

第 12 届全国农业生态学研究论文集

农业生态学与我国农业可持续发展

——教学、科研与推广



中国生态学会农业生态学专业委员会 主办

华南农业大学 广东省生态学会 承办

2005/10/24~26

中国 · 广东 · 广州

第 12 届全国农业生态学研讨会

农业生态学与我国农业可持续发展

——教学、科研与推广

大会组委会

顾 问：

李文华 院士（中国科学院资源与地理科学研究所）

徐 琪 研究员（中国科学院南京土壤研究所）

闻大中 研究员（中国科学院沈阳应用生态研究所）

王兆骞 教授（浙江大学农业生态研究所）

主 任：

骆世明 教授（中国生态学会副理事长，华南农业大学校长）

副主任：

朱有勇 教授（云南农业大学）

程 序 教授（中国农业大学）

林文雄 教授（福建农林大学）

彭少麟 教授（中山大学）

杨林章 研究员（中国科学院南京土壤研究所）

王克林 研究员（中国科学院亚热带农业生态研究所）

梁文举 研究员（中国科学院沈阳应用生态研究所）

李凤民 教授（兰州大学干旱半干旱农业生态研究所）

主 编： 骆世明 章家恩

副主编： 王建武 蔡昆争 黎华寿

编 辑： 朱可峰 刘 君 张 磊 赵美玉 董 梅 蒋艳萍

序

现代意义上的农业生态学在我国发展已经有 25 年左右的历史了。马世骏、沈亨理、吴灼年、李文华、吴志强、王兆骞、韩纯儒、徐琪、陈聿华等等很多老一辈专家对推动该学科的发展做了很多基础性的工作。当年公众对于生态学还模糊的年代，从事农业生态学的同行们就已经敏感地提出了农业的资源、环境、生态问题，并且提出了生态农业的概念和农业生态系统工程的途径。不幸的是，很多农业生态问题被言中，而且生产与生态的矛盾有加剧的趋势。值得庆幸的是，目前可持续发展已经成为我国发展的战略，科学发展观成为指导国家社会经济发展的指导思想，循环经济概念已经被国家认可。经过多年的实践，用信息化带动工业化，用科学和智慧替代大量的物质和能量的消耗已经成为共识。生态农业经过了国家的推动和农民的实践，取得了丰富的经验，农业的生态目标已经被纳入各级领导的议事日程。

农业生态学作为一个在农业领域的生态学分支学科在不断发展。我国由于人多地少，资源短缺，社会经济发展强劲，农业生产的生态问题更加突出，因此存在学科发展的客观需求。我国农业生态学的体系和概念比较严密，内容能够结合中国的国情，教学工作的起步与耕作学结合比较紧密，形成了我国的特色。农业生态学的研究由于能够与各个学科紧密结合，与生产需要结合，取得了重要的实际成果，也逐步形成了我国农业生态学研究的特点。

作为中国生态学会下的一个专业委员会，农业生态学基本保持每两年开一次研讨会。会议曾经在兰州大学、福建农林大学、浙江农业大学（今浙江大学）、华中农业大学、中国科学院亚热带农业生态研究所（长沙）等地召开。在中国生态学会每四年的会员代表大会和每年中国科学技术协会举办的科学研讨会期间，农业生态学一般都有相应的专题，使同行们得到交流。各地农业发展战略研讨会和社会经济发展论坛也使我们获得很多交流的机会。在各种场合，我们高兴地看到从事农业生态学的年青学者正在迅速成长，成为教学、科研和推广的主力军。

在我国即将开始第十一个五年计划建设的时候，无论是农业生态学的学科建设还是农业生产的实际发展，我们都还面临很多挑战。今年在广州召开的第 12 届全国农业生态学研讨会又是一次同行研讨的好机会。这次会议得到了全国广泛的响应，交来的论文上百篇。我们希望通过论文集和会议的交流，能够促进农业生态学在新世纪的教学、科研和推广，促进中国农业的可持续发展！

骆世明

2005 年 10 月 16 日

目 录

生态农业与农业可持续发展

农业生态学的回顾和展望.....	骆世明 (1)
中国粮食与环境双向安全的战略思考.....	杨正礼 (22)
紫外辐射增强对农业生态系统的影响及其调控对策.....	张翠萍 李元 祖艳群 (27)
生态文化与文化生态位探讨.....	严斧 潘青 (32)
循环经济的发展与生态农业的转型.....	章家恩 骆世明 (37)
农林复合系统——顺应自然的林业经营模式.....	张璐 陈北光 (43)
观光生态农业及其配套技术研究.....	黄毅斌 柯碧南 杨淑芬等 (48)
明清以来广东的生态农业类型.....	吴建新 赵艳芝 (54)
广东省复合农林业的景观生态评价.....	刘钧 (62)
浙江省生态农业建设现状与对策建议.....	严力蛟 (68)
太湖生态渔业可持续发展对策.....	朱清顺 朱成德 (74)
改革开放以来江西生态农业的发展.....	黄国勤 (78)
退化山地生态系统的生态恢复重建——以红壤丘陵开发地为例 翁伯琦 应朝阳 黄毅斌等 (85)	
湘西自治州主要农林复合模式综合效益比较研究.....	马定谓 邹冬生 李林等 (90)
湘西自治州生态经济高效持续发展战略研究.....	马定谓 邹冬生 李林等 (96)
广西“猪+沼+果+灯+鱼”生态农业模式及其效益分析.....	姜春晓 李克敌 李光森等 (104)
新疆玛河流域农业生态-经济特点及可持续发展方向.....	张凤华 李春艳 (111)
塔里木盆地绿洲生态农业建设途径的探讨.....	黄培祐 (117)
准噶尔荒漠莫索湾垦区荒漠绿洲空间分布的研究.....	张大铭 纪勇 靳新霞等 (119)
农村 PAMCP 生态工程可持续发展机理探讨.....	严斧 (124)
应用蚯蚓粪及其配套技术规模化培植优质草莓.....	黄惠花 区德真 章家恩等 (127)
自然湖生态旅游农业开发探讨.....	解丽霞 陈干辉 蔡玉彬等 (129)
上海市输入型农产品安全监管的对策与建议*.....	曹林奎 郑杨 张峦 (134)
加快实施农业标准化全面提升农产品质量水平.....	黄京华 张国宏 文柳璿 (142)
建立基于重金属污染土地的生态能源农业生产模式探讨... 林初夏 吴永贵 杜瑞英等 (146)	
养猪业环境污染现状趋势与防治措施.....	廖新倮 (149)
洞庭湖区景观格局变化初步分析.....	王克林 汪朝辉 (153)
水资源对红壤丘陵区综合开发的影响与对策分析.....	乐美旺 刘迎湖 陈实等 (160)
广州市主要采石场复绿技术的比较分析.....	谢国文 曾慧 李兴伟 (164)
从行驶速度的角度探讨台晋高速公路抗视觉疲劳的植物廊道设计. 陆江平 王寒 陈欣等 (172)	
台缙生态高速公路典型路段的植物廊道设计.....	王寒 唐建军 陈欣 (177)
用 AHP 法确定城市公益林生态效益评价指标体系.....	梁慧燕 苏志尧 (180)
家庭养殖螺旋藻初探.....	高凌岩 杜宇 田秀英等 (184)
气候变化与农作物种植关系的研究.....	杨东方 高振会 王培刚等 (189)
Impact of Global Change on Biological Processes in Soil: Implications for Agroecosystem Management.....	张卫建 Shuijin Hu 章熙谷 (194)

生态学教学

- 农业生态学教学内容选择和科研选题..... 骆世明 (204)
多媒体在生态学教学中的应用..... 高凌岩 张武文 赵 钢 (209)
农业生态学教学的改革与思考..... 陈雨海 周勋波 李增嘉 (212)
适应创新型人才培养的生态学实验教育探讨..... 黎华寿 骆世明 (215)

绿色广东

- 关于构建“绿色广东”的生态学思考..... 骆世明 章家恩 (219)
广东省农业环境问题与生态农业建设..... 程 炯 吴志峰 刘平等 (223)
大力发展生态农业, 促进“绿色广东”建设..... 林瑞如 陈位超 饶国良 (228)
加强沼气工程建设 促进畜牧业清洁生产..... 林瑞如 陈位超 周超贤等 (234)
遏制农业面源污染 建设“绿色广东”..... 陈位超 (238)
坚持搞好水土保持 建设广东秀美山川..... 胡振才 胡 建 (242)
建设绿色广东 发展绿色农业 切实增加农民收入..... 刘洪盛 (245)
保护蓝色生态 建设绿色广东——广东近海生态存在的问题与对策..... 孟 帆 (249)

