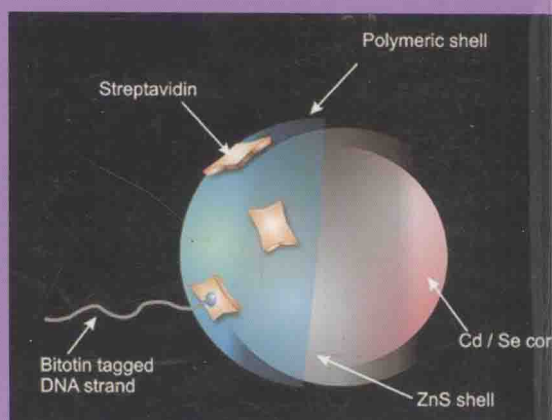


紫云英理论与实践

THEORY AND PRACTICE ON CHINESE MILK VETCH

林新坚 王 飞 何春梅 主编

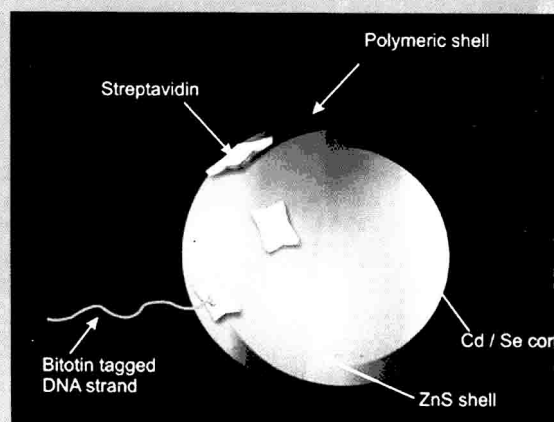


中国农业科学技术出版社

紫云英理论与实践

THEORY AND PRACTICE ON CHINESE MILK VETCH

林新坚 王 飞 何春梅 主编



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

紫云英理论与实践/林新坚, 王飞, 何春梅主编. —北京:
中国农业科学技术出版社, 2014. 4
ISBN 978-7-5116-1571-8

I. ①紫… II. ①林…②王…③何… III. ①紫云英—研究 IV. ①S541

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 055407 号

责任编辑 李 雪 胡 博 柯文辉 陈文静

责任校对 贾晓红

出 版 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82109707 82106626 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)

(010) 82109709 (读者服务部)

传 真 (010) 82106650

网 址 [http:// www. castp. cn](http://www.castp.cn)

经 销 各地新华书店

印 刷 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 787mm × 1 092mm 1/16

印 张 22

字 数 543 千字

版 次 2014 年 4 月第 1 版 2014 年 4 月第 1 次印刷

定 价 80.00 元

《紫云英理论与实践》

编写人员

主 编 林新坚 王 飞 何春梅

编写人员 林新坚 王 飞 何春梅 张 辉 李 昱

 兰忠明 吴一群 陈 坚 邱孝煊 林 诚

 李清华 钟少杰 陈济琛 张 慧

内容简介

本书浓缩了编者所在的研究团队8年来在紫云英研究与应用方面取得的新成果，将相关论文汇编成书。全书共分五章：第一章介绍紫云英研究历史、现状、问题与对策；第二章介绍紫云英种质资源收集、整理、分子评价、新品种选育以及种质创新利用；第三章从水肥管理、根瘤菌剂匹配应用、套播技术介绍紫云英高效栽培技术；第四章从套种紫云英后水稻减量施肥、提高稻谷品质以及紫云英菜用与饲用研发等介绍紫云英生态高值利用；第五章阐述紫云英对难溶性磷的影响，以及连续翻压紫云英对稻田碳、氮生态过程等响应。附录部分为紫云英绿肥种植及利用技术规范、品种选育研究与生产技术挂图。

全书内容丰富、资料翔实、图文并茂，不仅对福建紫云英绿肥种植、利用与发展作了较系统地研究、分析与探讨，还展示了编者所在团队近年所取得的主要研究进展。该书可作为从事农业科学研究的研究生、科研人员，以及从事农业生产及相关绿肥产品研发的企业技术人员的参考书，也可作为有志从事农业科学研究的本、专科学生（包括理、工、农、林、环境等相关学科）的课外读物。

