



现代农业高新技术成果丛书

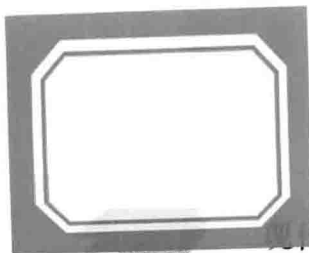
间套作体系豆科作物固氮生态学原理与应用

The Ecological Principles and Applications of Biological N_2 Fixation
in Legumes-based Intercropping Systems

李 隆 等编著



中国农业大学出版社
CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS



现代农业高新技术成果丛书

国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

间套作体系豆科作物固氮 生态学原理与应用

The Ecological Principles and Applications of Biological
 N_2 Fixation in Legumes-based Intercropping Systems

李 隆 等编著

中国农业大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

间作套种是我国传统农业的精髓,合理的间套作具有充分利用资源和抵御病虫害的特点,因此在高产高效现代农业以及低投入有机农业中仍然起一定作用。本书以豆科和非豆科间作体系中豆科作物共生固氮为主线,从豆科作物在种植体系中的作用,共生固氮的测定方法,间作套种作物生产力与氮素利用,作物种间相互作用促进生物固氮机制进行较为系统的阐述,并对豆科间作体系在农业生产中实际应用进行总结。本书可供从事农业生态、耕作栽培、土壤与植物营养相关专业研究工作者和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

间套作体系豆科作物固氮生态学原理与应用/李隆等编著. —北京:中国农业大学出版社, 2013. 5

ISBN 978-7-5655-0698-7

I. ①间… II. ①李… III. ①豆类作物-套作-研究 ②豆科共生固氮-研究 IV. ①S52 ②Q945.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 097495 号

书 名 间套作体系豆科作物固氮生态学原理与应用

作 者 李 隆 等编著

策划编辑 孙 勇

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62818525, 8625

编辑部 010-62732627, 2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷

规 格 787×1 092 16 开 24.25 印张 606 千字 彩插 4

定 价 108.00 元

责任编辑 洪重光

责任校对 陈 莹 王晓凤

邮政编码 100193

读者服务部 010-26732336

出 版 部 010-62733440

e-mail cbsszs@cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

现代农业高新技术成果丛书

编审指导委员会

主 任 石元春

副主任 傅泽田 刘 艳

委 员 (按姓氏拼音排序)

高旺盛 李 宁 刘庆昌 束怀瑞

佟建明 汪懋华 吴常信 武维华

出版说明

瞄准世界农业科技前沿,围绕我国农业发展需求,努力突破关键核心技术,提升我国农业科研实力,加快现代农业发展,是胡锦涛总书记在 2009 年五四青年节视察中国农业大学时向广大农业科技工作者提出的要求。党和国家一贯高度重视农业领域科技创新和基础理论研究,特别是 863 计划和 973 计划实施以来,农业科技投入大幅增长。国家科技支撑计划、863 计划和 973 计划等主体科技计划向农业领域倾斜,极大地促进了农业科技创新发展和现代农业科技进步。

中国农业大学出版社以 973 计划、863 计划和科技支撑计划中农业领域重大研究项目成果为主体,以服务我国农业产业提升的重大需求为目标,在“国家重大出版工程”项目基础上,筛选确定了农业生物技术、良种培育、丰产栽培、疫病防治、防灾减灾、农业资源利用和农业信息化等领域 50 个重大科技创新成果,作为“现代农业高新技术成果丛书”项目申报了 2009 年度国家出版基金项目,经国家出版基金管理委员会审批立项。

国家出版基金是我国继自然科学基金、哲学社会科学基金之后设立的第三大基金项目。国家出版基金由国家设立、国家主导,资助体现国家意志、传承中华文明、促进文化繁荣、提高文化软实力的国家级重大项目;受助项目应能够发挥示范引导作用,为国家、为当代、为子孙后代创造先进文化;受助项目应能够成为站在时代前沿、弘扬民族文化、体现国家水准、传之久远的国家级精品力作。

为确保“现代农业高新技术成果丛书”编写出版质量,在教育部、农业部和中国农业大学的指导和支持下,成立了以石元春院士为主任的编审指导委员会;出版社成立了以社长为组长的项目协调组并专门设立了项目运行管理办公室。

“现代农业高新技术成果丛书”始于“十一五”,跨入“十二五”,是中国农业大学出版社“十二五”开局的献礼之作,她的立项和出版标志着我社学术出版进入了一个新的高度,各项工作迈上了新的台阶。出版社将以此为新的起点,为我国现代农业的发展,为出版文化事业的繁荣做出新的更大贡献。