农业生物多样性及其利用

- 现代农业生态系统中作物种质资源可持续利用面临的挑战..... 卢宝荣 熊志远 (257)
间套作体系根系相互作用在决定生态系统生产力和养分资源利用效率中的重要作用.....
..... 李 隆 张福锁 (262)
中国茶树种质资源生物多样性的 RAPD 分析..... 叶添谋 曾 亮 章传政等 (269)
拟南芥抗病基因的遗传多样性研究..... 张伟丽 成后龙 (276)
广州市蝙蝠的多样性及在农业生态环境中的作用研究..... 吴 毅 陈瑞红 余文华等 (285)
基于 16SrRNA/DNA 分析的土壤微生物生态学效应*..... 黄进勇 周 伟 (292)
PCR-DGGE 法分析施肥对番茄青枯病及土壤微生物多样性的影响. 蔡燕飞 廖宗文 章家恩 (297)
2004 年稻田养鸭物种多样性研究进展..... 黄璜 傅志强 陈灿等 (304)
稻鸭共生对稻田水体环境因子的影响..... 汪金平 曹凑贵 汤颢军 (312)
森林资源利用的传统知识与生物多样性保护..... 胡 林 苏志尧 (316)
复合农林系统节肢动物群落多样性及对害虫的生态控制. 黄明度 欧阳革成 刘德广等 (322)
宁夏荒漠草原植物群落结构和物种多样性研究..... 杜茜 沈海亮 王季槐 (325)
氯酸钾对龙眼果园土壤动物群落影响的初步调查研究*..... 张修玉 黎华寿 曾祥有等 (330)
捕食螨防治柑桔红蜘蛛的综合技术研究..... 黄惠花 袁炎明 潘华金等 (337)
南丰蜜桔果园土壤微生物数量变化的初步研究..... 陈春平 肖运萍 刘仁根等 (339)
兽药残留对环境微生物影响的研究进展..... 吴银宝 (343)
铅污染土壤微生物群落的影响及植物的调节作用..... 杨如意 唐建军 陈 欣 (344)
微生物降解农药残留机理及菌种筛选的研究进展..... 张 超 卢 艳 李冀新等 (349)
茉莉酸甲酯与水杨酸甲酯对水稻化感活性的影响..... 毕海红 曾任森 骆世明等 (355)
次生产物-植物防御病虫害侵染的“化学武器”..... 李明 曾任森 骆世明 (361)
自毒物质的动态过程及连作作物自毒作用生物活性响应模拟 刘迎湖 陈 实 乐美旺等 (367)

农田生态与作物生态学

- 荒漠绿洲区花生优化灌溉及光合生理特性研究..... 苏培玺 (374)
- 生命系统的功能冗余..... 蔡昆争 骆世明 段舜山 (381)
- 模拟氮沉降增加条件下丛枝菌根真菌对植物相互作用的调节 蒋琦清 陈静 唐建军等 (385)
- 茶树—苜蓿间作条件下主要生态因子特征研究..... 董召荣 沈洁 朱玉国等 (392)
- 不同基因型大豆生育特性与积硒关系研究..... 周勋波 李全起 吴魏等 (398)
- 植物与大气间 N_2O 的交换..... 李俊 同小娟 于强等 (403)
- Cu 胁迫对柑桔叶片酶活性和诱导蛋白表达的影响..... 邱栋梁 张国军 余东等 (410)
- 不同生长发育阶段叶下珠中硝酸盐、亚硝酸盐及维生素 C 的含量..... 邱贺媛 曾宪锋 (414)
- 番薯藤中硝酸盐、亚硝酸盐和 V_c 含量的测定..... 曾宪锋 刘雨红 邱贺媛 (417)
- 土壤中残留毒死蜱的作物效应..... 汪立刚 蒋新 (421)
- 环境生态因子对稻米品质的影响研究进展..... 全国明 章家恩 许荣宝等 (428)
- 结实期土壤水分对稻米品质主要性状和稻米 RVA 谱特征的影响..... 蔡一霞 朱庆森 (434)
- 广州优质米早籼品种(组合)对张家界中稻的气候生态适应性的初步研究..... 严斧 (438)
- 稻田土壤养分的迁移规律及其环境风险..... 颜廷梅 杨林章 单艳红 (439)
- 不同氮素用量对高肥力稻田水稻—土壤—水体氮素变化及环境影响分析.....
..... 汪华 杨京平 金洁 (448)
- 恭城县生态果园土壤肥力的评价..... 唐志鹏 蒋代华 顾明华等 (456)
- 河北省化肥施用与农业可持续发展..... 董印丽 (461)
- 橡胶林生态系统 N、P、K 循环的分析与模拟..... 秦钟 (466)
- 江西红壤旱地伏秋干旱的成因及抗旱栽培技术..... 彭春瑞 罗奇祥 邱才飞 (472)
- 风化煤对新疆荒漠盐碱土壤的改良效果研究及其经济评价.....
..... 木合塔尔·吐尔洪 西崎·泰 木尼热 阿布都克力木 (475)
- 佛山市菜园地土壤及蔬菜重金属含量特征分析..... 聂呈荣 林初夏 杜瑞英等 (481)
- 环境激素 PAEs 在珠江三角洲地区蔬菜生产基地土壤的污染特征.....
..... 蔡全英 莫测辉 李云辉等 (487)
- 利用套种和混合添加剂处理重金属污染土壤..... 卫泽斌 马吉堂 龙新宪 (488)
- 不同农业模式下水土流失的生态学特征研究..... 马琨 王兆骞 陈欣 (496)
- 水土流失的生态学特征及监控途径研究..... 马琨 王兆骞 陈欣 (502)
- Accurate Dynamic Determination of the Soil Water Content via Time Domain Reflectometry (TRIME) as an Additional Input Parameter for Site Specific Farming.....
..... Jantschke Peter Blume Karlheinz Köller (503)
- Influence of Nutrient Deficiencies on the Contents, Yields of Paclitaxel and 10-Deacetylbaccatin III and Visual Symptoms of Young *Taxus wallichiana* var. *mairei*..... WANG Chang-wei LI Ming-guang ZHANG Yi Ni Guang-yan PENG Shao-lin (509)

农业生态学的回顾和展望

骆世明

(华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广州, 510642)

摘要: 本文回顾了农业生态学的发展历史, 按时间分四个阶段分析了农业生态学的发展特点。文章着重分析进入 21 世纪以来农业生态学的基础研究、应用基础研究和应用研究在中国发展的态势, 并与世界的主要进展相比较。近年的进展按 14 个方面进展归纳总结, 即: (1) 农业生态系统的能量流动、养分循环、水分平衡规律研究, (2) 农区水土流失和风蚀的规律研究, (3) 农业土地利用的景观生态规律研究, (4) 全球变化和农业生产的相互影响规律研究, (5) 污染物对农业的影响规律研究, (6) 农业的生物多样性利用规律研究, (7) 农业生产中的化学生态关系的规律研究, (8) 生态农业和有机农业研究, (9) 农业生态系统和农田生态系统模式研究, (10) 农业区域生态安全、生态恢复和粮食安全研究, (11) 节水、覆盖和免耕技术的生态效应研究, (12) 蚯蚓和微生物等生物资源的农业应用研究, (13) 传统和新型营养资源的开发研究, (14) 农业生态研究的系统分析方法的发展等。文章进一步讨论了未来我国农业生态学研究值得重视的一些切入点。

关键词: 农业生态学; 可持续发展; 生态农业; 生物多样性; 化学生态学; 化感; 全球变化

A review and prospect of Agroecology

LUO Shi-Ming

(Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou, 510642)

Abstract The history of agroecology development is reviewed. It is compared the advance on the research of Agroecology since the entering of 21 century between China and the world. The detail research advance in 14 fields is introduced. These fields are the research on (1) energy flow, nutrient cycling and water balance in agroecosystems, (2) wind erosion and wind erosion in agricultural area, (3) landscape ecology applied in agricultural land uses, (4) the relations between global change and agriculture, (5) contamination in agriculture, (6) biodiversity usage in agriculture, (7) chemical relations in agricultural production, (8) eco-agriculture and organic farming, (9) system patterns in agriculture, (10) ecological safety, recovery ecology in agricultural region and food safety, (11) new technical development in water saving, mulching and no-tillage, (12) the usage of new biological resources such as earthworm and microorganism, (13) new nutrient resources, (14) new methods in agricultural system analysis. In order to push forward the development of agroecology in China, key fields for future research are identified.