Brief Introduction

The latest research achievements on Chinese milk vetch (MV) received by the authors' team in 8 years were introduced, and the related research papers were compiled into five chapters in this book. In Chapter 1, the history, status, problems and corresponding countermeasures of MV research were introduced. In Chapter 2, research papers on collection and classification of germplasm resources, genetic evaluation, breeding of new cultivars and innovation of varieties were gathered together. High-efficiency cultivation technologies for MV were proposed in Chapter 3 from aspects of water and fertilizer management, rhizobium inoculant application and rotation technology. In Chapter 4, the writers explained the ecological and high-efficient utilization of MV which included the reduced fertilization and rice quality improvement by interplanting MV, and the vegetable and forage uses of MV. In Chapter 5, effects of MV on insoluble phosphorus, carbon and nitrogen cycles were comprehensively elaborated. Technical specifications for plantation and utilization, and research and production process charts for MV were listed in Appendix.

With rich contents, detailed information and vivid illustration, plantation, utilization and development of MV in Fujian Province were systematically analyzed and discussed in this literature, which confirmed the great research progress on germplasm resources, biology and ecology, and high-efficient utilization of MV the authors had made. The work can be used as not only a reference book for graduates, researchers in agricultural area, and technicians engaged in agricultural production and development of green manure, but also be a general book for undergraduates and graduates who intend to work on agriculture.

序

绿肥是我国传统农业的精华。紫云英作为我国传统的绿色肥源和牧畜青饲料，为我国南方农业的发展做出了重大贡献。福建紫云英种植的高峰期（1972—1975年），每年种植面积均在20万 hm^2 以上，占全省现有适合种植绿肥的冬闲田面积一半以上，为福建粮食安全生产及培肥地力奠定了基础。但自20世纪80年代后期以来，随着化肥工业的快速发展，化肥用量的不断增长，紫云英绿肥的种植面积迅速滑坡，对其研究与应用也停滞不前。目前我国每年化肥用量已超过5000万t，而其利用率仅为30%~40%，造成巨大的能源、资源浪费，而且大量流失的化肥进入土壤和水体，严重污染生态因子，造成多种负面影响。当前，我国粮食生产“高投入、高产出、高资源和高环境代价”的生产方式，与现代农业生态农业的发展很不相称，构建高产、优质、高效、生态、安全的新型农业产业体系是我国当前广大农业科技工作者所面临的重要课题。

紫云英除了含氮、磷、钾养分较高之外，有机质相当丰富，是改良南方红壤土壤、培肥地力的最好绿肥。据统计，每667 m^2 施紫云英1500kg，约可提供N5~6kg、 K_2O 4~5kg，大概相当于一般老百姓施氮水平的50%、施钾水平的80%。近20年的长期定位试验表明，紫云英等绿肥不仅可以减少化肥用量，提高产量，而且对农产品品质、土壤质量的提升效果显著。有机质是土壤肥力的一个重要指标，有机质含量高，地力水平就高。稻田种紫云英绿肥可改良土壤团粒结构，增加土壤缓冲性能。我在20世纪60年代起就看过、见过、体验过，经过3~5年冬种紫云英绿肥可使黏土田、板结田变得疏松；沙质田可变得不容易渗漏水 and 肥，从而为一类的壤土田，地力可提高2个档次。更为可贵的是，紫云英绿肥是纯天然的有机肥料，不存在重金属、抗生素和激素等物质残留的威胁。总而言之，南方利用冬闲田冬种紫云英绿肥是一种低成本又高效益改良土壤，提高地力的有力措施。

当前国家和社会对于耕地质量、粮食安全、生态环境、优质和安全农产品提出了更高的要求，给发展紫云英等绿肥生产带来极大机遇。近年来，国家相关部门先后启动了“十一五、十二五、沃土项目及有机质提升工程”等项目，给紫云英绿肥的发展带来了契机，也促进了南方紫云英绿肥的恢复性种植与发展。多年来，学者和农业科技工作者对紫云英作为肥料在改良土壤，提高作物

