 - 30 Brandle J R, Hodges L, Zhou X H. Windbreaks in North American agricultural systems. *Agroforest Syst*, 2004, 61(1-3):65~78.
 - 31 Straka Thomas J, Bullard Steven H. Land expectation value calculation in timberland valuation. *Appraisal J*, 1996, 64(4):399~405.
 - 32 Guo Z M, Zhang Y Q, Deegen P, *et al.* Economic Analyses of rubber and tea plantations and rubber-tea intercropping in Hainan, China. *Agroforest Syst*, 2006, 66(2):117~127.
 - 33 Lu J B. Energy balance and economic benefits of two agroforestry systems in northern and southern China. *Agr Ecosyst Environ*, 2006, 116(3-4):255~262.
 - 34 贺润平, 翟普明. 柠条和甘草生理特性及复合种植研究. 山西农业科学, 2011, 39(1):28~32, 72.
 - 35 Carrubba A, Torre R L, Saiano F, *et al.* Sustainable production of fennel and dill by intercropping. *Agron Sustain Dev*, 2008, 28 (2):247~256.
 - 36 Zhang J, Zhang J Y, Wang Y Z, *et al.* Effects of tree species on seed germination and seedlings growth of Chinese medicinal herb *Gentiana rigescens*. *Allelopathy J*, 2012, 29(2):325~332.
 - 37 王继永, 王文全, 刘勇. 林药间作系统对药用植物产量的影响. 北京林业大学学报, 2003, 25(6):55~59.
 - 38 王华, 何银生, 廖朝林. 湖北恩施紫油厚朴高效立体复合种植模式研究. 湖北农业科学, 2011, 50(13):2680~2682, 2688.
 - 39 Singh M, Singh A, Singh S, *et al.* Production potential and economics of safed musli (*Chlorophytum borivilianum*) under intercropping system. *Arch Agron Soil Sci*, 2011, 57(6):669~678.
 - 40 Asgharipour M, Rafiei M. Intercropping of isabgol (*Plantago ovata* L.) and lentil as influenced by drought stress. *Am-Euras J Agric & Environ Sci*, 2010, 9(1):62~69.
 - 41 王文杰, 李文馨, 许慧男, 等. 不同生境白屈菜 (*Chelidonium majus*) 生活史型特征及其与不同器官单宁、黄酮、生物碱含量的关系. 生态学报, 2008, 28(11):5228~5237.
 - 42 盛欣, 张金兰, 孙素琴, 等. 不同栽培条件黄连的质量分析与评

- 价. 药学报, 2006, 41(10):1010~1014.
- 43 陈向东, 兰进, 李先恩, 等. 不同种植模式下丹参质量研究. 中药材, 2011, 31(4):8~11.
- 44 杨美权, 张金渝, 沈涛. 不同栽培模式对滇龙胆中龙胆苦苷含量的影响. 江苏农业科学, 2011(1):287~289.
- 45 Zhang F S, Li L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant Soil*, 2003, 248(1-2):305~312.
- 46 Li C Y, He X H, Zhu S S. Crop Diversity for Yield Increase. *Plos One*, 2009, 4(11):1~6.
- 47 林文雄, 王庆亚. 药用植物生态学. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- 48 周幸. 太行山山地林、药复合种植模式及技术探索. 中国林副特产, 2008(4):43~44.
- 49 李力, 王金锡, 郝云庆. 北川县林—药套作模式营造技术与经济效益研究. 四川林业科技, 2006, 27(3):27~31.
- 50 杨斌. 枣树、枸杞与农作物复合种植模式. 经济林研究, 2009, 27(4):81~84.
- 51 定明谦, 白应统, 定光凯. 庆阳退耕还林林药间作模式初探. 甘肃林业科技, 2005, 30(2):69~71.
- 52 Ajalla A C A, Vieira M D C, et al. Productivity of “marcela” [*Achyrocline satureioides* (Lam.) DC.] in a monocrop and intercropped with common plantain (*Plantago major* L.). *Ciênc Agrotec*, 2009, 33(2):488~495.
- 53 Karnataka J. Performance of medicinal and aromatic plants as inter-crops with teak. *Karnataka J Agric Sci*, 2007, 20(1):179~180.

Advances in Research on Multiple Cropping of Medicinal Plants

Li Yuanju^{1, 2}, Zhang Ji¹, Wang Yuanzhong¹, Zhang Jinyu^{1, 2}, Jin Hang^{1, 2}

(1. Institute of Medicinal Plants, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650200, China;

2. College of Traditional Chinese Medicine, Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, Kunming 650500, China)

Abstract: Multiple cropping has a long history in China, and been used widely in other countries of the world. Because the multiple cropping of medicinal plants (MCMP) partially alleviates land-use contradiction between medicinal plants and crops, this cropping system is an optimization for cultivation pattern of traditional Chinese medicine (TCM), and important for sustainable development of TCM resources. In this paper, we reviewed the concept, development history, theoretical basis, and main patterns about MCMP, analyzed the effect of multiple cropping on growth, yield, effective components, pest and disease control of medicinal plants, evaluated the ecological and economic benefits of MCMP, and discussed issues and prospects in the research of MCMP. This information can be useful for the medicinal plant cultivators.

Keywords: Medicinal plants, multiple cropping, ecology, economy

(责任编辑 李沙沙 张志华, 责任译审 王 晶)