Key words: agroecology; sustainable development; ecological agriculture; biodiversity; chemical ecology; allelopathy; global change

尽管农业生态学就其起源可以追溯到 1929 年意大利教授 G. Azzi 开设的农业生态学课程和他 1956 年出版的《农业生态学》^[1], 但是在现代意义上作为生态学在农业的应用分支, 农业生态学是在七十年代才兴起的。六十年代开始呈现的生态环境危机和现代生态环境意识的觉醒直接推动了生态学向农业领域的渗透。渗透的结果既对农业产生了深刻的影响, 又反过来对生态学自身产生了积极的推动作用。生态学对农业的影响包括对农业目标、农业生产基本方式和农业技术发展的深刻影响。农业通过为生态学理论的验证、作为实施生态调控和生态工程的合适对象、通过很多现象的启迪又推动生态学的发展。例如: 农业中生物多样性和稳定性关系、人工群落的群落演替规律研究、调节物质循环和能量流动的农业工程、有害生物的生物多样性防治等对推动生态学的发展有积极的作用。

在生物与环境关系的角度看, 农业从来就是一个天然的生态实验场。在人类在把野生动物驯化成为农业生物开始, 就要累积大量的生态学知识和经验。农业科学中有关农作物栽培、森林培

育、家畜饲养、水产饲养、渔业捕捞、食用菌生产等都总结了生物个体生长、发育、繁殖和环境关系的知识，也总结了群体或群落发展规律，探讨了病虫害种群发生和控制规律。但是农业科学自从受到农业生态学影响以来，却产生了巨大的进步。(1) 对农业的空间认识层次提高到生态系统、景观、区域和全球的高度；(2) 对农业发展的时间尺度发生了重大变化，已经能够清楚把握工业化农业仅仅是农业发展的一个阶段，从而提出生态农业或其他可持续的替代农业方式；(3) 了解了农业过程的生态环境影响能力和影响机制，(4) 对农业发展目标做出了巨大修正，农业不仅仅要养活人（社会效益），也不仅仅创造社会财富（经济效益），还在于维系区域和全球的持续发展（生态效益）(5) 在农业布局、农业格局、农业技术方面正在发展出一套和生态理念相匹配的，充分利用生态关系和协调生态关系的方法和技术体系。

由于生态学概念的发展、现代技术手段的渗透和研究条件的改善，农业生态学研究可以借助的方法正在不断改进。这对推动近年农业生态学在景观、分子和信息方向的发展和在原有领域的深入起到了举足轻重的作用。由于社会对农业产品数量和质量安全的关注不断提升，社会对生态灾害和环境安全的关注也不断提升，有力地促进农业生产方式在向可持续方向转变，为农业生态学的发展提供了丰富的素材和广阔的空间。

1 农业生态学的发展阶段

回顾二十世纪农业生态学的发展，我们可以看到四个阶段比较明显的阶段。

1.1 在上个世纪七十年代之前的农业生态学萌芽阶段

G.Azzi (1956) 研究的农业生态学是研究环境、气候、土壤对农作物遗传、发育、产量和质量影响的科学。基本上属于个体生态学范畴^[1]。在六十年代初，我国著名水稻专家丁颖教授领导开展了系统的水稻光温生态研究。在生态系统生态学影响下，1964年起国际生物学计划（IBP）开展的全球生态系统生物生产力研究中，大量涉及农业生态系统初级生产力的测定和农业生态系统的能量及物质平衡。尽管农业各个学科对的生态学知识在不断累，针对工业化农业的替代农业实践在各国也在不断探索之中，但是有关知识和认识还未从生态系统的水平总结和提升。

1.2 在上个世纪七十年代和八十年代现代农业生态学的形成和初步发展阶段

日本小田桂三郎 1976 年出版的《农田生态学》已经能够利用系统分析方法在农田生态系统的高度看待各种关系^[2]。1974 年国际科学期刊 *Agroecosystems* 创刊，后来该刊物改名为 *Agriculture, Ecosystems and Environment*。1979 年美国圣地亚哥大学的 G.W.Cox 和 M.D.Akins 合作编写了《农业生态学—世界粮食生产系统的分析》一书^[3]。该书是作为大学非农科学生教材编写的，因此有大量的农业基本概念，如气候、土壤、病虫害等。作者原来并不打算把农业生态学作为一个学科提出来，因此全书也没有对农业生态学进行定义。但该书作者能够从农业起源地生态条件分析开始的时间跨度和从能量平衡分析的生态系统层次来理解农业却是难能可贵的。该书对中国当时农业科学界认识农业生态学产生过重要的作用。1976 年在荷兰召开的国际环境专题讨论会后，M.J.福里赛尔主编出版了以《农业生态系统中的矿质循环》为名的论文集^[4]。这本书首次通过统一的生态系统概念模型，把世界各地有关农业生态系统物质循环的研究归纳起来。在 1983 年美国加州大学贝克里分校的 M.A.Altieri 写了一本教材，题目为《农业生态学—替代农业的科学基础》^[5]。这本教材明确提出农业生态学是在农业生态系统概念支持下，用生态学整体观研究农业的学科。

1980 年前后，我国沈阳农学院的沈亨理教授已经在全国讲学，提倡用系统观分析和解决农业中的问题。全国第一次全国农业生态学教学研讨会在 1981 年在华南农业大学举行。E.P.Odum 的生态系统生态学被系统介绍给农业院校和科研单位开展栽培和耕作学的人员。1983 年在广州华南农业大学开展的第二次全国农业生态教学研讨会上，不但邀请了美国农业生态学专家讲学，介绍了生态系统分析方法，还交流了个多个大学编写的农业生态学内部教材，其中包括华南农业大学吴灼年主编和华中农业大学陈隶华主编的教材。在这些基础上，吴志强（1986）编写出版了《农业生态学基础》^[6]，骆世明（1987）主编了《农业生态学》专著^[7]。农业生态学是“运用生态学和系统论的观点及方法，把农业生物及其自然和社会环境作为一个整体，研究其中的相互联系、协同演变、调节控制和平衡发展规律的学科”。在八十年代以钟功甫（1987）为首的珠江三角洲基

塘系统研究和以冯耀宗（1982）为代表的橡胶和茶叶间作生态系统的研究是我国这个时期有代表性的高水平农业生态学研究^[8-9]。科学家也开始积极推动用生态学原理和系统工程原理指导生态农业实践。我国生态学学会于1979年成立，首任理事长马世骏先生十分重视生态学工程原理在农业的应用，不但多次参加全国生态农业会议，还主编出版了专著《中国的农业生态工程》（1987）^[10]。卞有生院士主持的北京留民营生态农业试点工作就是其中一个曾经有较广泛影响的生态农业试点。

在这个阶段农业生态学已经形成以生态系统理论和系统整体观点为基础的学科体系，开始发挥其理论在指导农业实践中的作用，提出了生态农业建设的目标。

1.3 在上个世纪九十年代农业生态学研究领域拓展和生态农业实践系统展开的阶段

在这个阶段生态学的三个新兴研究热点：可持续发展，全球变化和生物多样性深刻影响到农业生态学的发展。继1988年在美国召开的可持续农业系统国际研讨会之后，1991年4月联合国粮农组织在荷兰的Den Bosch召开世界农业与环境会议，会后发表了“Den Bosch可持续农业与农村发展宣言”。美国M. A. Altieri（1995）出版的书《农业生态学：可持续农业的科学》中定义农业生态学是“为高生产力、保护资源、文化敏感、社会公正、经济赢利的农业生态系统提供研究、设计和管理方面的基本生态学原理的学科”^[11]。美国加州大学的Stephen R. Gliessman（1997）在他出版的《农业生态学：可持续农业的生态学过程》中定义农业生态学是“运用生态学概念和原则，设计和管理可持续农业生态系统”的学科^[12]。由于分子生物学技术的成熟和对生态学的扩散，分子生态学逐步形成。在农业生态学领域深入了解物种基因和环境关系，揭示转基因作物的安全性的研究开始出现。在农业领域的化学生态学研究受作物化感作用研究进展的鼓舞，重新活跃了起来。在信息技术和系统分析工具日益完善，网络技术和空间遥感资料逐步普及的条件下，景观生态学在农业的应用开始活跃，以信息和计算技术为基础的农业生态学有关模型和系统分析方法更加趋于成熟^[13]。中国在农业生态学理论引导下开展的生态农业建设得到国家的高度重视，在1993年农业部和国家计划委员会等7个部委共同组成全国生态农业建设领导小组，系统安排了51个生态农业县试点工作，在1999年通过验收。2000年起启动第二批示范县建设（农业部科技教育司等，2000）^[14]。1990年农业部的绿色食品工作借助亚洲运动会在北京召开之际拉开了发展的序幕。这对后来的健康食品（包括绿色食品、有机食品和无公害食品）发展有重要的影响^[15]。