产量和质量方面已开展了较多的研究与应用，但至于其他方面还在探索过程中。福建省农业科学院土壤肥料研究所林新坚研究员带领的绿肥研究团队，在前人研究的基础上，对紫云英种质资源收集及利用、生理生态、培肥模式与农田生态过程等又进行了较为深入的研究，取得了新的进展。该书较系统地总结了近年来该团队在紫云英种质资源创新与高效种植利用领域的研究成果，内容涵盖了紫云英的发展历史、种质创新与品种选育、高效栽培技术、生态高值利用、生理与生态过程模式等。这些研究成果已直接服务于生产，为福建农业农村经济持续发展提供了重要的理论指导与技术支撑。相信这本书的出版不但能对紫云英绿肥作物的土壤培肥保育、清洁农产品生产、固碳减排、生态环境保护等提供借鉴，对紫云英产业的培育会有积极的促进作用，对农业生态环境保护也将作出新的贡献。

中国科学院院士

谢华安

2014年2月

前 言

紫云英是豆科黄芪属一年生或越年生草本植物。作为我国南方主要的绿肥作物，紫云英是生产无公害、绿色和有机农产品的重要肥源之一，是农业可持续发展之宝。作为固氮作物，作为天然的生物肥料，其 84% 的氮素通过自身固氮，它的应用节能减排，降低农业面源污染。在南方水稻田与化肥配合施用，一般可替代 30% ~ 40% 的化肥，在保证作物需肥同时可有效减少化肥投入，能提高农产品品质。紫云英冬闲田覆盖能减少土壤有效养分损失，尤其是硝态氮的淋洗而造成地下水源的污染；还能降低土壤表土冲刷径流造成的水土流失，以及减少和抑制杂草生长。与此同时，冬种紫云英可供人观赏、美化环境，吸收二氧化碳，固碳减排。此外，紫云英还是我国重要的蜜源植物，具有食药价值，能直接或青贮作饲料，营养价值颇高。

国内外有关紫云英的著作自林多胡、顾荣申 2000 年主编的《中国紫云英》以来，未见新的专辑出版。为满足科研教学以及生态农业和循环农业发展的需求。本书汇集了近 8 年来，福建省农业科学院土壤肥料研究所紫云英绿肥科研团队所发表和将要发表的主要论文。本书《紫云英理论与实践》共分六部分：一、理论与研究与对策；二、种质创新与品种选育；三、高效栽培技术；四、生态高值利用；五、生理与生态过程；六、附录。该书可作为从事农业科学研究的研究生、科研人员，以及从事农业生产及相关绿肥产品研发的企业技术人员的参考书，也可作为有志从事农业科学研究的本、专科学生（包括理、工、农、林、环境等相关学科）的课外读物。

本书得到国家公益性行业绿肥专项、福建省公益项目、福建省省长专项、福建省农业现代化发展战略研究等资助。在此一并表示衷心的感谢。

编 者
2014 年 2 月

目 录

第一篇 理论与对策

紫云英研究进展	林新坚, 吴一群, 邱孝煊 等 (3)
福建省紫云英种植利用模式研究	何春梅, 王 飞, 钟少杰 等 (11)
根瘤菌菌剂的研究与开发现状	管凤贞, 邱宏端, 陈济琛 等 (17)
紫云英分子育种的研究进展	陈 坚, 林新坚 (24)
福建省绿肥作物发展历史、现状与对策	林新坚, 何春梅, 王 飞 等 (30)

