

TECHNICAL PATTERN
AND SERVICE FUNCTION
OF ECOLOGICAL ORCHARD
IN RED SOIL HILLY REGION

红壤山地生态果园 技术模式与功能研究

翁伯琦 王义祥 钟珍梅 罗旭辉 占志雄 等/著



科学出版社

红壤山地生态果园 技术模式与功能研究

翁伯琦 王义祥 钟珍梅 罗旭辉 占志雄 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书概述了生态果园的概念、基本特征及其生态学原理,从适生牧草的引进、品种选育、牧草综合利用等方面介绍了生态果园的建设技术,并系统评价了生态果园建设在生物生产、水源涵养、改土培肥、固碳增汇及生物多样性利用等方面的生态服务功能,可为红壤山地生态果园的优化管理和推广应用提供科学依据。

本书可供农业生态环境保护与建设领域的研究人员及高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

红壤山地生态果园技术模式与功能研究 / 翁伯琦等著. —北京: 科学出版社, 2015. 2

ISBN 978-7-03-043233-9

I. ①红… II. ①翁… III. ①红壤—山地土壤—果园管理 IV. ①S660.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第022563号

责任编辑: 李秀伟 田明霞 / 责任校对: 郑金红

责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年2月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2015年2月第一次印刷 印张: 18 插页: 1

字数: 360 000

定价: 118.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

“南方红壤丘陵区”在《全国生态脆弱区保护规划纲要》中被列入八大生态建设类型区之一，该区分布于 13 个省(自治区、直辖市)，总面积高达 218 万 km^2 ，占全国总面积的 22%，区内 80%以上为中国大陆的丘陵山地。福建省属于我国典型的南方红壤丘陵区，全省 81.45%的土地为山地，其中以红壤为主的丘陵山地占福建省山地总面积的 85.5%。福建省地处亚热带，山地资源丰富，气候温和，雨量充沛，适合种植果树，全省现有果园面积 5311.8 km^2 ，且发展势头强劲。但是，由于农户投资不足、技术水平滞后，尤其是开发与保护脱节，全省约 90%的果园采用清耕管理方式，造成果园表土裸露，缺乏保护的红壤极易在雨水的冲刷作用下发生水土流失，土壤养分丧失，土壤结构遭到破坏。实际上，福建省相当一部分山地果园红壤退化严重，约有 45.8%的园地存在水土流失现象，果树生长与果品品质受到影响，低产果园比例大，土壤有机质 1%以下的低产果园高达 70%，亟待技术改进与提升以更好地发挥果业生产优势。因此，治理红壤山地果园，提高综合开发水平，开发生态效益与经济效益并举的果园配套技术，寻求一种山地开发与生态环境保护相结合的农业生产模式势在必行，这也是当前农业可持续发展的新方向。

果园生草技术作为一项实用、高效的土壤管理方法，在欧美、日本等地已实施多年，目前欧美及日本实施生草栽培的果园面积占果园总面积的 55%~70%，甚至更多，在防治和减少水土流失方面效果十分明显。中国果园生草栽培起步较晚，始于 20 世纪 80 年代初，到目前为止其应用面积还不到果园总面积的 10%，但随着现代生态农业的发展，其应用面积将不断扩大。与此同时，国内外学者对果园生草覆盖的应用技术进行了较为系统的研究，内容包括生草覆盖对果树生长、果实产量、土壤水分和养分及水土流失的影响等。20 世纪 80 年代末到 90 年代中期是福建省果树种植面积增长最快的时期，果树种植面积以每年 10%的速度递增，而该时期果园的管理主要以清耕为主，山地开发为果园后出现成片裸露的黄土，造成严重的水土流失。作为农业科技工作者，看到这一幕深感责任重大，改进果园管理模式，形成山地开发与环境保护并举的农业科学技术成为我们的重点攻关项目。20 世纪 90 年代中期，我们在福建省尤溪县建立了长期定位观测站，结合标准径流区观测不同管理模式下游园水土流失状况，同时评估果园生草对果树生长及水果品质的影响。经过长达近 20 年的定位观测研究，我们收集了大量的原始数据，这些宝贵的一手资料为后期果园生草技术的推广奠定了坚实的基础。长期生产实践证明，果园生草覆盖是南方红壤区防治水土流失的有效手段，目前生草