中国农业大学出版社

2010 年 12 月

前言

人口的增长和耕地面积的下降迫切需要增加单位面积的粮食产量,高投入的集约化农业被认为是增加单位面积产量的重要措施之一。然而,化学氮肥的合成需要消耗大量的化石能,会导致温室气体增多,而且伴随着大量化学氮肥的过量施用,土壤中累积的氮素和向环境中释放的活性氮也日益增加,由此带来的环境负效应与日俱增,迫使人们把目光重新投向绿色环保的生物固氮。

众所周知,生物固氮在农业可持续发展中扮演重要的角色。生物固氮能力最强的是豆科植物-根瘤菌共生体系,所固定的氮素占生物固氮总量的65%以上。发达国家一直致力于大力发展生物固氮以控制和减少化肥用量。我国由于粮食安全的压力,豆科作物的种植面积不但没有增加,相反还呈下降的趋势。同时,大量化学氮肥施用不仅导致诸多的环境负效应,还进一步抑制了豆科作物生物固氮效应的发挥。因此,在高生产力前提下如何发挥植物共生固氮的生物学潜力,降低化学氮肥带来的环境风险,是我国农业可持续发展迫切需要解决的关键问题之一。

间作套种是我国传统农业中的精髓之一,不仅能够高效利用土地和增加单位面积粮食产量,而且能够提高光、热、水分和养分等资源的利用效率,达到减少化肥用量的目的。合理的作物搭配还能够控制病虫害从而减少化学农药的施用。禾本科/豆科间套作体系,不仅具有一般间套作体系增加产量、资源高效利用和控制病虫害的特点,更重要的是还能够充分发挥其中豆科作物的生物固氮潜力,减少化学氮肥用量,是可持续农业发展的一个重要方向。间作套种是一个复杂的生态系统,其生物固氮与单作豆科作物的不同在于其受间作作物物种相互作用的影响更大。因此,以植物种间相互作用作为切入点,对间套作体系生物固氮的生态学原理进行系统研究,阐明间套作生物固氮的影响机制,对于非豆科/豆科间套作体系的健康发展,乃至生

态集约化农业的发展具有重要意义。

最早开展间套作研究工作是在 1987 年,作者参与甘肃省科技攻关项目“甘肃省灌区粮食作物模式化栽培研究与应用”,在甘肃省农业科学院李守谦和邱进怀等老师的指导下,在位于河西走廊的武威市白云村进行为期 3 年多的田间试验研究和示范工作,主要负责河西走廊灌区小麦/玉米间套作高产栽培模式研究。在这些研究中,逐步认识到间套作中的植物营养问题。1991—1995 年,作为主要参加人参加甘肃省科技攻关项目“河西高产带田作物营养特点及科学施肥技术研究”,在甘肃省农业科学院金绍龄老师的指导下,在位于河西走廊的张掖市新墩乡与张掖农业科学研究所的同事一起进行了 4 年的田间试验研究工作,对小麦/玉米间套作地上部养分累积利用的特点进行了系统研究,并提出了相应的科学施肥技术,在间套作物种间营养竞争利用方面也获得了一些认识,认识到种间地下部根系相互作用的重要性及其在养分资源高效利用中的作用。1996 年有幸获得国家自然科学基金的资助,开始了地下部种间相互作用对养分吸收利用的研究。特别是 1996 年进入中国农业大学在职攻读博士学位,在张福锁和李晓林两位导师指导下,开始了间套作种间相互作用与养分资源高效利用机制的研究,将研究从生产应用深入到应用基础研究,由地上部的作物配置、产量优化和养分吸收积累特点研究进入到地下部过程的研究。先后参与和主持的 3 项国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题、1 项国家自然科学基金重大项目、5 项国家自然科学基金面上项目、4 项国家科技支撑计划课题和 2 项农业部行业专项项目、3 项教育部学科点博士点基金项目,均为间套作研究相关内容。研究内容涉及间套作物种间相互作用与养分资源高效利用、根系分布和土壤地力变化等方面。禾本科/豆科间作生物固氮相关研究方向上已毕业 7 名博士研究生,他们的博士论文研究涉及生物固氮测定方法、植物种间相互作用对土壤氮素影响、植物种间相互作用对结瘤过程的影响以及豆科/非豆科间作和根瘤菌接种等诸多方面。尽管部分结果在国内外期刊上已发表,但大量研究结果并未系统整理。本书的目的就是系统总结这些研究结果,希望对同行的研究工作具有参考作用。