第二篇 种质创新与品种选育

紫云英新品种 (系) 比较试验	张 辉, 袁廷茂, 杨秉业 等 (45)
不同紫云英品种物候期及主要经济性状研究	张 辉, 曹卫东, 吴一群 等 (51)
不同紫云英品种的生育特性及种子扩繁技术	兰忠明, 余明志, 张伟光 等 (56)
建阳市紫云英品种 (系) 比较试验	兰忠明, 张 辉, 周仕全 等 (59)
闽侯县紫云英品种 (系) 比较研究	张 辉, 吴一群, 兰忠明 等 (64)
长汀县紫云英品种 (系) 比较试验	林新坚, 兰忠明, 张 辉 等 (68)
紫云英新品种 (系) 在闽侯地区适应性研究	吴一群, 张 辉, 兰忠明 等 (72)
紫云英磷素养分高效利用品种筛选	兰忠明, 钟少杰, 何春梅 等 (77)
菜用紫云英品种筛选及高效施肥模式探索	何春梅, 兰忠明, 林新坚 等 (84)
不同紫云英种质种子形态与碳、氮、磷生态化学计量特征	林新坚, 王 飞, 何春梅 等 (90)
紫云英 ISSR 引物的筛选及 PCR 反应体系的优化	孙清信, 陈 坚, 张 辉 等 (97)
基于ISSR - PCR 开发紫云英 SSR 引物与种质资源鉴定	孙清信, 张 慧, 祁建民 等 (108)
利用ISSR 分析紫云英品种遗传多样性	张 慧, 陈济琛, 林新坚 (119)
紫云英 SSR 分子标记的开发及在品种鉴别中的应用	陈 坚, 张 辉, 朱炳耀 等 (125)

第三篇 高效栽培技术

长汀县紫云英高产栽培与培肥利用技术示范研究

..... 兰忠明, 杨秉业, 张 辉 等 (135)

氮磷钾配施对紫云英鲜草产量、养分含量的影响

..... 兰忠明, 张 辉, 周仕全 等 (139)

不同施肥处理与接种根瘤菌对黄泥田紫云英产量及养分吸收

累积的影响 王 飞, 林 诚, 林新坚 等 (146)

两种方法比较紫云英根瘤菌匹配性能差异初探

..... 钟少杰, 何春梅, 陈济琛 等 (152)

紫云英与黑麦草混播生物学效应初步研究 张 辉, 吴一群, 兰忠明 等 (158)

不同土壤田间含水量对紫云英生长及生理代谢的影响

..... 吴一群, 张 辉, 林新坚 等 (161)

缺磷对紫云英根系分泌物产生及难溶性磷活化的影响

..... 兰忠明, 林新坚, 张伟光 等 (169)

第四篇 生态高值利用

翻压紫云英绿肥下氮钾肥运筹方式对单季稻生长的影响

..... 王 飞, 林 诚, 李清华 等 (185)

相同紫云英翻压量化肥减量条件下水稻合理施肥方法研究

..... 李 昱, 何春梅, 刘志华 等 (191)

紫云英还田下水稻适宜施肥量研究 何春梅, 李 昱, 李清华 等 (197)

菜用紫云英“闽紫7号”嫩茎叶营养成分

分析研究 兰忠明, 林新坚, 张伟光 等 (201)

菜用紫云英品种嫩梢产量与营养卫生质量分析

..... 邱孝煊, 张伟光, 张 辉 等 (205)

紫云英草粉替代部分全价配合饲料对猪生产性能、

胴体和肉品品质的影响 邱孝煊, 张伟光, 张 辉 等 (212)

第五篇 生理与生态过程

不同紫云英基因型根系分泌物中有机酸成分分析

..... 林新坚, 兰忠明, 张 辉 等 (219)

不同紫云英基因型对难溶性磷吸收利用的影响	兰忠明, 张 辉, 吴一群 等 (226)
氮磷钾肥对紫云英产量、养分累积及种植后土壤养分的影响	李 昱, 何春梅, 杨仁仙 等 (237)
紫云英一次播种多年还田对中稻产质量及土壤肥力的影响	李 昱, 何春梅, 李清华 等 (242)
连续翻压紫云英对福建单季稻产量与化肥氮素吸收、分配 及残留的影响	王 飞, 林 诚, 林新坚 等 (247)
亚热带单季稻区紫云英不同翻压量下有机碳和养分 释放特征	王 飞, 林 诚, 李清华 等 (256)
紫云英根瘤菌的分离与鉴定	管凤贞, 钟少杰, 邱宏端 等 (263)
华葵中慢生根瘤菌培养基优化及高密度培养	陈济琛, 林戎斌, 陈龙军 等 (275)
不同紫云英品种与根瘤菌匹配对结瘤固氮的影响	钟少杰, 陈济琛, 林戎斌 等 (285)
不同紫云英翻压量对土壤酶活性及微生物生物量碳氮的影响	林 诚, 王 飞, 林新坚 等 (292)
连年翻压紫云英对稻田土壤养分和微生物学特性的影响	颜志雷, 方 宇, 陈济琛 等 (299)
不同施肥制度对土壤氨氧化微生物群落结构的影响	方 宇, 陈济琛, 颜志雷 等 (310)
不同施肥制度对土壤氨氧化微生物丰度的影响	方 宇, 颜志雷, 陈济琛 等 (321)

