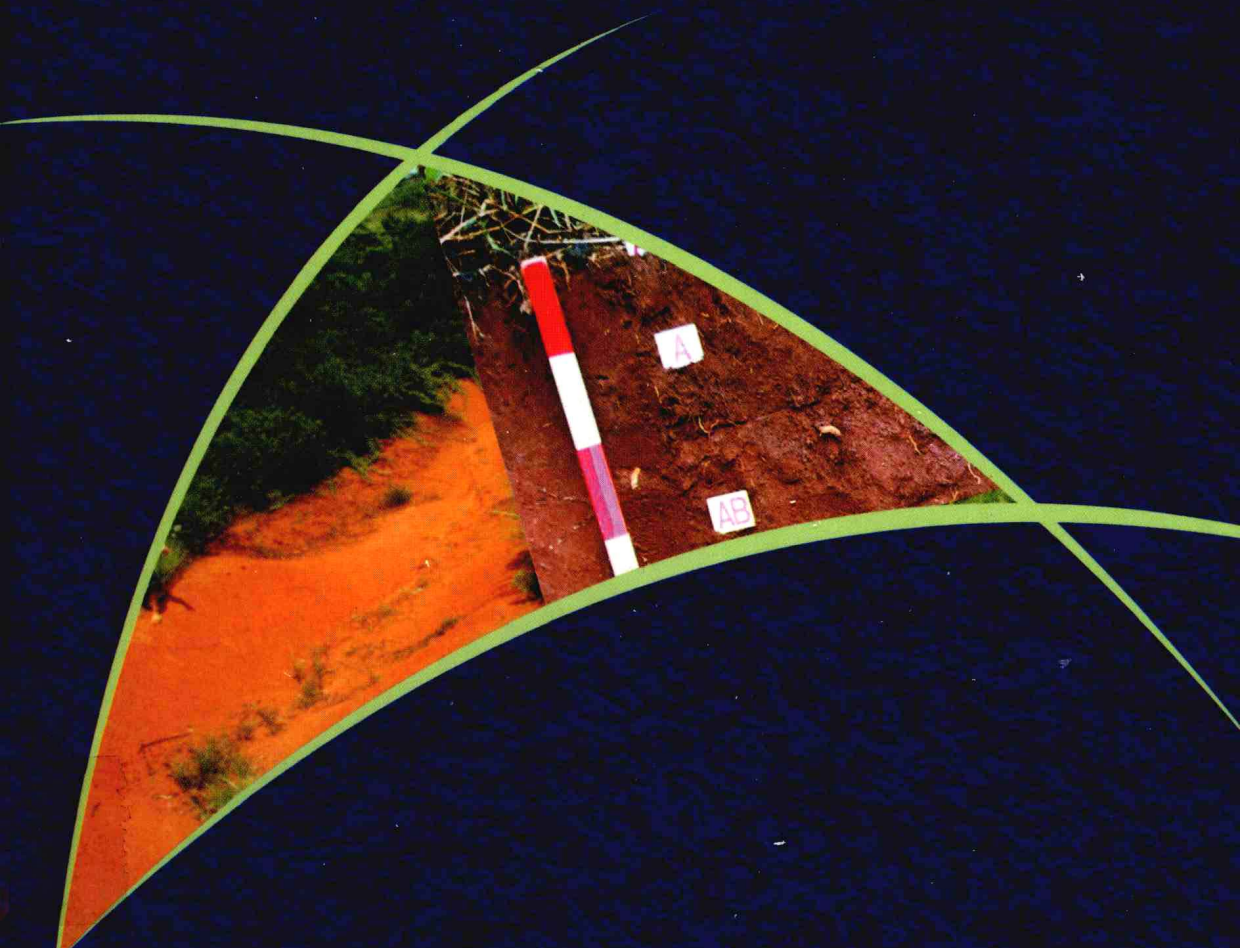


中国土壤质量研究系列专著

红壤质量演变与调控

Evolution and Regulation of Red Soil Quality

何国球 孙波等 编著



科学出版社

www.sciencep.com

中国土壤质量研究系列专著

红壤质量演变与调控

Evolverment and Regulation of Red Soil Quality

何园球 孙 波 等 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是在中国科学院红壤生态实验站进行了多年的野外和实验室系列实验的基础上,结合红壤地区大量的科学研究积累编写而成的。全书共分9章,在概述了红壤地区自然资源与社会经济状况、红壤质量现状及演变的基础上,紧密围绕红壤侵蚀、酸化和养分不均衡化3个主要问题,从演变过程、演变机制到调控对策等方面进行了系统的阐述,提出了高质量红壤的定向培育与农业持续利用对策,分析了红壤质量演变的前景、存在的主要问题和解决措施及未来的发展方向。全书兼具理论性、资料性和实践性。