1.4 进入21世纪，农业生态学深入研究和广泛应用的新阶段

进入21世纪之后农业生态学继续向深入发展，在生态系统和景观水平更加全面揭示农业生物和环境之间的实质关系（基础研究），有关农业可持续发展和生态农业相关的技术基础进一步拓深（应用基础），在生态恢复、生态农业建设、健康食品生产的实践中农业生态学原理在模式选用、品种筛选、养分供应、病虫害防治等方面得到更加广泛的应用（技术体系），统计分析和系统分析等新的研究方法和研究手段不断充实，在有关机理研究、发展预测、系统评价、区域规划方面得到应用（分析方法）。下面就以中国为主结合部分国外的成果对进入21世纪以来农业生态学的最新进展作一介绍。

2 农业的生态规律被进一步揭示

2.1 农业生态系统的能量流动、养分循环、水分平衡规律研究

通过把农业生态系统各组分连接起来的能量流动、物质循环、信息传递、价值偶合是农业生态学的重要基础研究。近年来国内长期定位研究和研究方法的突破使整个能物流的关系更加清晰。有关研究对维持农业土壤健康和农业生产力的可持续发展有重要作用。

营养元素平衡：有越来越多中长期定位研究的报道。在东北辽宁西部，13年的中长期肥料试验平均每公斤氮增产9.4kg粮食，每公斤磷增产12.7kg，利用养猪和农田80%产物的循环回田，增产效果达到7.0—9.8%，且有逐步增加的趋势^[16]。1978-1988年在陕西关中地区农田的长期定位试验结果表明单施化肥的土壤有机质水平没有下降，由最初的14.1g/kg上升到1988年为14.7g/kg，但是土壤胡敏酸的热值有所下降，表明分子缩合程度增高，发生“老化”^[17]。土壤氮的气相和液相流动是研究的难点，我国这方面的研究近年有所突破。例如王效科，庄亚辉等（2001）则报道

了中国农田土壤 N_2O 排放通量分布格局研究结果。研究表明我国农业土壤 N_2O 排放总量为 0.31TgN/年, 平均排放通量为 $3.58\text{kgN/m}^2\text{年}$ ^[18]。袁东海, 王兆骞 (2002) 在华东研究不同农作方式导致的红壤坡耕地土壤氮素流失特征^[19]。周顺利, 张福锁 (2001) 研究了华北冬小麦土壤的氮素表现盈亏, 结果表明土壤表层硝态氮向深层淋洗严重^[20]。李裕元, 邵明安 (2002) 通过模拟降雨, 研究施肥方法对坡面磷素流失的影响。结果表明为了减少磷的流失, 最好是条施磷肥, 其次是穴施, 最差是和土壤混施^[21]。张志剑, 朱荫湄等 (2001) 有机 (猪粪) 和化肥以 1: 1 的方式比单一磷肥施用既增加土壤有效磷量, 又增加田面水的磷水平 (7 天后是单施磷肥的 3.4 倍), 施磷肥或土壤被搅动后一周是控制磷流失的关键环节^[22]。由于微量元素平衡涉及植物营养和污染问题, 微量元素平衡研究是补充主要营养元素平衡的一个重要领域。王体健等 (2001) 的研究表明江西鹰潭红壤大气 SO_2 和 SO_4^{2-} 的干沉降速度为 0.43cm/s 和 0.23cm/s , 干湿沉降通量 7.8g/m^2 其中干沉降占 86.2%^[23]。林匡飞等 (2003) 系统研究了湖北江汉平原农田生态系统铜和硼的循环与平衡^[24, 25]。

能量流动。近年浙江大学的两个研究结果值得注意。叶旭君, 王兆骞 (2001) 研究浙江德清县农田生态系统能量投入的优化, 利用能量投入与产出的 LOGISTIC 关系, 以及有机能和无机能比例与效率的二次抛物线关系, 通过经济学的边界效益理论, 计算出最优投能水平和相应的有机能 / 无机能结构^[26]。杨京平等 (2002) 的研究揭示了作物热值随生育期和施肥水平发生变化的规律。我国有关农业生态系统能量流动的研究结果还不多, 需要进一步加强^[27]。

2.2 农区水土流失和风蚀的规律研究

水蚀问题:这是多雨地区农业需要面对的重要问题。我国和世界各国的研究都比较深入。田光进, 张增祥等 (2002) 发表中国耕地土壤侵蚀空间分布特征及生态背景的研究报告。研究揭示 20 世纪 90 年代中国耕地侵蚀面积达到 33.15%, 其中水力侵蚀占 88.43%, 风力侵蚀占 11.08%, 冻融侵蚀占 0.32%, 工程侵蚀占 0.13%^[28]。在热带的巴西, Sparovek, G., Schnug, E. (2001) 提出“土壤寿命”概念值得注意。他认为热带土壤流失比形成快, 因此可以用土壤由于流失直到不能够维持作物生产需要的时间表达为土壤寿命。在巴西东南部的 Ceveiro 流域, 平均 50% 土壤达到维持作物生产需要最小深度的时间还有 563 年, 甘蔗地就只有 361 年^[29]。

风蚀问题:这是干旱半干旱地区的重要农业生态问题, 我国长期风蚀研究和实验性风蚀研究还不足。Schellinger, W.F. (2001) 的在美国东北部研究表明夏季保留作物覆盖和地面的粗糙可以减少风蚀。在六年的研究中, 发现传统翻耕冬小麦-夏休制度 (CT)、少耕 (MT) 和延迟少耕 (DMT) 的平均降雨滞留效率分别为 51, 54, 57%^[30]。Larney, F. J. 等 (2000) 在北美大湖区域, 通过人为方法移走 20cm 表土模拟土壤风蚀, 结果粮食产量减少 53%。通过增加动物厩肥是恢复风蚀后耕地地力的最好办法, 可以使产量增加 158%; 客土效果中等, 增加产量 89%; 增加氮和磷化肥的效果最差, 仅增产 40%^[31]。

2.3 农业土地利用的景观生态规律

景观生态学是一个新兴的生态学研究领域, 在上个世纪九十年代逐步走向成熟, 并且渗透到农业生态学和其他有关分支学科的研究中。

农业景观的变化过程和动力分析:景观生态学在农业中的应用正在发展, 国内已经通过实地考察调查、利用不同时间的遥感影像、航空照片和相应的 GIS 软件 (ArcView Arc Info 等), 通过对斑块和廊道等景观元素的统计, 先后研究了干旱地区绿洲如甘肃民勤绿洲、科尔沁、黑河流域、北方农牧交错带、太行山中低山区河谷、长江三角洲等农业和牧业区域的变化有关研究揭示了农业斑块和城市的关系、与流域位置的关系等。这些研究还追溯了农业景观变化的原因和动力。农业景观的变化大多和人口增长、经济发展、农业的不适当开发有关。在近百年由于移民和农业开发, “科尔沁草原”在我们的眼皮底下变成了“科尔沁沙地”的典型是触目惊心的^[32-41]。

农业景观变化模型:黄贤金等 (2002) 利用多元回归分析建立方程预测长江三角洲的耕地变化, 六个驱动因素为: 人口非农业水平、粮食环比指数、经济非农化发展水平、GDP 增长环比、耕地保护政策、时间发展^[42]。张永民等 (2003) 更进一步, 利用在景观水平的土地利用变化预测

模型 CLUE-S (the Conversion of Land Use and its Effects at Small regional extent)。利用奈曼旗 1985 年的土地利用数据和相关的驱动因素,模拟到 2000 年的土地利用状况,在 500mX500m 水平上模拟的结果与现状比较,正确率达 85%^[43]。

农业景观功能研究:目前国内在景观水平了解农业功能方面的研究还比较少,其中张凯,闻大中等(2002)研究沈阳市郊秋菜田斑块与玉米田斑块,结果表明有 7 个目的昆虫以平均 10.3 只/m.d 流量跨斑块边界,道路扬尘对 14m 内的菜地有较大影响^[44, 45]。Erie C.Ellis (2001)和中国学者进行的研究中利用近期卫星遥感、40 年代航空照片、地面取样和农户调查等方法相结合,计算出以景观单元变化和农业实践方式变化引起的物质投入产出变化。这种研究方向值得重视^[46]。