附录

附录 1 福建省地方标准——紫云英绿肥种植及利用技术规范	(328)
附录 2 福建省主要紫云英品种 (图版)	(333)
附录 3 福建省紫云英栽培利用模式 (图版)	(335)
附录 4 福建省紫云英栽培技术 (图版)	(336)

第一篇

理论与对策

紫云英研究进展

林新坚^{1,2}, 曹卫东³, 吴一群^{1,2}, 张 辉^{1,2}, 邱孝煊^{1,2}, 张伟光^{1,2}, 兰忠明^{1,2}

(1. 福建省农业科学院土壤肥料研究所; 2. 福建省农业科学院农业资源与环境研究中心;
3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所)

摘 要: 阐述了紫云英 (*Astragalus sinicus* L.) 选育和栽培、回田及综合利用等方面的研究概况。在育种及栽培技术方面, 介绍了国内外选育的优良品种及紫云英丸衣种子、根瘤菌剂的应用、以小肥养大肥等技术; 在回田利用方面, 紫云英作为绿肥不仅能够提高土壤肥力, 增加作物产量, 还能固氮节能, 减少氮素流失, 促进土壤有机碳的积累, 减少 CO₂ 的排放; 在综合利用方面, 介绍了紫云英作为富硒产品、蜜源、干草、菜用等方面的利用; 针对目前紫云英种植面积不断下降的现状, 提出了利用新的育种手段及优良品种扩繁相结合的办法, 解决目前紫云英品种陈旧、退化、混杂的问题, 大力加强紫云英的示范推广, 充分发挥紫云英绿肥在农业可持续发展中的作用。

关键词: 紫云英; 绿肥; 综合利用

Advance in *Astragalus sinicus* research

Lin Xinjian^{1,2}, Cao Weidong³, Wu Yiqun^{1,2}, Zhang Hui^{1,2}, Qiu Xiaoxuan^{1,2},
Zhang Weiguang^{1,2}, Lan Zhongming^{1,2}

(1. Institute of Soil and Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Sciences;

2. Research Centre of Agricultural Resource and Environment, Fujian Academy of Agricultural Sciences;

3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences)

Abstract: The breeding, cultivation, returning to soil and comprehensive utilization progresses of *Astragalus sinicus* were reviewed in this study. The breeding and cultivation included quality variety, obducens seed and application of rhizobium. *A. sinicus* could improve soli fertility, increase gain yield, benefit nitrogen fixation and energy saving, reduce CO₂ emission and soil nitrogen loss, and encourage soil organic carbon to cumulate when it was returned to soil. In the view of comprehensive utilization, this study summarized the progress of *A. sinicus* utliization as selenium – rich product, nectar source, hay and vegetable. This study proposed that new breeding means and quality variety reproducing were effective approaches to resolve the worse quality, degeneration and complexity of *A. sinicus* variety for facing the decrease in area of *A. sinicus*, and suggested that extension of *A. sinicus* would benefit sustainable development of agriculture as green manure.