本书可供从事土壤学、农业生态学、环境科学及农学的研究、教学和技术人员参考,也可供各级政府的农业部门参考。

图书在版编目(CIP)数据

红壤质量演变与调控/何园球等编著. —北京:科学出版社,2008
ISBN 978-7-03-022113-1

I. 红… II. 何… III. 红壤—研究 IV. S156.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 074526 号

责任编辑:赵 峰/责任校对:张 琪

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

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>

北京佳信达艺术印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008年9月第一次印刷 印张:24 1/4

印数:1—1 500 字数:490 000

定价:88.00 元

如有印装质量问题,我社负责调换

《红壤质量演变与调控》

编写委员会

主 编：何园球

副主编：孙 波

编 委：(按姓氏拼音排序)

蔡崇法	陈家宙	何园球	胡 锋	蒋 新
李成亮	李朝霞	李忠佩	刘满强	吕国安
史志华	孙 波	唐翔宇	王代长	王兴祥
吴蔚东	杨 浩	余贵芬	张桃林	朱茂旭

前 言

我国红壤主要分布于长江以南的广大地区,包括广东、海南、广西、云南、贵州、福建、浙江、江西、湖南、台湾 10 省(区),以及安徽、湖北、江苏、重庆、四川、西藏和上海等 7 省(区、市)的部分区域,总面积 218 万 km^2 ,占全国土地总面积的 21.8%。

红壤地区水热资源丰富,生物物质循环活跃,土壤和生物类型多样,具有较高的生物生产潜力和良好的投资效益,是我国南方农业综合开发与林业发展的重要基地。在相当长的一段时间内,依靠不断增加能源和投入,该区农业生产取得了巨大进步。但同时,由于人口的不断增加、化学肥料的大量投入和不合理的土地利用及施肥管理措施等一系列非持续性发展因素的累积影响,在促进农业迅速发展的同时,也引起了一系列环境、生态和资源方面的重大问题,如水土流失、土壤肥力下降、季节性干旱频繁发生等。而红壤的退化又对全球气候变化、生态系统物质循环、生态环境等产生一系列影响,这样,互为因果,愈演愈烈,使整个系统陷入了恶性循环。这说明,农业的发展不能只依靠化肥和能源的投入,还必须通过研究水分和养分的循环、转化和平衡,提高水分和养分的利用效率,在提高生态系统生产力的同时,提高农业经济效益,降低农业生产对环境和资源的负面影响。只有研究农业种植系统的养分转化规律,才能了解土壤质量的演变方向、速度并进行趋向预测;也只有了解了养分的循环和平衡状况,才能提出调控红壤质量演变方向的有效途径和合理措施。

《红壤质量演变与调控》一书,主要是利用承担的国家重点基础研究发展计划项目(“973”项目)——“红壤侵蚀、酸化和肥力退化机理及其恢复重建机制”(G1999011801)的研究结果,结合在红壤地区开展的相关工作的长期积累,以及在中国科学院红壤生态实验站(江西鹰潭农田生态系统国家野外科学观测研究站)进行的野外和实验室系列实验结果的基础上编写而成。

全书共分 9 章。第一章概述了红壤地区的自然资源与社会经济状况,红壤质量演现状、指标、分级及研究意义;第二章讨论了红壤侵蚀示踪研究与红壤质量演变;第三章论述了红壤侵蚀与结构变化的相互作用机理与调控;第四章评价了红壤酸化过程及生态环境效应;第五章阐述了红壤肥力退化过程与机理;第六章研究了植被与管理影响红壤肥力质量的过程与机理;第七章讨论了土壤动物在红壤生态恢复中的作用与机理;第八章提出了高质量红壤的定向培育与农业持续利用对策;第九章对未来红壤质量演变的发展方向进行了展望。