各章节分工如下:

第 1 章:1.1~1.4 节,李隆;1.5 节,王谦

第 2 章:余常兵、李隆

第 3 章:3.1 节,李隆;3.2 节,李隆、李玉英;3.3 节,范分良、李隆;3.4 节,李玉英、李隆;
3.5 节,李玉英

第 4 章:4.1 节,李玉英、李春杰;4.2 节,李玉英、李隆;4.3 节,范分良;4.4 节,房增国

第 5 章:5.1~5.2 节,李白、李隆;5.3 节,王瑾、李隆

第 6 章:6.1 节,梅沛沛;6.2 节,房增国;6.3~6.4 节,梅沛沛、李隆

第 7 章:7.1~7.5 节,孙建好;7.6~7.11 节,包兴国

鉴于作者的能力和水平有限,研究工作还有许多不足之处,敬请各位专家、同行批评指正。由于编著时间仓促,书中难免有错误和遗漏之处,肯请读者提出宝贵批评意见。

在本书即将出版之际,我非常感谢不同时期不同单位、导师和老前辈的悉心指导和支持,没有他们的支持和帮助,我也难以将间套作研究作为我终身的事业。也非常感谢合作研究者多年长期良好的合作,愉快的合作使我对这一事业充满信心和享受。博士和硕士研究生是研究工作的实际执行者,在试验基地遥远、生活条件艰苦的条件下,开展了大量的田间试验研究工作,做出了非常好的成绩,在此一并感谢。

在本书即将出版之际,我也要感谢国家重点基础研究发展计划(973 计划)的资助(项目编号:G1999011707,2006CB100206,2011CB100405),国家自然科学基金的资助(项目编号:39670435,30070450,30670381,30870406,30890133,31270477),国家科技支撑计划的资助(项目编号:2006BAD25B02,2007BAD89B02,2009BADA4B03,2012BAD14B04),农业部行业专项的资助(项目号:2008030030,201003043),以及教育部博士点基金项目的资助。对本书的出版特别要感谢国家出版基金的资助。

李 隆

2013 年 3 月

目 录

第1章 豆科作物在多样性种植中的地位	1
1.1 全球主要豆科作物种植面积变化趋势和现状	1
1.2 我国主要豆科作物种植面积变化趋势和现状	4
1.3 豆科作物及其在种植体系中的应用	6
1.4 豆科作物及其生物固氮	22
1.5 生物固氮研究的文献统计分析	30
参考文献	34
第2章 间套作豆科作物共生固氮能力评价方法	52
2.1 主要的共生固氮能力评价方法	52
2.2 间套作共生固氮能力评价的总氮差异法及其改进	57
2.3 改进后的总氮差异法在消除种间氮素相互作用上的效果	59
2.4 改进后的总氮差异法在消除种间氮素损失差异上的作用	64
2.5 改进后的总氮差异法在不同豆科间作体系中的应用评价	69
2.6 间套作共生固氮评价的 ¹⁵ N自然丰度法	76
参考文献	90
第3章 间套作增加生产力和豆科作物结瘤固氮	97
3.1 间作优势评价的一些指标	97
3.2 间作产量优势	99
3.3 间套作豆科作物生物固氮	112
3.4 地上部和地下部种间相互作用对生产力和结瘤固氮的贡献	134

3.5 根系空间分布、种间相互作用与生物固氮	147
参考文献	152
第4章 作物种间相互作用与豆科作物共生固氮	168
4.1 作物种间相互作用对根区矿质氮的影响	168
4.2 豆科作物的“氮阻遏”效应及种间互作对结瘤固氮的改善作用	182
4.3 间套作体系中作物间的氮素转移	199
4.4 花生/玉米种间相互作用改善铁营养及结瘤固氮	213
参考文献	225
第5章 间套作体系豆科作物共生固氮的植物-微生物互作	247
5.1 豆科作物-根瘤菌相互作用的化学信号过程	247
5.2 禾本科作物根系分泌物对蚕豆结瘤固氮的促进作用	255
5.3 根瘤菌-真菌互作对固氮的影响	271
参考文献	277
第6章 间套作豆科作物接种根瘤菌的效应	286
6.1 根瘤菌接种方法	286
6.2 绿洲高产农田间套作接种根瘤菌的效应	299
6.3 新开垦土壤玉米/蚕豆间作接种根瘤菌产量与结瘤固氮的效应	311
6.4 新开垦土壤玉米/蚕豆间作接种根瘤菌的磷肥效应	321
参考文献	334
第7章 豆科植物在间套作种植体系中的应用	342
7.1 蚕豆/玉米间作高产高效种植技术	342
7.2 大豆/玉米间作高产高效种植技术	344
7.3 针叶豌豆/玉米间作高产高效种植技术	346
7.4 蚕豆/小麦间作高产高效种植技术	348
7.5 大豆/小麦间作高产高效种植技术	350
7.6 旱地马铃薯/蚕豆间作高产高效种植技术	352
7.7 马铃薯间作大豆种植模式	355
7.8 马铃薯间作豆科绿肥作物豌豆种植模式	359
7.9 玉米前期间作豆科绿肥作物毛苕子种植技术	363
7.10 玉米间作豆科绿肥作物甜豌豆种植技术	366
7.11 小麦/绿肥—玉米超常规带幅种植技术	369