覆盖模式已经在福建省部分果园推广应用。

果园生态系统作为一种人工—自然复合生态系统，与自然生态系统相比，其在生态系统服务功能方面存在着一定的差异，主要表现在：一是果园生态系统服务功能通常仅在一个较小空间尺度和有限时段内发挥作用；二是果园生态系统的服务功能具有明显的空间和时间限制性与变动性；三是果园生态系统服务功能的大小与耕作制度、投入水平和管理水平密切相关。如何有效发挥果园生态系统的服务功能，我们 10 多年来的研究结果表明，果园生草技术在发挥果园生态系统服务功能方面效果显著。果园生草覆盖后增加了果园生态系统的物种组成，进而使果园生态系统的物种多样性和遗传多样性得以提高，土壤结构和肥力得以改善，果园生态系统物种组成、营养结构、食物链结构等的改变影响了整个果园生态系统的结构和功能发挥，最终提高了果园生态系统的生态服务价值。

《红壤山地生态果园技术模式与功能研究》一书经过多年的研究攻关终于完成，并顺利与读者见面。结合我国南方红壤丘陵区果园水土流失较为严重、土壤贫瘠、生态环境脆弱等特点，本书从适生牧草的引进筛选入手，筛选出适合南方红壤山区立地条件的豆科牧草平托花生(*Arachis pintoii*)，探讨果园套种平托花生后果草互作关系与机制、果园生草生态效益等，并利用果园生草长期定位试验系统地评估果园生草覆盖对改土培肥、水源涵养、固碳增汇、生物多样性利用等生态服务功能的影响，旨在为果园生草的优化管理和扩大应用提供科学依据。

本书凝练了我们科研团队十几年的研究成果，在此期间多位科技人员、硕士研究生和博士研究生为此付出了辛勤的努力，他们吃苦耐劳的精神、一丝不苟的科研态度、良好的合作精神为本书的完成奠定了扎实的基础。除署名的作者外，参与本书撰写的还有叶菁(第一章、第二章和第五章)、李艳春(第三章)等。另外，本书涉及的研究工作还得到了福建省农业科学院农业生态研究所的黄毅斌、应朝阳、徐国忠、郑向丽、黄秀声、王俊宏，以及福建省农业科学院土壤肥料研究所的江枝和、罗涛等的鼎力帮助。本书的相关研究也得到了国家科技支撑计划课题(2012BAD14B15、2012BAD14B03)和福建省农业科学院科技创新团队建设项目的资助。在此，向为本书顺利出版提供资助和帮助的相关单位和人员致以衷心的感谢。

由于本书编写时间较为仓促，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作者

2014 年 7 月于福州

目 录

前言

第一章 果园生草技术的发展	1
第一节 果园生草栽培技术的研究进展	3
一、果园生草栽培技术的发展历程	3
二、果园生草栽培技术的主要方式	4
三、果园生草栽培草种的优化选择	4
第二节 果草种间互作关系的研究进展	5
一、生草对果树生长发育的影响	5
二、生草对果树根系分布的影响	6
参考文献	7
第二章 果园生草的服务功能评价	11
第一节 果草复合生态系统的研究进展	12
一、对果园小生境的影响	12
二、对土壤理化性状的影响	13
三、对水土流失防控的作用	14
四、对果园固碳增汇的作用	14
五、生物多样性利用与保护	15
第二节 果园生态系统服务功能评价的研究进展	16
一、生态系统服务功能的内涵与定义表述	17
二、生态系统服务功能价值的评估方法	19
三、果园生态系统服务功能价值评估的评估研究	21
参考文献	23
第三章 果园生草品种的引进筛选	26
第一节 温带牧草引种和筛选	28
一、筛选方法介绍	28
二、温带牧草品种(系)综合评价	29
三、优势品种(系)生长情况	31
第二节 热带牧草引种和筛选	31
一、筛选方法介绍	32
二、植株出苗与再生性	33