本书在继承土壤学以往研究成果的基础上,紧紧围绕当今土壤科学发展的前

沿领域——土壤质量的新概念和新理论，研究土壤系统内部各种物理、化学、生物学过程及其影响机理，探索红壤生态系统的结构和功能的相互联系，并密切结合高产、高效、优质农业生产技术的发展，促进传统土壤学向现代土壤学的转变。本书紧紧围绕影响红壤质量的侵蚀、酸化、养分迁移转化 3 个核心问题，从红壤基本特征、演变过程、演变机理、评价方法以及红壤质量定向培育方法等方面，结合大量的长期定位试验数据进行了较系统的论述。

由于水平有限，书中的疏漏和错误在所难免，敬请读者批评指正。

何园球

2008 年 9 月于南京

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 红壤地区的自然资源与社会经济状况	1
一、红壤地区自然资源概述	1
二、红壤地区自然资源特点与潜力	3
三、红壤地区农业发展现状与问题	6
第二节 红壤质量现状、演变与发展趋势	9
一、红壤质量现状	9
二、红壤质量演变	12
三、红壤肥力质量演变的主要趋势	15
第三节 红壤质量评价	20
一、红壤样品采集与分析	20
二、红壤肥力质量评价(以赣东北 6 县市区为例)	21
三、红壤环境和健康质量评价(以鹰潭市为例)	25
参考文献	28
第二章 红壤侵蚀示踪研究与红壤质量	30
第一节 红壤侵蚀作用 ^{137}Cs 示踪的理论基础	30
一、概述	30
二、 ^{137}Cs 的来源及物质循环	31
三、 ^{137}Cs 示踪技术的理论基础及其优点	32
四、 ^{137}Cs 示踪技术应用中的问题与实践	32
第二节 红壤区 ^{137}Cs 基准值及空间变异性	33
一、研究区域概况与样品采集	33
二、 ^{137}Cs 基准点的选择	35
三、 ^{137}Cs 基准值在不同空间尺度下的变异	38
第三节 ^{137}Cs 在红壤剖面中的分布特征	41
一、非耕作土壤的 ^{137}Cs 剖面分布	41
二、耕作土壤的 ^{137}Cs 剖面分布	44
第四节 红壤侵蚀动态与红壤环境质量	47
一、红壤侵蚀与区域生态	47
二、红壤侵蚀与洪涝灾害	48

三、土壤侵蚀退化导致土地资源遭到严重破坏	49
四、土壤侵蚀退化导致的其他非原位环境后果	50
第五节 红壤侵蚀预测与定量模型	50
一、红壤侵蚀估算模型	50
二、 ^{137}Cs 法及其他土壤指标在侵蚀示踪中的联合应用	58
三、其他放射性核素侵蚀示踪法	68
参考文献	75
第三章 红壤侵蚀与结构变化的相互作用机理与调控	79
第一节 侵蚀退化红壤的结构特征	79
一、红壤侵蚀退化类型与分布	79
二、几个典型红壤的结构状况	82
三、侵蚀红壤结构及其理化性质	84
第二节 红壤结构对侵蚀的影响	86
一、土壤及团聚体的溅蚀特点	86
二、红壤细沟侵蚀及其影响因素	88
三、侵蚀过程中团聚体破坏	89
四、表土结皮形态特征及其影响因素	91
五、表土结构变化对坡面降雨径流与侵蚀产沙的影响	95
第三节 侵蚀红壤的水分运动特征与结构关系	99
一、不同侵蚀退化红壤的水分入渗特征和持水性能的变化	99
二、不同大小土壤结构体内的水分特性	104
三、红壤结构变化对水分运动的影响	105
四、红壤结构特征与土壤孔性对土壤持水性能的影响	108
第四节 红壤可蚀性 K 值	113
一、土壤可蚀性研究回顾	113
二、典型红壤可蚀性 K 值研究	118
三、样区土壤可蚀性空间分布与变异研究	119
第五节 红壤侵蚀与肥力质量	120
一、红壤侵蚀与土壤物理性质	120
二、侵蚀土壤的养分状况	121
三、侵蚀退化红壤的肥力评价	123
第六节 侵蚀退化红壤的恢复措施	123
一、提高红壤抗蚀性的机理	123
二、生物措施是侵蚀红壤恢复的主要途径	124
三、农业结构调整是侵蚀红壤恢复的重要方面	126
四、合理的农业技术措施有助于侵蚀红壤恢复	127