1.1 全球主要豆科作物种植面积变化趋势和现状

1.1.1 全球主要豆科作物种植面积变化趋势

总的来说,自从1990年以来的20年间,全球豆科作物的收获面积逐年增加,由1990年的1.47亿 hm^2 增加到2010年的2.12亿 hm^2 ,增加了44.02%,年平均增长率为2.20%(图1.1)。

总收获面积增加主要是由于大豆收获面积的持续增加,由1990年的0.57亿 hm^2 增加到了2010年的1.02亿 hm^2 ,增长了78.95%,年平均增长率为3.95%(图1.1)。此外,豇豆的收获面积也呈增加的趋势,虽然年度间变异较大,但总趋势是上升的,由1990年的566万 hm^2 增加到了2010年的1100万 hm^2 ,增长了94.34%(图1.2)。花生的收获面积由1990年的约2000万 hm^2 增加到了2010年的2400万 hm^2 ,也呈增加的趋势(图1.1)。菜豆的收获面积基本稳定在每年2400万~2900万 hm^2 的水平(图1.1)。

其他的豆科作物,如鹰嘴豆、木豆、扁豆、蚕豆、豌豆、豆科蔬菜等基本维持在一定的水平,并没有随年份的改变而显著增减,只有干豌豆的收获面积有所下降(图1.2,彩图1)。