三、植株长势、产量和病虫害	33
四、抗寒性	35
五、适口性与营养价值	35
第三节 落花生属牧草的引种和筛选	36
一、筛选方法介绍	36
二、初步筛选结果	36
三、二次筛选结果	37
第四节 小结与讨论	39
参考文献	40
第四章 果园生草新品种的选育	42
第一节 辐射选育花生新品系的鉴定	44
一、DNA 纯度分析	44
二、RAPD 引物筛选与扩增条件优化	44
三、5 个花生品种(系)的 RAPD 多态性分析	47
第二节 花生品种(系)间遗传多样性和遗传距离分析	48
一、花生品种(系)间的遗传多样性	48
二、RAPD 聚类分析	48
第三节 不同花生品种(系)若干生长特性的差异性分析	49
一、不同花生品种(系)生育期的差异	49
二、砂壤不同花生品种(系)各生育时期部分农艺性状的差异	49
三、黏壤不同花生品种(系)各生育时期部分农艺性状的差异	51
四、不同花生品种(系)产量性状的差异性分析	51
五、不同花生品种(系)农艺性状与产量的相关性分析	52
第四节 不同花生品种(系)各生育时期光合特性的差异分析	54
一、不同花生品种(系)各生育时期叶片叶绿素含量的差异	54
二、不同花生品种(系)各生育时期叶片光合特性的差异	59
三、不同花生品种(系)光和色素含量与净光合速率的相关性分析	62
第五节 不同花生品种(系)生理生化特性的差异分析	64
一、不同花生品种(系)各生育时期叶片可溶性蛋白含量的差异	64
二、不同花生品种(系)与氮代谢相关酶活性的差异	65
第六节 不同花生品种(系)品质性状的差异性分析	69
一、不同品种(系)花生籽品质性状的差异	69
二、不同品种(系)花生籽仁品质性状的差异	70
第七节 讨论与结论	72
一、辐射选育花生新品种(系)的鉴定	72
二、不同花生品种(系)产量性状的差异	73

三、不同花生品种(系)品质性状的差异	73
四、不同花生品种(系)间生理性状的差异	75
参考文献	77
第五章 果园生草对果树生长的影响	79
第一节 生草覆盖对油桃生长的影响	80
一、试验区概况	80
二、套种平托花生对桃树生长的影响	82
三、套种平托花生对桃树果实产量和质量的影响	84
第二节 生草覆盖对枇杷生长的影响	86
一、促进果树生长和品质提高	86
二、对果实品质的改良作用	87
第三节 小结与讨论	87
参考文献	87
第六章 果园生草的土壤保育作用	90
第一节 果园生草对土壤理化性状的影响	92
一、生草覆盖对土壤容重、孔隙度和含水量的影响	92
二、生草覆盖对果园土壤温度的影响	93
三、生草覆盖对果园土壤有机质和 N、P、K 养分含量的影响	93
第二节 果园生草后土壤团聚体有机碳的变化	94
一、生草覆盖对果园土壤团聚体分布的影响	94
二、生草覆盖对果园不同土层土壤团聚体稳定性的影响	96
三、生草覆盖对果园土壤团聚体内有机碳含量的影响	97
四、生草栽培对果园土壤团聚体有机碳分配的影响	97
第三节 生草覆盖的水土保持效应研究	98
一、降雨量及蒸发量分布特征	98
二、不同降雨强度的降雨分布特点	99
三、不同垦殖方式对径流的影响	100
四、不同垦殖方式对土壤侵蚀量的影响	100
五、生草覆盖对前埂后沟的影响	101
六、生草免耕对土壤可蚀性的影响	102
第四节 小结与讨论	103
参考文献	106
第七章 果草复合生态系统生物多样性的变化	109
第一节 果草复合生态系统节肢动物群落多样性的变化	111
一、节肢动物各类群数量组成的变化	111