Key words: *Astragalus sinicus* L.; green manure; comprehensive utilization

我国绿肥资源丰富^[1,2], 紫云英 (*Astragalus sinicus* L.) 作为一种主要的水田绿肥, 其培肥效果突出, 改善土壤理化性状促进作物生长, 增加土壤微生物数量及多样性, 改善土壤生态环境, 促进土壤有机碳的积累, 减少 CO₂ 的排放, 在提倡低碳农业和有机农业的今

作者简介: 林新坚 (1955—), 男, 研究员, 主要从事土壤培肥与微生物生物技术研究

基金项目: 国家公益性行业专项 (200803029); 福建省财政专项 “福建省农业科学科技创新团队建设基金” (STIF-Y01)

天,紫云英绿肥将发挥其不可替代的作用。美国、日本、韩国等发达国家都大力发展紫云英产业,进行养地培肥^[3~5]。紫云英不仅可以作为绿肥进行利用,还可以进行花蜜的生产、牧草、蔬菜等方面的综合利用。20世纪90年代以来,我国紫云英的种植面积急剧下降,造成种质资源混杂和退化。因此,紫云英优良品种的选育是推广紫云英种植的基础。本研究主要从紫云英在作为绿肥中的应用效果及新品种的选育和综合利用3个方面来阐述目前紫云英研究进展。

1 栽培技术及品种选育

紫云英性喜湿润的土壤,但忌田间积水,主要以水稻田套复种模式为主,还有果园套种、黑麦草(*Lolium perenne*)和紫云英混作、油菜(*Brassica campestris*)和紫云英混作、养鱼莲(*Nelumbo nmcsefera*)田轮作紫云英等模式。在水稻田套复种模式中,一般在水稻(*Oryza sativa*)收割前15 d左右撒播,时间为9月上旬~10月下旬,其种子的发芽适温为日平均温度22~23℃^[6,7]。一般每公顷撒播种15~30 kg,采用丸衣分层包裹养分技术加工紫云英丸衣种子,将种子除蜡、种子拌肥等高产栽培技术融为一体,提高种子的落泥率和种子出苗率,不仅可以节省60%左右的种子,还可以简化农民的操作手续^[8]。利用紫云英种子休眠的特性,可一次播种,多年繁殖利用,减少劳动力的投入^[9]。紫云英作为一种绿肥无须大量施肥,但初期要施用少量磷钾肥,特别是磷肥的施用,可促进结瘤,以磷增氮,达到以小肥养大肥的目的。应用根瘤菌剂,增加结瘤,提高紫云施用效果极佳^[10]。

紫云英优良品种的选育是推广紫云英种植的基础,其培育的手段多种多样,通过杂交育种培育出浙江省的宁波和平湖大叶种,江苏省的茜墩种和斜塘种,安徽省的弋江种,江西省的乐平种、余江种,湖南省的常德种,福建的闽紫系列等。在辐射育种方面,培育出浙紫62-18和萍宁3号等。在多倍体育种方面,广东省农业科学院土肥研究所育成了四倍体品系,各种性状表现较好。紫云英种子经太空处理后其生育期有较大变异,花期、成熟期相对提早,植株生长促进,发芽率更高、发芽势更强、植株更高,结荚花序及结荚数相对更多,产草量也高^[11~13]。在转基因育种研究方面,美国Hyeon和Jack^[14,15]报道了有关农杆菌介导的紫云英转基因植株再生体系的建立,美国Krasnyanskaya等^[16]采用发根农杆菌介导法研究了菜豆苯丙氨酸解氨酶基因在紫云英发根中的表达。目前我国主要的紫云英优良品种(系)包括:早熟种乐平、常德、闽紫1号等,中熟种紫云英余江大叶、萍宁3号、闽紫6号等,晚熟种宁波大桥、浙紫5号等,但由于紫云英为异花授粉作物,容易杂交退化,目前市场上纯度高的紫云英优良品种不多。近年来紫云英新品种的选育工作有了重新受到重视,也培育出了一些新的紫云英品种^[17~19],为紫云英大面积推广种植提供了可供选择新的优良品种。

2 种植及施用对农田生态系统的影响

2.1 改善土壤理化性状,促进作物生长

紫云英直接作绿肥是一种纯天然生物有机肥料,对于改善土壤的理化性状有着重要的作用,特别是在肥力低下的土壤上利用效果显著。高肥力的土壤施用紫云英不能增加土壤有机质的含量,中等肥力的土壤施用紫云英后能够增加土壤有机质含量,而在低肥力