农业景观设计和生产组织:如何在景观水平组织农业生产也已经引起重视,刘学录,任继周(2002)比较系统地介绍以景观格局为依据的系统耦合思想,认为系统生产力的提高决定于人为的耦合优化过程,论文还以河西走廊山地—绿洲—荒漠复合系统的耦合为例说明了有关的景观生态学机制^[47]。Di Pietro (2001)研究法国 Central Pyrenees 两类农业生产组织方式,一类是在景观水平,整个村有很强的组织能力,在流域水平上组织生产,另外一类是在农田水平。农田水平组织的生产导致空间上专一化的农场,它们在生态环境上相互独立,系统比较脆弱和不稳定。相反,在景观流域水平组织的生产由生态上相互联系的分区进行,农业生态环境比较稳定,这是将来应当在政策上鼓励的方向^[48]。

2.4 全球变化和农业生产的相互影响规律

全球变化引起的大气成分和辐射变化对农业生产的影响研究目前主要集中在作物方面。近年有研究不仅停留在形态、产量、品质方面,还深入到生理生化变化方面,个别研究还开始进入遗传和分子水平。全球变化对农业的影响还表现在对生态系统土壤、杂草、病虫、养分循环的影响。农业生态系统也对全球变化有重要影响,其中有关卤甲烷在农业和自然中的释放研究还未受到足够的重视。

2.4.1 全球变化对农业的影响研究

二氧化碳:中国和日本合作建立的研究空气 CO₂ 增高的设施 FACE (Free Air Carbon dioxide Enrichment) 在 2001 年投入使用,使我国在这方面的研究上了一个新的台阶。《应用生态学报》2003 年 10 期的专栏登载了 15 篇文章分别报道了对水稻的产量形成、颖花分化和退化、氮的吸收利用、冠层微气候、CH₄ 和 N₂O 排放、田间线虫类群、与稗草的竞争等方面的影响,还报道了 FACE 系统的结构、控制和数据分析。尽管在水稻和小麦的研究表明 CO₂ 增高有利于产量的显著提高^[49],但是在香蕉和荔枝的研究则表明空气 CO₂ 增高会使光合作用下降^[50, 51]。

臭氧:白月明,郭建平(2002)研究了水稻与冬小麦对臭氧的反应,结果表明小麦比水稻对臭氧敏感,产量下降幅度大于水稻^[52]。

紫外线辐射:辐射中 UV-B 的增加对主要作物都有负面影响。番茄、大豆、菜豆、黄河密瓜的株高、叶重量、总生物量、叶面积、比叶面积,上胚轴长度等指标都随 UV-B 的剂量增加而下降。但是 UV-B 在低剂量时对大豆有促进作用^[53, 54, 55, 56]。

2.4.2 农业生产过程对全球变化的影响

农业生产过程中的温室气体排放对全球变化有重要影响。中国农田土壤 N₂O 排放通量分布格局研究中利用 DNDC (Decomposition and Denitrification) 模型,各个县的有关气象、土壤、农业种植资料,在 GIS 上利用 Arc/Info 进行分析。首先用国内有关实际数据对模型结果进行检验后,再对全国的情况进行模拟。结果表明,我国农业土壤 N₂O 排放总量为 0.31TgN/年,平均排放通量为 3.58kgN/m²年^[57]。大气卤甲烷含量与平流层臭氧破坏关系密切,卤甲烷最大的自然释放来源可能是沿海湿地、水稻田、热带森林等陆地系统。随着对人工合成 CFCs 和 CH₃Br 的控制,自然和农业来源的了解和调节变得更加重要,目前国内还没有这方面的研究报道^[58]。

2.5 污染物对农业的影响规律

随着国家的工业化和城市化进程的加速,农业生产面临的污染问题也越来越突出。我国有关农业生产和污染的关系的研究相当多。

重金属污染: 有关 Pb、Cd、As、Cu 等重金属污染对农作物和农田生态系统影响的研究比较活跃。研究已经注意到危害的机理研究,还考虑到生物修复、使用有机酸和 EDTA、耐性和抗性品种筛选等方法克服或减轻危害的可能性。有机污染物对农业的影响也已经开始有报道。徐照丽,吴启堂等(2002)发现了对镉有抗性的菜心品种。该研究发现“特青 60”比“迟心 2 号”更加适应高浓度 Cd 的存在。在 10.0mg/kgCd 处理下,“特青 60”比对照干重增加,而“迟心 2 号”减少。这种对污染有抗性品种的发现和高富集品种的发现有同等重要的意义,值得重视^[59]。

有机污染和酸雨: 刘宛,孙铁珩等(2002)报道了氯苯胁迫对大豆种子萌发的伤害,1,2,4-三氯苯浓度在 300 μ g/g 以上大豆种子停止发芽。在 1,2,4-三氯苯不同浓度下,SOD 活性下降,MDA、蛋白质和下胚轴直径增加^[60]。邱栋梁,刘星辉等(2002)比较系统地研究了模拟酸雨对龙眼的影响,研究发现喷 15mmol/L $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 可以增加叶片的光合作用速率,表现出模拟酸雨胁迫下钙对龙眼叶片的良好保护作用^[61, 62]。

2.6 农业的生物多样性利用规律

自从云南农业大学的朱由勇教授 2000 年在 NATURE 上发表关于利用生物多样性减少稻瘟病研究的结果后,农业生物多样性成为目前农业生态学研究中最有吸引力的研究领域之一^[63]。

农业发展对生物多样性影响的历史: 人类的农业活动和其他生产活动在历史上曾经引起了地球生物多样性的巨大变化。Erika S. Zavaleta, Valerie T. Eviner 等(2000)在 Nature 上发表文章,表明历史上人类改变地球环境引发了 6 次重大灭绝事件,使全球生物分布发生了重大变化。这些变化改变了生态系统的过程和可塑性,也改变了人类能够获得的生态系统的服务^[64]。

遗传多样性方面, 周晓馥等(2002)利用 RADP 与 SSR 技术进行野生大豆种群内分化的研究,对 16 个来自 25°N 的野生大豆材料的分析表明种群内存在大量变异,146 个标记位点中有 60 个具有多态性,占 40.8%^[65]。在物种多样性方面,王卫卫,胡正海等(2002)在甘肃、宁夏部分地区不同生态环境下采集到 38 属 98 种豆科植物根瘤样本,分离到 360 株根瘤菌,其中 44 株根瘤菌是从 30 种未被人们报道过可以结瘤的豆科植物中来。农业生物丰富的遗传多样性值得进一步发掘^[66]。在农业对生物多样性的利用方面,刘德广等(2001)报道了广东东莞建立的荔枝-牧草复合系统和单一系统进行比较的结果。研究表明节肢动物的数量、物种丰富度、均匀性、多样性都提高。用物种数/个体数,天敌数/植食性昆虫数,多样性变异系数等指标描述的系统稳定性都以荔枝-牧草复合系统为高^[67]。韩宝瑜,江昌俊等(2001)对单行条植茶园,三行条植茶园,梨—茶间作,栗—茶间作对比研究得到类似的结论,间作茶园含有较多的物种和个体,较高的多样性,而且多样性比较稳定,益害物种数之比,益害物种个体数之比均高^[68]。冯耀宗(2002)云南种植巴西橡胶和云南大叶茶建立多层次结构的群落,蜘蛛大量存在,40 年来茶小绿叶蝉数量一直保持在经济防治指标内,不用任何农药防治。该文章还介绍了朱由勇教授利用抗病和感病水稻品种的间种,使稻瘟病比单一栽培减少 94%,产量增加 89%的研究结果^[69]。李海潮,苏新宏等(2002)研究不同基因型玉米间作复合群体的生态生理效应,结果表明抗病性差和抗病性好的品种间作形成的群体对叶斑病和叶锈病的抵抗明显能力提高,抗倒伏能力也提高^[70]。蔡燕飞,廖宗文等(2003)用不同用量的生态有机肥使用后,番茄的青枯病发生率从 100%下降到 39%-50%。利用土壤微生物的脂肪酸甲脂(FMAEs)分析技术进行研究的结果表明土壤的微生物结构发生明显变化,革兰氏阴性细菌、真菌、和 AM 菌根菌的标记性脂肪酸甲脂增加^[71]。