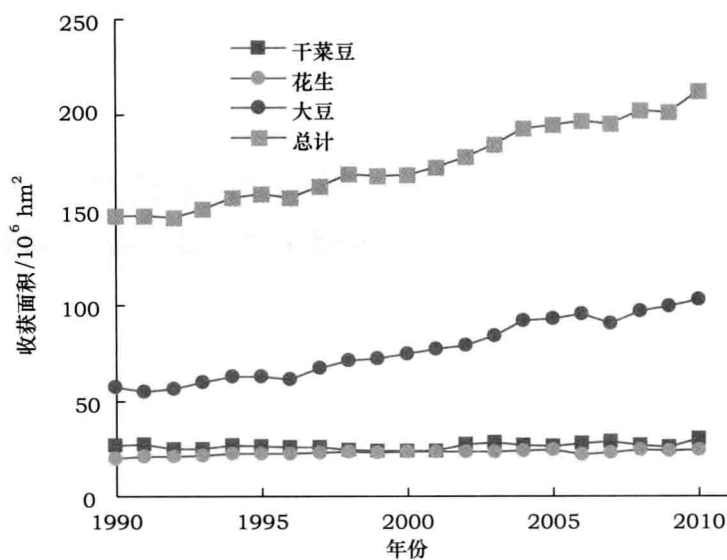


图 1.1 全球 1990—2010 年间豆科作物总收获面积，
干菜豆、花生和大豆收获面积变化趋势

来源:FAOSTAT 2012。

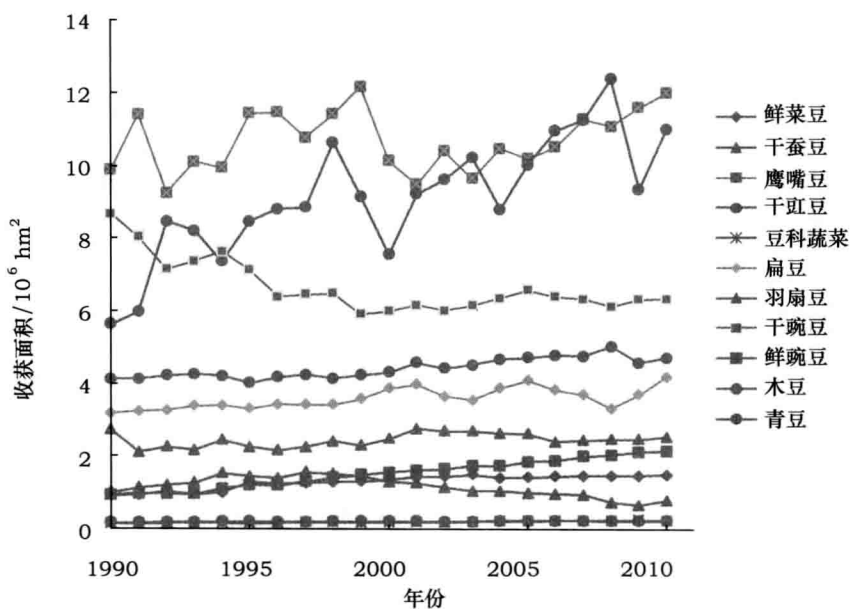


图 1.2 全球 1990—2010 年间各种豆科作物总收获面积变化趋势

来源:FAOSTAT 2012。

1.1.2 全球豆科作物种植现状

全球豆科作物中大豆和花生的种植面积最大,据联合国粮农组织统计(FAOSTAT),2010年豆科作物收获面积达2.12亿 hm^2 。其中大豆收获面积为1.03亿 hm^2 ,干菜豆收获面积为3000万 hm^2 ,花生收获面积为2400万 hm^2 ,鹰嘴豆和干豇豆等作物的收获面积也在1000万 hm^2 以上。收获面积在500万 hm^2 以上的豆科作物有干豌豆等。

豆科作物在美洲分布面积最大,达到0.93亿 hm^2 ,其次为亚洲,约0.72亿 hm^2 ,第三为非洲约为0.38亿 hm^2 ,欧洲和大洋洲分别居第四和第五。

大豆种植主要在美洲和亚洲,收获面积分别为7866万 hm^2 和2005万 hm^2 ;分别占全球总面积的76.7%和19.6%,两洲合计约占全球总面积的96.3%(表1.1)。而花生主要分布在非洲和亚洲,收获面积均为1148万 hm^2 左右,二者合计面积占全球总面积为95.7%。全球菜豆收获面积为3000多万 hm^2 ,主要以收获干菜豆为主,其中种植面积以亚洲为最大,约占全球总收获面积的55.0%,其次为美洲和非洲,欧洲和大洋洲面积较小(表1.1)。

表 1.1 2010 年全球豆科作物收获面积

hm^2

豆科作物	全球	非洲	亚洲	美洲	欧洲	大洋洲
干菜豆	29 894 958	5 908 713	16 037 736	7 650 222	253 387	44 900
鲜菜豆	1 495 408	76 477	1 215 969	74 456	122 036	6 470
干蚕豆	2 542 268	956 656	931 548	160 475	331 889	161 700
鹰嘴豆	11 977 699	531 523	10 653 088	233 255	59 833	500 000
可可豆	9 541 698	6 131 700	1 732 844	1 532 334		144 820
干豇豆	10 979 841	10 760 537	137 617	73 395	8 292	0
豆科蔬菜	240 406	49 394	50 676	100 509	39 717	110
扁豆	4 187 471	161 076	2 201 758	1 611 487	68 150	145 000
羽扇豆	795 589	12 903	440	42 690	147 556	592 000
干豌豆	6 328 447	579 168	1 785 623	1 773 548	1 901 090	289 018
鲜豌豆	2 150 886	87 585	1 661 377	190 459	201 165	10 300
木豆	4 709 151	534 962	4 133 991	40 198		
大豆	102 556 310	1 074 894	20 049 803	78 661 594	2 738 719	31 300
花生	24 011 537	11 484 352	11 486 830	1 013 443	10 712	16 200
青豆	226 558	8 000	42 570	140 102	35 866	20
合计	211 638 227	38 357 940	72 121 870	93 298 167	5 918 412	1 941 838

来源:FAOSTAT 2012。

1.2 我国主要豆科作物种植面积变化趋势和现状

1.2.1 我国主要豆科作物种植面积变化趋势

我国的豆科作物种植面积的发展趋势和全球变化趋势不同,全球豆科作物总收获面积持续增加,且保持继续增加的趋势,而我国豆科作物总收获面积从 20 世纪 60 年代初期至 70 年代末期一直下降,在 80 年代有所回升,但至 90 年代初期下降到最低点,随后有上升的趋势,但进入 21 世纪后上升趋势停止,又呈下滑的趋势(图 1.3)。总之,我国的豆科作物收获总面积一直低于 2 000 万 hm^2 。