的土壤施用紫云英土壤中有机质含量的增加效果最明显^[6]。紫云英的施用不仅为作物提供了大量的养分,还能够活化土壤中原有的营养元素,其增加的有机质含量能改善土壤的结构和化学性质,并可促进微生物的活动和土壤酶活性的提高^[20~22]。长期定位试验表明施用紫云英能够增加土壤中的脲酶、蛋白酶、转化酶的活性^[22]。官会林等^[23]在肥力低下的山地红壤上研究表明,紫云英冬季旱地轮作能够提高土壤含水量,降低土壤单位体积质量,增加有机质含量,提高土壤有效氮、磷、钾含量,并在调节土壤 pH 值、抑制红壤磷素养分退化方面起到积极作用。紫云英在中低产田的改造起到了重要的作用。

紫云英翻埋入土壤,其有机质的分解快,供肥率高,能够显著增加作物的产量^[6]。刘英等^[20]研究了一肥一稻种植条件下,紫云英对土壤肥力和水稻产量的影响,种植紫云英后不仅能够增加土壤有机质含量,而且可以提高水稻产量,以配施 22 500 kg/hm² 紫云英绿肥水稻产量最高,在施用养分总量相同的情况下,紫云英与化肥配施水稻有效穗每公顷增加 7.5 万~15.0 万株,成穗率提高 4.8%~7.0%,穗粒数增加 8.7~14.5 粒,实粒数增加 10.4~15.9 粒,结实率提高 1.8%~2.2%,千粒重增加 0.2~0.5 g,增产 16.0%~18.1%^[19]。黄庆裕^[24]对水稻产量与紫云英压青量关系的一元二次回归方程和 4 年多的田间对比试验分析结果表明,其适宜压青量为 15 000~22 500 kg/hm²,早稻增产 7.1%~10.4%,晚稻增产 2.6%~4.5%。紫云英绿肥的施用不仅能够增加作物的产量,还可以节约大量的化肥,增加种植的产投比^[25]。施紫云英还会降低土壤中交换态 Cd 含量,提高稻作土壤中氧化锰结合态和有机质结合态 Cd 含量^[26],提高作物的安全性。紫云英养分齐全,盛花期干物含氮 3% 左右、P₂O₅ 0.50%~1.10%、K₂O 2%~3%,是进行无公害生产和绿色食品生产的优质肥料^[6]。

2.2 增加土壤微生物数量及多样性,改善土壤生态环境

Schutter 等^[27]指出,农田生态系统中有些土壤中微生物群落结构和微生物潜能的变化与冬季是否种植覆盖作物有关,冬季种植覆盖作物的土壤比休耕土壤检出较高含量的真菌,此外覆盖作物的残体和根系脱落物可增加土壤微生物多样性。王丽宏等^[28]通过对我国南方稻区不同冬季覆盖作物前茬对稻田主要微生物类群数量和主要土壤化学性状的变化进行研究,表明,冬季紫云英和黑麦草覆盖在翌年水稻田翻耕前土壤好气细菌、真菌、放线菌数量均比冬闲田高,其中好气性细菌数量差异最显著,分别是冬闲田的 94.29% 和 25.71%;不同时期微生物数量冬季紫云英和黑麦草区均比冬闲田要高,冬季种植覆盖作物对稻田土壤微生物有很强的改善作用,促进了土壤养分利用。对比冬闲田,覆盖作物能够减少土壤侵蚀和化学径流,提高土壤有机质含量和土壤养分利用,并且能够抑制杂草生长,增加的有机质为微生物提供了大量可给性能源,促使微生物细胞数量倍增,从而改善微生物生存环境及土壤微生物组成^[29~32]。土壤微生物活度与土壤有机碳含量存在显著的相关性,土壤微生物活度在水稻生长过程呈增加的趋势,前茬冬季覆盖作物区明显高于冬闲田^[25]。