二、节肢动物群落多样性指数的变化·····	112
三、节肢动物群落 H' 和 J 的动态变化·····	113
第二节 根际土壤微生物多样性的变化·····	115
一、根际土壤微生物群落结构·····	116
二、特征性微生物磷脂脂肪酸生物标记·····	117
三、微生物多样性指数·····	117
第三节 小结与讨论·····	118
参考文献·····	120
第八章 生草果园的固碳增汇作用·····	122
第一节 果园生态系统的有机碳库·····	124
一、植被有机碳库·····	124
二、凋落物碳库·····	125
三、土壤有机碳库·····	125
第二节 绿肥施用对果园土壤碳吸存的影响·····	126
一、绿肥施用对土壤团聚体的影响·····	127
二、绿肥施用对土壤有机碳组分的影响·····	130
三、绿肥施用对土壤有机碳矿化的影响·····	133
第三节 小结与讨论·····	136
参考文献·····	139
第九章 牧草的综合利用——代料栽培食用菌·····	141
第一节 决明属豆科牧草栽培金福菇的产量效应·····	143
一、试验处理·····	143
二、决明属豆科牧草栽培金福菇的产量效应·····	145
第二节 决明属豆科牧草栽培金福菇的物质转化·····	154
一、决明属豆科牧草栽培金福菇对 C、N、P、K 吸收转化的影响·····	154
二、决明属豆科牧草栽培金福菇对基物失重与呼吸消耗的影响·····	161
三、决明属豆科牧草栽培金福菇对木质素转化率的影响·····	165
四、决明属豆科牧草栽培金福菇对纤维素、半纤维素转化率的影响·····	167
第三节 决明属豆科牧草栽培金福菇的品质分析·····	169
一、决明属豆科牧草栽培金福菇对子实体氨基酸总量的影响·····	169
二、决明属豆科牧草栽培金福菇对子实体各类氨基酸总量的影响·····	173
三、决明属豆科牧草栽培金福菇对子实体脂肪酸总量的影响·····	177
四、决明属豆科牧草栽培金福菇对子实体饱和脂肪酸、不饱和脂肪酸总量的影响·····	180
五、决明属豆科牧草栽培金福菇对子实体水溶性维生素含量的影响·····	183
第四节 决明属豆科牧草栽培金福菇的营养评价·····	185

一、决明属豆科牧草栽培金福菇子实体蛋白质氨基酸组成	185
二、决明属豆科牧草栽培金福菇子实体蛋白质化学评分与氨基酸评分	187
三、决明属豆科牧草栽培金福菇子实体必需氨基酸指数、生物价、营养指数 和氨基酸比值系数分	191
四、决明属豆科牧草栽培金福菇子实体蛋白质营养综合评价	193
第五节 小结与讨论	196
参考文献	199
第十章 牧草综合利用——种草养畜	200
第一节 平托花生草粉替代不同比例精料喂兔效果研究	201
一、试验处理	202
二、增重与饲料报酬	202
三、屠体品质测定	203
四、经济效益分析	205
第二节 豆科牧草圆叶决明草粉替代不同比例精料喂兔效果研究	205
一、试验处理	205
二、增重与饲料报酬	206
三、圆叶决明草粉替代不同比例精料对屠体品质的影响	206
四、圆叶决明草粉替代不同比例精料喂兔的经济效益	207
第三节 果园种草养兔效果浅析	208
一、果园牧草的种类与利用方式	208
二、果园牧草养兔效果分析	209
第四节 小结与讨论	211
参考文献	212
第十一章 果园生草及其产业体系的功能评价	214
第一节 果园不同管理模式生态系统服务功能价值	216
一、直接经济价值	216
二、间接经济价值	216
第二节 不同果园管理模式系统能值分析	219
一、能值流分析	220
二、能值分析	220
第三节 果—草—牧生态果园循环利用体系能值分析	224
一、生态果园概况及生产模式	225
二、能值分析	226
第四节 小结与讨论	229
参考文献	232