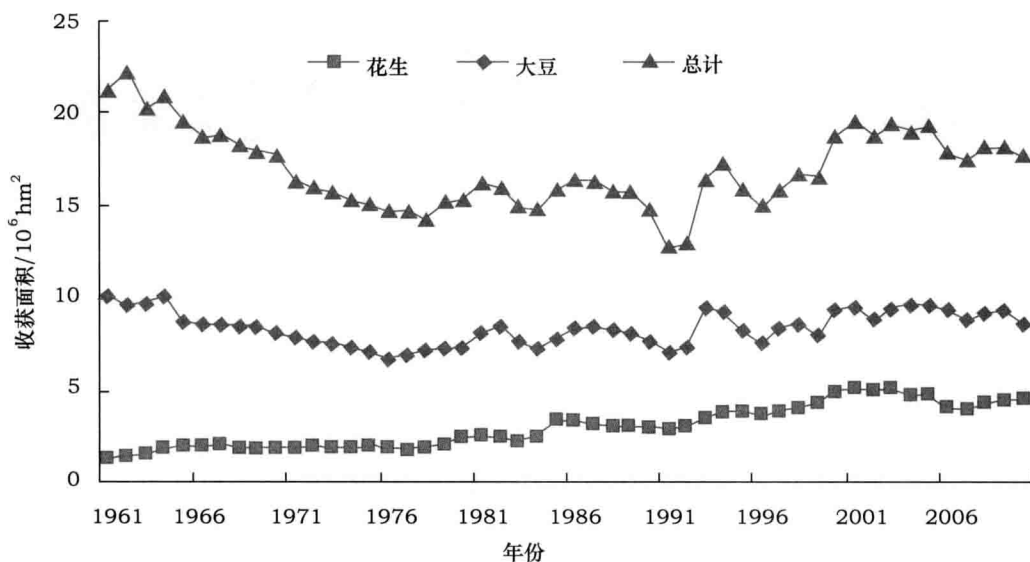


图 1.3 中国主要豆科作物大豆、花生以及豆科作物总收获面积的变化趋势

来源:FAOSTAT 2012。

在这些豆科作物中,大豆的收获面积最大,并且一直徘徊在 1 000 万 hm^2 以下,基本稳定。花生是第二大豆科油料作物,并且从 1960 年以来呈逐年上升趋势,由 1960 年约 130 万 hm^2 增加到了 2010 年的 455 万 hm^2 ,增加了 250%(图 1.3)。

然而,自 20 世纪 60 年代以来,干菜豆(dry beans)、干蚕豆(dry broad bean)和收获面积一直呈下降趋势,由 60 年代的 300 多万 hm^2 下降到了现在的 100 万 hm^2 左右(图 1.4)。

收获面积呈增加趋势的豆科作物有鲜豌豆(green peas)和鲜菜豆(green beans)等。前者收获面积 100 多万 hm^2 ,后者还不足 100 万 hm^2 (图 1.4,彩图 2)。