2.3 固氮节能,减少氮素流失

紫云英有机氮素的来源主要来自根瘤固氮,在结瘤良好的情况下,固氮量占植株总氮量可达到 80%^[6,33],以每公顷产紫云英 30 t 计算,每公顷总氮量约有 130 kg,来自生物固定的约有 100 kg,通过紫云英生物固氮,每年就可以节省巨大的能源及工业投资^[6,34]。紫云英的施用可以减少无机氮肥的施用量,每公顷施用 22 500 kg 的紫云英,可以代替 20%~

60%的无机肥^[19~25]。卢萍等^[35]研究表明,利用豆科紫云英轮作还田,可降低44%无机肥用量,溶解性氮浓度显著降低,在总量相当的情况下,冬种紫云英还田或显著降低了土壤溶液中 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 的浓度峰值,减少了稻季氮素随水迁移的量,降低了环境污染的风险。

中国科学院南京土壤研究所熊正琴和鹤田治雄^[36]对红壤丘陵地区的研究表明,冬季种植豆科作物可显著降低稻田以及旱地农田 N_2O 的排放量,减少氮素损失。紫云英在冬季对田面的覆盖度为60%~100%,春季茎枝伸长以后,草层厚度为30~50 cm。覆盖时间4~5个月,可以减少土壤养分的流失和雨水对土壤表层的冲刷,降低土壤及养分的流失^[6,29]。

2.4 促进土壤有机碳的积累,减少温室气体的排放

温室效应问题已逐渐明晰,土壤中释放出的 CO_2 是温室气体的来源之一,冬季覆盖作物在增加生物产量的同时,可以增加稻田生态系统碳蓄积效应。紫云英地上部、地下部碳蓄积分别为1799.6和292.5 kg/hm^2 ^[37]。长期定位试验表明,含紫云英的有机肥和无机肥配施能显著增加红壤性水稻土剖面有机碳和全氮含量,且土壤C/N高于不施肥或单施无机肥处理^[38]。有机肥与无机肥配施可提高土壤团聚体活性有机碳含量,从而保持和提高土壤有机碳库质量^[39]。冬季种植豆科作物还会降低稻田以及旱地农田温室气体 N_2O 的排放量^[36]。因此,在南方冬闲田适宜地区发展紫云英生产增加农田碳汇潜力,不仅可以提高土壤的肥力,促进作物的生长,还可以减少 CO_2 等温室气体的排放,达到生态效益和经济效益双赢。

3 综合利用研究

3.1 肥饲兼用

豆科绿肥作为干草资源进行开发,能够提高绿肥的经济效益。我国紫云英青贮自1954年在浙江省嵊县农场试验成功后,现已在全国各地广泛推广应用,一般采用厌养乳酸发酵法。豆科饲草喂畜,转化率高,紫云英鲜草晒干制粉喂猪,经猪消化吸收后,猪粪尿中可回收氮、磷、钾分别为75.6%、86.2%和77.8%^[41],猪对紫云英青贮饲料中粗蛋白质的消化率为53.76%,猪粪尿沼气发酵,氮的回收率达97.9%,水解氮含量为发酵前的2.6倍^[42]。潘磊等^[43]研究表明,采用紫云英青贮料搭配配合饲料对猪体质量增加效果和料肉比与单喂配合饲料基本相似,约可节约1/3的精饲料,紫云英肥饲兼用比单作为肥料施用,土壤有机质增加0.438 g/kg ,水稻产量提高4.9%。陈礼智等^[44]在全国16个省区进行的5年试验证明,发展肥饲兼用绿肥,可以充分利用土地和光热能资源,提高作物产量,改善农田生态环境和培肥地力,大大提高土地利用率,土地当量值(LER)平均达到2.3。通过肥饲兼用,能够充分利用紫云英固定的氮素营养,提高紫云英的经济价值,可以在循环农业中起桥梁的作用。

3.2 蜂蜜及富硒产品研究

紫云英蜜又名红花草蜜或草子蜜,是我国南方春季主要蜜种,其性甘平,有益于消化系统病变及食欲不佳者,能减轻胃部灼热感,消除恶心反胃,缓解胃肠黏膜炎症病变的刺激症状,帮助食物消化与促进溃疡的愈合,宜空腹服用。紫云英初花期一般为2月下旬一