第十二章 山地生态果园建设实践与发展前景 235

 第一节 山地生态果园建设的基本理论 237

 一、山地生态果园的概念与内涵 237

 二、山地生态果园基本特征 239

 三、山地生态果园耦合效应理论 240

 四、山地生态果园开发原理 241

 第二节 山地生态果园发展技术与模式 243

 一、生态果园建设技术 243

 二、生态果园建设配套技术体系 244

 三、生态果园发展模式 255

 第三节 山地生态果园发展评价体系及效益分析 257

 一、生态果园评价体系 257

 二、生态果园效益分析 260

 第四节 典型案例分析 264

 一、试验区基本情况 264

 二、基本思路 264

 三、开发模式 265

 四、技术要点 266

 五、效益分析 267

 六、结论与展望 270

 参考文献 271

后记 273

彩图

第一章 果园生草技术的发展

【摘要】

果园生草技术从 20 世纪 50 年代开始在欧美及日本等地推广,到 70 年代已基本形成了以果草复合生态系统为基础,以优质高效生产为目标的现代生态果园栽培管理体系,具有明显的生态、社会和经济效益。中国果园生草栽培起步较晚,始于 20 世纪 80 年代初,1988 年中国绿色食品发展中心将其纳入绿色果业生产体系,但受“草与树争水争肥”担忧及相关研究滞后的影响,目前生草耕作制在中国南方山地果园仍未得到大规模的推广。与此同时,国内外学者对果园生草覆盖的应用技术进行了较为系统的研究,内容包括生草覆盖的发展历程、主要方式及其对果树生长、果实产量、根系分布的影响等。部分研究认为,生草覆盖不仅可以充分利用土地资源解决果草争地的矛盾,还能促进果树生产,提高果园经营综合效益。另外,也有研究认为生草对果树生长、果实产量会产生负面影响。为此,应结合果业发展的区域特色,根据不同的土壤、气候、果树和草种选择合适的生草方式,为果草生草栽培技术的扩大应用提供科学依据。

【Abstract】

Living mulch in orchard management has been promoted in 1950s in Europe, America or Japan, and in 1970s has been basically formed a modern ecological orchard management, which has obvious ecological, social and economic benefits basing on fruit-grass compound ecological system, with high quality and efficient production as the goal. In China, living mulch in orchard management began in the early 1980s; China Green Food Development Center put it into the green fruit production system in 1988. At present living mulch in orchard management has not been large-scale promotion in Southern China, due to concerns about the fight for water and fertilizer between grass and trees, and correlative research lag. At the same time, the domestic and foreign scholars have conducted systematic research on the application technology of living mulch in orchard management, including the development course, main mode and its effect on fruit tree growth, fruit yield and root distribution. Some studies suggested that living mulch not only

can make full use of land resources to solve the contradiction between fruit and grass, but also promote fruit production for improving the comprehensive benefit in orchard. On the other hand, some studies suggested that living mulch has negative impact on fruit tree growth and fruit yield. Therefore, we should select the appropriate mode, combined with regional characteristics on fruit development, according to the different soil, climate, fruit trees and grass species, and provide a scientific basis for the application on expansion of living mulch in orchard management.

果园的开发与果业生产,为农村经济发展与丰富市场供应作出了较大的贡献。但如何寻求生产高效与生态效益良好的耕作方式,一直是人们关注的热点。长期以来,国内外相关科研与生产单位致力于生态果园建设、水土流失防控、土壤肥力提升、生境优化保育、优质高效栽培等方面的深入探索,取得了明显进展与良好成效。对中国南方而言,尤其是热带亚热带地区,虽大部分果园地处红壤丘陵山地,但光、温、热、水等资源较为丰富,生产潜力巨大。了解并回顾生态果园建设,特别是果草复合生态系统栽培技术与主要功能,有利于借鉴实用经验与有效模式,为深入解决水土流失、固地培肥、生物多样性保护、固碳增汇、果园有序共生、草业利用、养分循环、果园生产力提升与高效绿色栽培等问题提供科学依据,期望形成新的产业链与新机制。

果园生草技术从 20 世纪 50 年代开始在欧美及日本等地推广,到 70 年代已基本形成了以果草复合生态系统为基础(Faust, 1979; Weeks et al., 1950),以优质高效生产为目标的现代生态果园栽培管理体系,具有明显的生态、社会和经济效益。目前,许多国家实施生草的果园面积占果园总面积的 55%~70%,有的发达国家甚至达 90%以上(Lanini et al., 1988; Gregoriou and Rajkumar, 1984)。西欧一些国家正在建立和推广的水果生产制度(integrated fruit production, IFP),规范了生产在果园中的栽培技术,美国、澳大利亚、日本及欧盟国家制定的有机农业生产法规或操作规程都是以果园生草为核心的绿色覆盖模式,从内容上拓展了单一的生草栽培技术范畴。在中国,生草栽培始于 20 世纪 70 年代末 80 年代初,1988 年中国绿色食品发展中心将其纳入绿色果业生产体系,但受“草与树争水争肥”担忧及相关研究滞后的影响,目前生草耕作在中国南方山地果园仍未得到大规模的推广(赵之峰和陈爱昌, 2000)。有研究认为,在新垦或幼龄经济林套种豆科牧草,不但可以充分利用土地资源解决果草争地的矛盾,而且可以改善果园小气候、提高土壤肥力、促进果树生产、提高果园经营综合效益,还可以抑制杂草生长,减少病虫害危害,以此降低种果成本(Prafiska et al., 2006; Hartwig and Ammon, 2002; Lehmann et al., 2000; Andow, 1991; Brophy et al., 1987; De Gregorio and Ashley,