2.7 转基因作物的生态安全性研究

人们对转基因作物的担忧除了食品安全以外,主要是对生态安全的忧虑,包括转基因植物变成杂草、基因漂移、对非靶生物危害、害虫产生抗性、抗病毒转基因作物的新病毒问题等。目前国内科技人员和政府都认识到加强对转基因作物安全性研究的重要性,但是目前发表的综述性文章比较多,直接研究结果不多。魏国树,崔龙等(2001)报道转 Bt 基因棉“保铃棉”和“中棉 30”,和常规棉防治及不防治对比,发现转 Bt 基因棉田的节肢动物个体总数显著减少,达 71.0-78.3%^[72]。但是,刘万学,万方浩等(2002)报道 1998 河北棉区转 Bt 基因棉田节肢动物种类增加 30.7%,功能团多样性增加 66.9%,天敌和中性的节肢动物类增加 97.6%,丰富度增加 158%,

害虫类丰富度减少 45.7%，主要害虫棉铃虫、蚜虫、蓟马减少 98.9%，69.0%，72.6%，次要害虫害蝻、粉虱、叶蝉增加 2.2、3.2 和 14.8 倍^[73]。

2.8 农业生产中的化学生态关系研究

农业生产中农作物和杂草之间有化学相互作用，农作物和害虫之间有化学相互作用，农作物和害虫及害虫天敌之间也有化学相互作用。植物在进化中产生的次生化合物和植物抵御逆境及与其他生物竞争的生存需要有关。研究这些化学相互关系不仅是揭示有关的自然规律，还可以为农业生产中利用这些化学相互关系提供科学基础。由于微量化合物测定手段的逐步普及和信息技术的进步，有关研究正在取得另人感到兴奋的进展，是未来一个重要的研究方向。

2.8.1 农业的化感研究

传统农业和耕作制中很多化学生态学现象现在才逐步被揭示。逆境往往会刺激植物化感物质的产生。不利的土壤、气候条件和有害生物侵害都会形成这种逆境的刺激。化感物质不仅在争夺资源中用于抗击其他植物的竞争，还在维护生存中用于抗击病虫等有害生物的伤害。同一种或同一类化感物可以有多种用途，表现出进化的经济性和有效性。植物的化感不仅表现在整株水平，还表现在组织培养阶段。化感不仅在高等植物之间产生，还在微生物和高等植物之间产生。

传统农业的化感利用研究：Caamal Maldonado J. A., (2001) 研究表明，墨西哥传统农业用豆科作物作为覆盖作物或用作堆肥。这种实践既有肥田作用，减少水土流失作用，还有除草作用。绒毛豆 (*Mucuna deeringiana* (Bort) Merr.)、刀豆 (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.)、一种银合欢 (*Junbiebean* (*Leucaena leucocephala*(Lam.) de Wit)和野生 tamarind(*Lysiloma latisiliquium* (L.)Benth.)的水提物均有强烈的植物抑制作用。绒毛豆和银合欢抽提液还有抑制线虫的作用。绒毛豆被利用作为覆盖物时使土壤的线虫数量减少 50%以上。田间实验的结果表明，所有和玉米间作的上述豆科作物都显示出减少杂草的效果。绒毛豆使杂草减少最多，达 68%。玉米产量在头两年都升高了^[74]。

化感与耕作制度关系：韩丽梅，沈其荣等 (2002) 研究大豆地上部水浸液的化感作用，证明正茬、重茬、迎茬大豆水浸液对沙培大豆的生长有显著的化感抑制作用，主要化合物鉴定为：丁二酸、苯甲酸、邻羟基苯甲酸、4-羟基苯甲酸、主对羟基肉桂酸、2-甲基苯酚、2-氧甲基-4-乙基苯酚、间苯三酚、2-甲基苯甲醛、3-甲基苯甲醛等^[75]。

植物病害对化感的影响：Mattner, S. W., (2001) 发现有锈病的大麦导致旁边的苜蓿生物量减少 56%，比没有锈病的厉害。温室研究表明，大麦有锈病的土壤比没有锈病的土壤使苜蓿生物量多减少 36%，土壤淋出物也使苜蓿生物量减少多 27%。研究表明锈病可能强化大麦的化感作用^[76]。

真菌对高等植物的化感作用：日本曲霉产生的黑麦酮酸 F 对高等植物有化感作用，它的作用方式包括降低 SOD 活性，增加 MDA 含量，使叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量下降，光合作用下降，呼吸、膜透性、ABA 上升。电子显微镜观察表明处理后线粒体膜不完整，叶绿体膨大，层间结构被破坏^[77, 78]。

植物化感物的多重作用：孔垂华等 (2001) 证明胜红蓟挥发油对真菌、昆虫和植物都有一定的生物活性^[79]。

感物与环境的关系：胡飞等 (2002) 研究表明在气象条件差 (低温，干旱) 的秋冬季，胜红蓟的化感物含量高，在高温多雨的春夏季化胜红蓟的感物含量下降；同等浓度条件下，受体植物在低温和遮阴等逆境条件下，受到化感物的抑制作用更加大。这表明逆境能够刺激植物的化感物质产生，并且逆境和化感物的协同作用下能够形成针对资源竞争对手的强烈抑制作用^[80]。

化感作用的数学模型研究：Sinkkonen, A. (2001) 利用前人研究的综合促进和抑制作用在一起的模型，建立了一个和植物密度有关的化感作用模型。文献报道结果支持这个模型^[81]。

独脚金杂草发芽刺激物质研究：马永清等 (2003) 从山豆根组培根中提取、分离独脚金杂草发芽刺激物质 Strigol 或 strigol 类似物质^[82]。

2.8.2 水稻的化感研究

在有关农作物的化感研究中，对水稻的化感作用研究比较深入，进展也比较大。国内外的研

究不仅探讨了水稻化感作用的品种差异,还发展了快速测定方法,研究了遗传规律及其数量形状的基因定位。这将有利于在实际的水稻育种中加以应用。品种:化感水稻可以抑制单子叶和双子叶植物^[83]。水稻品种 PI312777 对莠苣有强烈化感作用^[84], Chung, I.M. 等(2000)研究表明水稻品种 Gin shun、Kasarwala mundara、Philippine 2、Juma 10 有很好的化感表现^[85]。Ahn, J. K. 等(2000)的一项研究表明 Janganbyeon 品种的谷壳温水抽提液对稗草的苗高抑制率达到 75%,干重抑制率达到 96%^[86]。遗传: Jensen, L. B. 等(2001)对粳早稻品种 IAC165 和籼水稻品种 CO39 杂交后代的 142 个自交系来对化感基因进行 QCL 定位。IAC165 对稗草有强烈的化感作用,CO39 则很弱,看来化感和根系形态遗传无关,4 个主效应 QTL 分布在 3 条染色体上,综合起来可以解释 35% 的酚类含量的差异^[87]。曾大力,钱前等(2003)通过窄叶青 8 号(籼稻)和京系 17(粳稻)杂交 DH 群体,123 个 DH 株系幼苗叶片水溶性抽提物对莠苣根系生长的抑制,通过 QTL 分析,检测到 4 个和水稻化感作用相关的位点,分别在 3, 9, 10, 12 染色体上^[88]。何华勤,林文雄等(2002)研究结果表明水稻叶龄在 7 叶对莠苣的化感作用受加性效应的影响,3-6 叶期由显形效应控制,5 叶和 8 叶期加性和显性效应均有作用,以显形为主,呈现间断表达的遗传特点。水稻化感作用受基因型和环境相互效应的影响比较大^[89]。检测:孔垂华,徐效华等(2003)报道糖甙间萜基苯可以作为快速测定为标记评价水稻品种及单植株的化感潜力的次生化合物^[90]。

2.8.3 植物病虫抗性有关的化学生态学研究

化学生态学在农业的发展在以下的新方向是另人感到兴奋的。目前的有关研究正逐步进入高潮,相信更多的成果会在今后几年到十年间大量涌现。

植物化学诱导的抗性研究:植物对微生物入侵的化学抗性物质是可以被诱导产生的。真菌结构中的不饱和脂肪酸,如花生四烯酸、亚麻酸亚油酸、油酸和细菌 hrp 基因产物都可以成为生物诱导剂。水杨酸、二氯异烟酸、二氯异烟酸酰胺、苯并噻重氮(BTH)可以诱导小麦、水稻、烟草等出现对多种病原的抗性。噻菌灵、HCl、SiO₂、NaCl、草酸、马粪浸液、聚氨基葡萄糖、诱导素(Elicitin)都可以作为非生物诱导剂,诱导出作物对不同真菌、细菌、病毒病害的抗性^[91]。何水林等(2002)研究结果表明外源水杨酸在 0.5-4mmol/L 的浓度范围处理辣椒叶片,可以诱导出对倍半萜环化酶基因的转录并表达出酶的活性,但是酶的活性比较低,且在处理后 36 小时才表达出来^[92]。茉莉酮酸可以诱导利马豆产生水杨酸甲酯和(E)-4,8-二甲基-1,3,7-壬三烯,对螨的天敌—捕食螨有吸引作用^[93]。