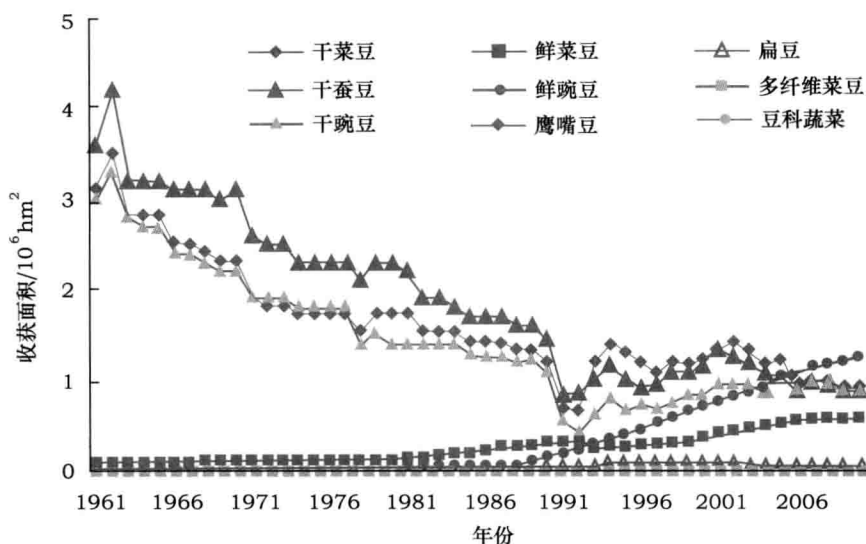


图 1.4 1960—2010 年中国主要豆科作物及豆科蔬菜的收获面积变化趋势

来源:FAOSTAT 2012。

1.2.2 我国豆科作物种植现状

据联合国粮农组织统计资料(FAOSTAT 2012),2010 年中国豆科作物总收获面积为 1 765 万 hm^2 。其中大豆收获面积约为 852 万 hm^2 ,占豆科作物总收获面积的 48.3%;花生收获面积为 455 万 hm^2 ,占豆科作物总收获面积的 25.8%;鲜豌豆收获面积为 125 万 hm^2 ,占豆科作物总收获面积的 7.1%;3 种作物合计占总豆科作物收获面积的 81.2%。剩余约 20% 的收获面积分别是干菜豆(91 万 hm^2)、蚕豆(88 万 hm^2)、干豌豆(88 万 hm^2)和鲜菜豆(59 万 hm^2),以及扁豆、鹰嘴豆和豆科蔬菜等(FAOSTAT, 2012)。

据《中国农业年鉴 2011》统计数据,2011 年我国豆类总播种面积 1 127.6 万 hm^2 ,其中大豆 851.6 万 hm^2 ,绿豆 74.2 万 hm^2 ,红小豆 16.2 万 hm^2 。此外,被列入油料作物的花生 2011 年播种面积为 452.7 万 hm^2 。粮食豆科作物(大豆、绿豆和红小豆)和油料豆科作物(花生)的播种面积共计为 1 580.3 万 hm^2 。其中,大豆占 54.2%,花生占 28.6%。

豆类种植区主要分布在黑龙江、内蒙古和安徽等地,播种面积超过 100 万 hm^2 ,各占全国总播种面积的 33.3%、9.8%和 9.1%。播种面积在 30 万~100 万 hm^2 的省份有云南、四川、吉林、山西、江苏和贵州等(中国农业年鉴编辑委员会,2011)。

花生的种植区主要分布在河南、山东、河北和辽宁等省份,播种面积为 30 多万至 90 多万 hm^2 。种植面积在 10 万~30 万 hm^2 的省份(自治区)有四川、安徽、广西、江西、吉林、湖南和江苏等。

1.3 豆科作物及其在种植体系中的应用

通过适当方式固定大气中的游离氮素,将其转变为能参与生物体新陈代谢的铵态氮是地球上维持生产力的一个重要的生态过程。正确的农业生产策略应该是既增加粮食生产,又不损害土地的持久生产力,而生物固氮正好能同时满足这两个目的。应用现代科学技术建立和完善生物固氮体系已经成为解决人类目前所面临的人口、粮食、能源和环境等问题的重要技术措施。

集约化农业生产体系通常以优化单一种植体系的生产力为首要目标。在集约化农业生产体系中,作物多样性一般被降低到只有一种作物,并且在遗传上要求非常均一、整齐和对称,且都配置大量的化肥、农药等外部投入。这些种植体系由于对环境的负面影响而受到批评,造成诸如土壤侵蚀、退化,化学污染,生物多样性的丧失和化石能的过分利用等一系列问题(Giller *et al.*, 1997; Tilman *et al.*, 2002)。多物种的混种体系被认为应用了生物多样性,植物相互作用等生态学的原理,在生产力的稳定性、抗干扰能力以及生态可持续性方面具有明显的优势,越来越受到重视。

生物多样性与生态系统功能的关系在生态学研究得到了持续的关注(Tilman and Downing, 1994; Tilman, 1996; Tilman *et al.*, 1997; Hector *et al.*, 1999; Loreau and Hector, 2001; Tilman *et al.*, 2001; Yang *et al.*, 2012)。在自然生态系统中,物种多样性增加了系统的生产力和稳定性,其主要的机制是不同种植物对资源利用的补偿效应。在自然生态系统中,豆科作物作为固氮功能组,被认为在多样性增加生态系统的生产力的中起到了关键的作用(Lee *et al.*, 2003; Roscher *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2010; Whittington *et al.*, 2012)。

豆科作物在间作套种、轮作和饲料饲草生产体系中的应用很广泛(Jeranyama *et al.*, 2000; Maitra *et al.*, 2001; Bloem *et al.*, 2009; Peoples *et al.*, 2009; Jensen *et al.*, 2010; McCartney and Fraser, 2010)。无论是在一年生的作物间作体系还是多年生的农林复合系统都发挥了重要的作用。例如,大豆原产于中国,是我国传统作物。大豆栽培在我国已有 5 000 年历史(王连铮, 郭庆元, 2007)。19 世纪末,大豆的大规模种植还只是东亚地区,其他地区和国家还处在引种试种阶段。20 世纪初,90%以上的大豆种植面积与大豆产品在中国(王连铮, 郭庆元, 2007)。巴西自 20 世纪 40 年代开始商业种植大豆,1941 年总面积为 7 600 多 hm^2 ,总产量 9 000 多 t。随后 20 年间,并没有大的发展。然而,20 世纪 60 年代初,随着巴西政府发起扩大小麦生产的运动,大豆也随之而迅速发展。主要原因是大豆属于冬季生长作物小麦的良好轮作作物,适合在夏季种植(Alves *et al.*, 2003)。经过 60 多年的发展,巴西的大豆种植面积超过玉米,2000 年达到 1 350 万 hm^2 ,总产量占世界大豆生产量的 20%;单产达 2 400 kg/hm^2 ,仅次于美国,高于中国单产的 1 820 kg/hm^2 (Alves *et al.*, 2003)。