1986; Hartwing, 1977)。尽管国内外对生草管理对果园生态系统的生态与环境效应做了大量的研究,但生草对果树生长、果实产量的影响仍存在争论,而且不同地理区域、不同气候条件、不同果草组合和生草栽培方式等产生的结果可能也不一致。为此,应结合果业发展的区域特色,加强对中国尤其是南方丘陵区果园生草模式的生态效益和经济效益的评价研究,并根据不同的土壤、气候、果树和草种选择合适的生草方式,为果园生草栽培技术的扩大应用提供科学依据。

第一节 果园生草栽培技术的研究进展

一、果园生草栽培技术的发展历程

果园长期采用传统的清耕制管理模式,农药化肥施用过量,加剧了生态环境污染,对土壤理化性质、果园环境 and 经济效应产生了种种不利影响。除清耕外,免耕法、覆盖法和生草法也是果园常见的管理模式。免耕法主要利用除草剂防除杂草,土壤不进行耕作,这有利于保持土壤自然结构、节省劳力、降低成本,20世纪60年代以后在爱尔兰、英国、美国等有很大发展,但会在一定程度上加重环境污染(Preston, 2004)。覆盖法是在树冠下或稍远处覆以杂草秸秆、沙砾淤泥或地膜等;不同果园应根据土质情况就地取材,其中以覆草最为普遍,覆草厚度为5~10cm,覆草逐年腐烂,要不断重新覆草。覆草能调节低温,保持水土,抑制杂草,减少土壤水分蒸发,也能增加土壤有效态养分和有机质含量(Prafiska et al., 2006; Hartwig and Ammon, 2002; Lehmann, 2000; Andow, 1991; Brophy et al., 1987; De Gregorio and Ashley, 1986; Hartwing, 1977),但覆草也有招致虫害和鼠害及使果树根系变浅等不利影响(Barber and Navarro, 1994; Echtenkamp and Moomaw, 1989; Elkins et al., 1983)。果园生草是在果树行间或全园种植草本植物作为土壤覆盖的一种生态果园培育模式,果树采用宽行距(4~5m)的栽培条件,全园或行间种草覆盖,不使土壤暴露,每年刈割1~2次覆于树盘下,或刈割用于发展养殖业,或常年不刈割的一种果园土壤耕作管理制度。相比之下,果园生草不仅可以消除土壤溅蚀,保持水土(王义祥等, 2010; Mathews, 2002; Glover et al., 2000),改善土壤理化性状,提高土壤有机质含量和养分状况(Xu et al., 2012, Peck, 2011; Hoagland et al., 2008);还可以稳定地温,利于果树根系发育,防止虫害,提高果实产量和品质,保护果园生态环境(Hoagland et al., 2008),被认为是一种果园较理想的土壤管理模式。

根据张玉萍等(2001)的划分法,果园生草的发展大致可划分为以下3个阶段:一是初级生草栽培技术探索阶段,在19世纪末到20世纪40年代,果园地面管理主要以清耕为主,相关果园开展生草栽培的技术探索。二是中期生草栽培技术建

议阶段,在 20 世纪 50~70 年代,期间果园覆草与行间使用除草剂开始普遍,但有关除草剂残留导致土壤水分污染和环境破坏引起了广泛关注,迫使人们去寻找一种新的途径来有效地管理果园,由此开展了大量果园生草试验研究(Welker and Glenn, 1988; Culliney and Pimentel, 1985; Atkinson and White, 1977; Tukey and Schoff, 1963),并极大地推动了果园生草耕作制的迅速发展。三是现代生草栽培技术应用阶段,从 20 世纪 70 年代至今,果园管理逐渐形成建设以生态果园为主体的模式,其中在法国、中国台湾及美国加州地区形成的生态型果园,减少甚至不使用化肥,应用地面秸秆覆盖或生草覆盖后返园作有机肥等方式维持果树土壤肥力平衡(Prafiska et al., 2006; Hartwig and Ammon, 2002; Lehmann et al., 2000; 李国怀, 1994; 陈中和康有德, 1985),形成了以优质高效与绿色生产为目标的果树生态栽培技术体系。此间,果园生草栽培技术作为果园常规管理的重要措施在世界各地迅速推广,已逐渐成为山地生态果园建设的主导模式。