害虫—寄主—天敌的化学关系:刘勇,胡萃等(2001)的研究结果表明麦长管蚜和禾谷缢管蚜本身对天敌燕麦蚜茧蜂的吸引作用比不上它们和寄主植物的复合体。对燕麦蚜茧蜂的长距离吸引作用主要不是靠视觉,而是靠化学作用,靠麦蚜取食诱导的挥发性互益素作用。麦蚜取食寄主时诱导的挥发性信息主要是 2-茨烯,6-甲基-5-己烯-2-酮,6-甲基-5-己烯-2-醇,顺-3-己酰-醋酸酯,水杨酸甲酯。这些化合物除水杨酸甲酯外,都对燕麦蚜茧蜂有明显的吸引作用^[94]。

植物和昆虫及动物的化学关系:植物对植食性哺乳动物的化学防卫包括有毒的质量性防卫化合物(如氰类及生物碱类)和数量性防卫化合物(如酚类、萜类)。数量性防卫化合物易被动物吸收,产生潜在的生理影响^[95]。张茂新,凌冰(2003)报道薇甘菊挥发油的化学成分有 22 个,主要是单萜、倍半萜及其醇和酮的衍生物,对小菜蛾、黄曲条跳甲和猿叶虫有显著的产卵驱避作用,也有一定的毒杀作用,没有熏蒸毒杀作用^[96]。

耕作制度与病虫关系:阮维斌,王敬国等(2003)分析连作的障碍因素对大豆养分吸收和固氮作用的影响。研究设置 0.22 μm 微孔滤膜(土壤溶液可通过、化感影响)、30 μm 尼龙网(微生物和线虫幼体能够通过,化感和病原影响)、大量接种线虫(化感、病原、线虫)的处理区别不同类型的连作大豆的影响。结果表明化感作用、病原菌作用、线虫作用都分别对后作起到一定的抑制作用^[97]。

3 推动农业向可持续方向的发展

农业生态学直接推动、指导和影响了农业实践的发展,在进入 21 世纪后这种农业可持续发展的实践更加丰富。在某种程度上又反过来推动了农业生态学研究的进一步发展。

3.1 生态农业、有机农业的深入研究

针对工业化农业的新型农业的探索步伐一直没有停顿。在欧洲和澳洲，对“生物动力学农业”和“有机农业”进行了长期效应的探索^[98]，也进行了从工业化农业向有机生产转变的研究。例如 Daglaard, T.等（2002）研究丹麦一个流域分三个阶段实行传统养殖转换到有机养殖的过程。新型农业形式的长期效应研究和农业形式转换过程研究都是我国目前比较缺乏的。国外有机农业的产品已经影响到了消费市场和国家的立法行为^[99]。人们还提出了以多年生植物为基础的稳定自然进化系统为模式的“自然系统农业”概念，认为农业应当模仿自然草原不用翻耕，具备多样性、丰富性和高产特性，在驯化野生物种使其高产的同时，应当保持物种多年生的特点^[100]。人们甚至提出了培育多年生小麦替代一年生小麦的可行性^[101]。在发展中国家，以生态系统思想指导的农林系统（agroforestry）等实践还在推广之中。中国的生态农业概念在新的历史条件下，如何适应规模化、企业化和市场化的大环境，已经成为大家关注的问题。伍世良等（2001）讨论中国生态农业建设的五个基本问题，包括经济规模、农民接受程度、市场、资金、可持续发展的方向等方面的挑战^[102]。徐保根（2002）讨论了生态农业产业化经营问题。作者提出对生态农业实行区域化布局、专业化与规模化生产、贸工农和农工商一体化经营，实行产业化系统内的“非市场安排”和系统外市场机制相结合的构想。产业化的经营模式包括：农村专业技术协会+农户、加工企业+基地农户、专业市场+农户、农场+农户、企业家+农户、合作经济组织+农户、公司+农户、股份制企业、股份合作制企业、现代农业企业集团、中介组织+农户、采购公司+农户等形式。生态农业建设中利用景观生态学的概念提出的景观生态工程的概念值得重视^[103]。卢兵友（2001）总结了山东省西单村景观生态工程建设的经验。按景观生态学的概念提出庭院生态工程、街道美化与沼气建设工程、河道治理工程、环村林建设工程等，使资源的利用效率、生态效益和经济效益都得到提高^[104]。郑昭佩等（2002）还讨论了生态旅游农业问题。作者认为生态旅游农业以农业生产为基础、以旅游经营为重点，效益高风险低^[105]。假如说生态农业是对工业化农业的否定和革命，在信息科学指引下产生的“精确农业”在于克服农业机械化的“多”、“快”，但不能够“好”、“省”的问题，就是对工业化农业的提升和改造。在中国精确农业目前已经进入到实际设计和初步运用的阶段，但是在大面积推广前还有很多工作要做^[106, 107]。

3.2 农业生态系统和农田生态系统模式研究

有关农业生态系统和农田生态系统模式研究在中国和其他发展中国家比较活跃。近年研究的模式包括各种农业地貌，如湿地、水田、旱地、平原、丘陵坡地、山地等。研究已经深入到模式的结构和功能，还有一些比较长期的研究结果。不少模式已经引起政府的重视和农民的欢迎。由于模式是否采纳，和生产者及经营者有关，国外有关研究时已经注意开展社会学的调查，目前国内相关的研究还比较缺乏。由于我国农业的产业化和规模化发展相当快，尽管不少模式也适用于大规模的产业化生产，合适的产业化和规模化生产的模式必然和小农经济有所不同，但是目前很需要专门就这方面开展的系统研究。

3.2.1 流域模式

在东南和沿海，朱鹤健等（2002）开展了闽东南特色农业生态模式研究。模式主要结构包括山地的果-草-牧，农田的粮-经-饲，庭院的畜-沼-菌，以及建立相应的加工销售体系^[108]。黄道友，王克林等（2002）总结了湖南的6种典型模式：岩溶山区雨养旱作农业模式，山地林果药粮立体开发模式，丘岗区粮猪沼果综合开发模式，湿地粮经牧渔综合开发模式，城郊区城市服务型模式，工矿区环境治理集约经营模式^[109]。在长江上游，方创琳等（2003）研究三峡库区不同类型地区高效生态农业发展模式，提出根据三峡库区地形地貌提出沿江河谷区（175-300m）水陆循环模式实行果-粮-菜-猪-沼-鱼结合，浅山丘陵区（300-500米）共生互惠模式实行柑橘-粮-经-畜-桑-沼结合，低山区（500-800米）水土保持型模式实行林-粮-油-薯-草-畜结合，中高山区（800米以上）名优土特模式实行干果-药-茶-烟-菜-草结合，庭院小循环模式实行果-花-禽-沼结合^[110]。

3.2.2 湿地模式

Merada, I.等（2000）研究墨西哥传统的高畦深沟系统（chinampas），由于近年来利用墨西哥

城的污水进行灌溉, 导致了盐碱化过程。高畦深沟系统这种人工地貌引起了系统中土壤类脂成分有垂直分布特点以及和水分关系密切的特点^[111]。朱洪光, 钦佩(2002)研究在江苏盐城海涂上建立的草基鱼塘塘模式。该模式是在堤边和塘内种植一些芦苇, 冬季排水后种植牧草, 系统有利于改良海涂盐土, 并能直接产生良好的经济效益, 1999年利润率达到22.86%^[112]。

3.2.3 水田模式

黄毅斌, 翁伯奇等(2001)系统研究了南方的稻-萍-鱼体系。经过8年的数据累积表明, 稻-萍-鱼体系的鱼产量达到4000-9800kg/hm², 稻田少用化肥50-60%, 少用农药30-50%, 水稻比常规稻略增, 土壤氮磷钾增加15.5-38.5%, 水稻病虫害减少40.8-99.5%, 土壤甲烷排放减少34.6%^[113]。张卫建, 冯金侠等(2001)研究了江苏的稻/牧草-鹅农牧结合模式^[114]。曹志强, 梁知洁等(2001)研究了北方的稻田养鱼, 对照的水稻纹枯病发病率为8.5%, 有鱼的处理为4.7%^[115]。黄璜, 杨志辉等(2003)研究湿地稻-鸭复合系统的CH₄排放规律。结果为稻田养鸭的早稻生育期间甲烷排放总量5.517g/m², 传统栽培为9.89g/m², 养鸭后土壤氧化还原电位增加15.3mV, 还原物质总量下降0.365cmol/kg^[116]。