1.3.1 豆科作物与轮作

轮作(crop rotation)指在同一田块上有顺序地在季节间和年度间轮换种植不同作物或复种组合的种植方式。在一年一熟条件下,轮作在年际间进行;在一年多熟条件下,轮作可能由

不同复种方式组成,称复种轮作。以“→”表示年际间的作物轮换,年内复种以“—”表示。如一年一熟的大豆→小麦→玉米三年轮作,这是在年间进行的单一作物的轮作;在一年多熟条件下既有年间的轮作,也有年内的换茬,如南方的绿肥—水稻—水稻→油菜—水稻→小麦—水稻—水稻轮作,这种轮作有不同的复种方式组成,因此,也称为复种轮作。

中国早在西汉时就实行休闲轮作。北魏《齐民要术》中有“谷田必须岁易”、“麻欲得良田,不用故墟”、“凡谷田,绿豆、小豆底为上,麻、黍、故麻次之,芜菁、大豆为下”等记载,已指出了作物轮作的必要性,并记述了当时的轮作顺序。长期以来中国旱地多采用以禾谷类为主或禾谷类作物、经济作物与豆类作物的轮换,或与绿肥作物的轮换,有的水稻田实行与旱作物轮换种植的水旱轮作。

在我国北方春大豆区,多实行一年一熟制。一类是大豆与小麦为主的轮作,如黑龙江的春小麦→大豆→马铃薯,大豆→春小麦→春小麦,大豆→春小麦→春小麦→玉米,大豆→春小麦→玉米(或甜菜)。另一类为大豆与旱粮为主的轮作体系,在东北地区有大豆→玉米→玉米,大豆→高粱→谷子,大豆→玉米→高粱等。

我国西北地区自古以来就有禾豆轮作的习惯,至今在当地一年一熟地区仍有大豆→黍稷→谷子或大豆→谷子→黍稷的轮作习惯。新疆北部一般有甜菜→大豆→小麦→玉米,向日葵→大豆→小麦→棉花,棉花→棉花→小麦→大豆等轮作(王连铮,郭庆元,2007)。

黄淮海地区主要有冬小麦—夏大豆→冬小麦—夏玉米(或夏谷子、夏高粱、夏甘薯、夏大豆等)、春玉米→春大豆等轮作。

无论是南方的水旱轮作(表 1.2)还是北方和南方丘陵地区的旱粮轮作体系(表 1.3),豆科作物都在轮作体系中具有重要的作用。在一个轮作周期中,都有一季豆科作物种植,以提高和恢复土壤地力。季节性水旱轮作模式中常见的豆科作物有秋大豆、春花生、春大豆等豆科作物和各种豆科绿肥等。

表 1.2 季节性水旱轮作模式及其地区分布

轮作模式	分布地区
大麦/旱大豆—晚稻→油菜—双季稻/绿肥—双季稻	长江中下游
油菜—早稻/秋大豆→小麦—早、中稻—秋杂粮或秋菜	湖北、湖南、江西
大麦/西瓜—晚稻→冬作或绿肥—双季稻	长江中下游
绿肥—双季稻→春花生—晚稻	湖北
冬闲或冬作—双季稻→玉米//大豆—晚稻	广西、湖南、浙江
春烟—晚稻//绿肥—双季稻	贵州、湖南
蚕豆—早稻—甘薯→小麦/玉米—晚稻	华南
春花生—晚稻→冬甘薯—双季稻→蚕豆—双季稻	华南
早稻—秋花生→蚕豆或冬甘薯—双季稻	广东
冬作—双季稻→大麦/春大豆或花生—晚甘薯//大豆	华南
紫云英—玉米—早稻;紫云英—玉米—晚稻;紫云英—玉米//大豆—早稻(晚稻)	湖南

来源:王宏广等,2005,中国耕作制度 70 年。