二、果园生草栽培技术的主要方式

果园生草栽培方式主要有人工种草和自然生草两大类,根据生草规模又可分为全园生草、行间生草及株间生草 3 类方式,一般以行间生草栽培方式较为常见(孟林, 2004)。人工种草主要是指人工在果树行间带状种草,所选的草种是经过人工选择的能控制不良杂草对果树和果园土壤有害影响的多年生牧草;自然生草是在果园生长季节任杂草萌生,人工去除或控制不符合生草条件的杂草,生草地仅重点优化实施生草刈割耕作,生草生长至 30cm 时割草就地覆盖,尤其在干旱和草旺盛生长季节,增加割草次数,减缓草与果树争水争肥的矛盾(郑金城和王淑媛, 1993)。

纵观分析,果园生草栽培方式与耕作制度也在不断发展和完善之中。实践表明,不同地区由于气候环境不同而实施不同的生草模式。全园生草技术更适用于中国南方成年果园及光、温、热、水资源较充足的地区;行间生草、株间生草适用于幼龄果园及中国北方缺水的区域(王秋平, 2002)。国外通常在行间种植多年牧草,美国果园普遍采用行间生草、株间和树冠下施用除草剂灭草的方法。日本幼龄果园,行间生草,株间清耕。

三、果园生草栽培草种的优化选择

选择生草栽培的草种是关键环节,其需要遵循一定的原则(马国辉等, 2005):既要选择须根为主的草种以保持水土,维持土壤湿度,又要选择根浅草种以减少和果树竞争养分;既不能是果树病虫害类的中间寄主或与果树有共同的病虫害,又能保证天敌族群在无食饵时获得充足的食物,同时有利于天敌族群在台风、寒流低温等恶劣环境下得到生存繁衍;生草栽培的地下根部既能有利于土壤有益微

生物菌落存活,又能提供花粉作为果树授粉昆虫的蜜源。除此之外,通常优化选择的原理是生草栽培品种既要保证生长快、产草量高、富集养分能力强、割后易腐烂、有利于土壤腐殖质的形成,又要耐阴、耐践踏、繁殖简单、病虫害少。

目前种植较多的生草草种有禾本科和豆科,生产上主要针对不同园区的树种、土壤和气候条件选择草种。中国北方果园多选用耐寒、耐旱和耐瘠薄的草种,有灌溉条件的一般选用白三叶草,无灌溉条件的可选择黑麦草,紫花苜蓿因喜温暖半干旱气候而在华北、西北地区果园较为广泛应用(郝淑英等,2003;巩传银等,2002;牛俊玲和解思敏,2000;丁玉川和渝小秋,1996)。中国南方红壤山地果园则多选用耐酸、耐瘠薄、抗高温和干旱的草种,亚热带果园土壤侵蚀严重,应选用抗逆性强、能迅速覆盖地面的草种,例如,在福建红壤区,果园生草的草种适宜选择圆叶决明、平托花生、南非马唐、鸡脚草和小黑麦等(郑仲登等,2003;程东华等,2002;李国怀,2001)。日本的许多果园普遍种植红三叶苜蓿,此外还有白三叶草、木樨、禾本科绿色草等。日本冬季葡萄、桃树、梨树、柿树等落叶果树,其使用草种以黑麦草为最多,而豌豆因具有化感效应,在柿树果园得到广泛应用(李国怀和章文才,1998)。小黑麦对杂草生长有很强的抑制能力,可预防夏季土壤干燥,防止坡地土壤侵蚀等,在梨树园、葡萄园、桃园和苹果园等得到广泛应用。另外,高粱、巴哈雀稗草(百喜草)也成为了夏季推广生草草种(田明英和解思敏,2002;程东华等,2002;牛俊玲和解思敏,2000;李国怀,2001)。