3.2.4 平原耕地模式

在华北, 太行山前平原农牧结构模式的研究结果表明引进苜蓿, 配饲玉米秸秆, 实行农牧结合是太行山前平原重要生产模式^[117]。王颖等(2003)深入研究了华北平原农林间作系统林木遮荫及其对产量的影响^[118]。在西北, 张淑莲等(2003)研究关中地区小麦-棉花-辣椒-玉米立体组合模式^[119]。徐福利等(2003)大棚日光温室种植—设施畜牧养殖—沼气发酵—厕所构成的“四位一体”模式^[120]。王静, 李召祥等(2001)则研究在年降雨只有250-550mm的半干旱地区, 通过集水工程、沼气池与新型日光室联体构筑, 进行光、温、水、热重组, 实现富集雨水、节约用水、提高夜温、降低空气湿度、减少病虫害、供给CO₂、提高产量和效益的目的^[121]。

3.2.5 坡地模式

尼泊尔从1993/1994年开始 agroforestry 计划, 在1998年的采样分析中表明, 土壤肥力没有显著提高, 但是收入改善了。如果有桑一样的多用途植物引入, 经济效益会更好^[122]。在肯尼亚西部发现在猪屎豆+印度田菁, 木豆+西非灰白豆有相互利用不同层次的土壤氮的现象。木本豆科小的时候有开放冠层空间, 套种匍匐型的豆科是有利的^[123]。在肯尼亚玉米-银合欢系统比较少受到玉米螟的攻击。在条状种植银合欢的玉米地尽管少种25%玉米, 但是玉米产量还是更高^[124]。冯耀宗(2003)归纳总结云南40多年的研究结果和体会。观察一层一个种(橡胶或茶叶), 二层二种(橡胶-茶叶, 橡胶-咖啡), 三层三个物种(橡胶-罗芙木-千年健), 五层100多个种(人工雨林)的不同类型人工生态系统, 结果发现随着层次和物种数量的增加, 系统生物量和生产力上升, 小气候稳定性增加, 水土流失减少, 对低温风害的抵抗能力加强^[125]。孙辉等(2002)研究了四川宁南山区, 坡度为15-38°的褐红壤, 用新银合欢双行种植50cm, 植物篱之间4-6米, 经过五年后的植物篱可以把40cm以下的土壤养分带到上层, 通过固氮可以增加耕作层土壤肥力。土壤有机质和全氮含量分别比对照提高1.2-2.3倍, 0.5-1.7倍。和种植带上土壤相比, 0-60cm植物篱下土壤有机质和全氮升高, 0-20cm的有效磷和有效钾也高, 但是40cm以下土壤有效磷和速效钾下降^[126]。

3.3 农业区域生态安全、生态恢复和粮食安全

近年我国农业生态学研究开始关注我国西北的退耕还林还草和南方退耕还湖的治理策略和治理效果研究。这类生态安全、生态恢复研究是我国重视生态建设后必然面对的重要研究领域。

3.3.1 退耕的策略研究

黄土高原可以实行“坝系根治”、“梯田退耕”、“赈济退耕”等模式。徐勇, 田均良等(2002)就通过修梯田实现粮食自给, 全部坡地退耕的“梯田退耕”策略开展研究, 认为该策略投入少, 见效快^[127]。田小海, 黄永平等(2003)则研究了南方涝渍地区退田还渔实例。为了兼顾防洪和生产, 南方涝渍地区“退田还湖”可以部分实行“退田还渔”^[128]。

3.3.2 退耕的效果研究

我国这方面的研究才刚刚开始。侯扶江, 肖金玉等(2002)在甘肃环县黄土高原草业科学定位实验站设置已经退耕恢复1、2、4、7年的样地和自然草地样地, 分析了有刈割条件下农田生态恢复过程中植被和土壤的变化^[129]。Ogle, R. B. (2001)报道了在坦桑尼亚一个失败的退耕例子。1979年在半干旱的Kondoa禁止放牧, 保护水平带和梯带, 减少水土流失。在禁牧后植被得到恢复, 但是当地农牧群众的生活很困难。于是在1989年起政府允许圈养改良奶牛。由于缺乏外来资金的支持, 也缺乏基本社会经济分析, 导致农牧民大量非法的放牧, 致使整个生态系统又几乎陷于崩溃。作者认为缺乏对社会经济和自然环境的监测、自上而下的实施途径、捐赠经费的撤除都是退耕禁牧失败的原因。这类教训值得我们重视^[130]。

3.3.3 农业耕地资源保护和粮食供给安全

我国人口密度高、经济发展快的条件下, 耕地资源流失和粮食供应安全继续成为研究的关注点之一。傅泽强等(2001)的研究表明中国的人均耕地面积正在从1949年的 0.19hm^2 减少到1995年的 0.08hm^2 。由于人均粮食消费增长和人口数量的增长, 对粮食的需求压力很大, 应当高度重视耕地的数量和质量的保持^[131]。杨桂山(2001, 2002)研究长江三角洲近50年耕地数量变化呈现明显的波动减少趋势。根据长江三角洲目前的发展趋势, 估计2004年后该区经济增长对土地的压力会缓解。如果复垦投入资金达到目前的2倍, 耕地平衡的目标有可能实现^[132, 133]。

4 构建农业可持续发展的技术体系

农业生态学的发展直接影响到有关农业技术的发展。农业技术对生态环境的影响受到重视。节约资源和保护环境的成为评价农业农业技术的重要指标。我国近年在地面覆盖、免耕少耕、节水栽培、温室构建等创新技术的生态学研究有不少成果。

4.1 节水、覆盖和免耕技术的生态效应研究

在耕作方法的生态效应方面, Blye, K. R.等(2001)在美国Plano的沙壤土利用张力水分平衡测定仪(equilibrium-tension lysimeters)用4年时间比较了恢复草地、免耕、和深耕玉米, 结果表明免耕和深耕相比较产量相当, 但免耕的土壤水分含量提高, 排水减少, 更符合可持续发展需要^[134]。李华兴等(2001)研究南方双季稻的少耕和免耕效应, 结果表明少耕的综合效果比较好^[135]。

在地面覆盖的生态效应方面, 兰州大学干旱农业生态实验室对地表覆盖进行了多项研究。在年降水415mm的半干旱黄锦土上以大田种植的春小麦为研究对象。研究结果表明全生育期覆盖薄膜对产量和氮效率提高没有实际意义^[136]。在甘肃定西唐家堡试验的结果表明, 最佳地膜覆盖时间是种植起40到60天, 过长时间的覆盖会抑制作物根系发育, 作物蒸散量和水分利用效率下降, 产量受到影响^[137]。

在节水措施的生态效应方面, 杜尧东等(2001)研究辽宁的春小麦喷灌效果, 结果表明冠层截留水量达到25-30%, 冠层下的水均匀度提高10.1-12.7%, 喷灌的水分飘移蒸发损失可达总水量的20-25%^[138]。孙进等(2001)研究在江苏淮北东海县季节性干旱区的岗岭沙土上保水剂和稻草覆盖对小麦的效果^[139]。王克勤, 王斌瑞等(2002)研究金缕生苹果水分利用效率, 结果表明土壤田间持水量约50%时, 水分利用效率(WUE)最大($230\mu\text{molCO}_2/\text{gH}_2\text{O}$), 光照(PAR)范围在500-1000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 时WUE最大。因此综合考虑节水和高产的推荐土壤含水范围是11-15%, 相当于田间持水量的55-75%^[140]。

4.2 蚯蚓和微生物等生物资源的农业应用

蚯蚓和各种土壤微生物是农业生态系统的重要组成部分, 研究在农业生产中利用蚯蚓、菌根、钾细菌和有益放线菌正方兴未艾。蚯蚓和沼气还是处理农业废物, 实现能量和物质循环利用的重要手段。这类生物资源的应用不但可以解决植物生产的营养问题, 还可以解决抗逆和抗病问题, 减少栽培对化肥农药的依赖, 提高生态系统的健康和稳定水平。研究的前景很诱人, 应用的潜力很大。目前这部分研究在国内还刚刚开始, 研究的深度不够。

4.2.1 蚯蚓利用研究

改善土壤特性: Larink, O.等(2001)研究通过利用蚯蚓改善被机械压实的土壤, 结果证明有效^[141]。VandenBygaart, A. J.等(2000)研究表明由于免耕, 土壤大于1000微米的乳头状颗粒结构