第二节 果草种间互作关系的研究进展

一、生草对果树生长发育的影响

不同的生草模式、生草种类对果树生长发育的影响存在一定差异,甚至有许多见解是对立的。有研究认为,果园生草改善了土壤的水、肥、气、热状况,改良了其结构及理化性质,增加了土壤养分的有效性,从而可以促进树体营养生长。已有研究表明,旱地苹果园行间生草栽培后,苹果树的分枝和枝条长度均明显增加,春梢生长量增加 23.7%~67.6%,叶面积增大 29.7%,根量增加 4.1 倍,延长了根系生长期(肖润林和李玲,1996;韩素英和齐力旺,1995)。南方红壤坡地柑橘园经行间生草栽培后,春梢萌发量、冠幅增长量及座果率均有明显提高,5 年间各生草区树干围增长比对照区高 3.6%~11.3%(赵更生等,1991)。陈清西等(1996)研究表明,生草处理的幼龄龙眼树花穗比例较清耕对照提高了 20%~30%,其中以格拉姆柱花草与宽叶雀稗混播处理较为理想。果园生草选用具有固氮作用的豆科牧草,可使土壤中 N 含量明显提高,同时对土壤难溶性磷酸盐有较强的吸收能力,可提高土壤中 P 含量;而禾本科牧草可提高土壤中 K 含量,但也会在一

定程度上降低土壤中 N 含量(刘殊等, 1997)。由于草对养分的吸收参与土壤养分循环, 且生草覆盖调节土壤温湿度环境, 因而影响土壤有效养分含量。李春燕和张菲(2011)研究表明, 在果园套种紫花苜蓿可促进桃树新枝生长, 而菊苣与桃树之间存在养分竞争, 对桃树新枝生长有一定的抑制作用。

有研究认为, 由于草对土壤养分、水分和光照有竞争, 因此果园生草会降低树体生长势。另外, 长期生草造成土壤板结, 透气性变差, 好气性微生物生长受抑制, 因而土壤中硝态氮的含量减少致使土壤 N 循环受到抑制而影响 N 的供应; 由于草根系强大, 且其在土层分布密度大, 截取下渗水分, 消耗表层 N 导致根系上浮, 因此会抑制果树的生长(Tan and Crabtree, 1990)。一些研究表明, 全园生草会明显降低树势, 新定植的果树尤为敏感, 这与全园生草模式下牧草与果树过度竞争水分或 N 肥有关, 或是二者共同作用所致。黄炎和等(2007)对红壤坡地枇杷园套种百喜草的研究表明, 清耕区冠幅最大、产量最高, 其次为带状覆盖与敷盖, 全园覆盖区冠幅最小、产量最低。李发林等(2009)比较分析了全园套种不同牧草 5 年的成效后发现, 蜜柚树茎粗增量表现为清耕>百喜草>平托花生>圆叶决明>宽叶雀稗; 以宽叶雀稗对蜜柚树体生长的抑制作用最强, 达到显著差异水平, 而其他牧草对蜜柚生长影响较小, 差异不显著。

值得关注的是, 果园生草对果实产量和品质的影响也存在一定争议。谷艳蓉等(2009)研究表明, 桃园生草覆盖能提高大桃产量与品质, 单果质量提高 2.8%~5.4%, 可溶性固形物增加 0.65%~1.35%, 而且与清耕地相比, 在果实的着色和硬度等方面均有改善, 同时落果不易受损伤, 提高了果实外观品质和商品价值。但也有报道指出, 桃园套种牧草 1 年提高了果实可溶性糖含量, 但果实可溶性蛋白含量有所降低, 这可能是牧草与果树根系之间存在营养竞争, 减少了果树对氮素的吸收, 从而影响果实中蛋白质的合成。任群等(2009)也认为生草栽培可提高柑橘叶片钾、磷和硼含量及果实糖酸比。因此, 作者认为应通过长期的生草试验, 结合区域地理、气候特点, 比较研究不同生草种类、生草方式对果树生长发育的影响, 揭示果树—牧草种间资源竞争的机制, 以求阐明“果—草—土”生态系统养分循环与分配的规律, 为合理套种与优化栽培提供科学设计, 并在运行管理上提供有效依据。

二、生草对果树根系分布的影响

果园生草可提高果树生长季土壤含水量, 稳定地温, 提高土壤基础养分含量, 改善土壤物理性能, 为果树根系生长提供适宜的微生态环境, 但由于果草之间存在不同程度或不同方式的水分和养分竞争, 随着果草共存时间的延伸, 有可能会抑制果树的根系活力。潘伟彬等(2008)对福建丘陵红壤“果草复合生态系统”的根系分布研究表明, 在果树滴水线外套种圆叶决明对果树根系生长的影响极小,