五、结构改良剂是恢复侵蚀红壤的重要手段	127
参考文献	128
第四章 红壤酸化过程及生态环境效应	132
第一节 红壤酸度特征	132
一、土壤酸化的概念	132
二、土壤酸中和容量	133
三、质子的去向	134
第二节 红壤酸化过程的动力学	136
一、质子反应动力学	136
二、铝的反应动力学	140
三、 K^+ 吸附反应动力学特征	144
四、Ca 吸附反应动力学	145
五、Ca 的解吸动力学	152
六、Cd 的解吸动力学	155
七、腐殖酸对红壤中有效态镉、铅释放动力学的影响	158
第三节 红壤酸化与红壤环境质量	160
一、土壤酸化和元素淋失特征	160
二、土壤酸化对阳离子迁移的影响	162
三、酸雨淋溶对上层酸度的影响	164
四、腐殖酸对重金属污染土壤环境质量影响	166
五、酸性条件下红壤中铝的活化及环境意义	171
参考文献	182
第五章 红壤肥力退化过程与机理	185
第一节 红壤肥力的时空演变规律	185
一、第四纪红黏土红壤丘陵区土壤肥力的时空演变	185
二、花岗岩红壤区土壤肥力的时空演变	192
第二节 红壤肥力质量的演变过程	199
一、瘠薄红壤旱地肥力质量的演变	199
二、红壤水稻土肥力演变	211
三、红壤人工林地土壤肥力的演变	216
第三节 红壤肥力质量演变的关键机制	222
一、农林复合系统中土壤有机碳氮的积累过程	222
二、农林复合系统中红壤养分的地表径流过程	228
三、旱地红壤养分的淋溶过程	232
四、复合农林系统中红壤养分的竞争过程	237
五、复合农林系统中光合生理生态过程	241

第四节 红壤肥力质量的评价指标体系与评价	245
一、土壤物理学肥力演化的评价	247
二、红壤化学肥力演化的评价	250
三、红壤生物学肥力演化的评价	251
四、红壤综合肥力的评价	253
第五节 红壤肥力质量演变的模拟模型	254
一、农田生态系统养分循环平衡与红壤养分含量的变化	254
二、区域红壤碳含量变化的模型模拟	256
参考文献	262
第六章 植被与管理影响红壤肥力质量的过程与机理	267
第一节 植被影响红壤肥力的过程与机理	267
一、不同林型对红壤肥力质量的影响	267
二、不同旱作方式对土壤肥力质量的影响	271
三、农林间作对红壤肥力质量的影响	274
四、利用方式对红壤肥力质量的影响	278
第二节 耕作措施影响红壤肥力质量的过程与机理	279
一、对红壤肥力的影响	280
二、对微生物数量的影响	283
三、对土壤酶活性的影响	284
四、土壤肥力因子的相关性	285
五、土壤肥力演变机理	286
第三节 长期施肥影响红壤肥力质量的过程与机理	287
一、对红壤旱地养分库重建的影响	287
二、对红壤旱地有机质重建的影响	295
三、对红壤旱地物理结构重建的影响	298
四、对红壤旱地养分平衡的影响	300
参考文献	304
第七章 土壤动物在红壤生态恢复中的作用与机理	308
第一节 不同红壤生态系统土壤动物群落特征	308
一、蚯蚓群落特征	308
二、线虫数量特征	310
三、节肢动物群落特征	314
第二节 土壤动物与红壤质量的关系及其指示意义	319
一、土壤动物与土壤性质的多元回归分析	319
二、土壤动物与土壤质量的典型相关分析	323
第三节 土壤动物在红壤质量恢复中的功能	327

一、土壤动物活动对有机物分解的影响研究	327
二、土壤动物对养分转化及有效性的影响	329
参考文献	330
第八章 高质量红壤的定向培育与农业持续利用	332
第一节 高质量红壤的基本特征	332
一、物理学特征	332
二、化学特征	333
三、生物学特征	335
第二节 高质量红壤的定向培育理论	336
一、物理学原理	336
二、化学原理	337
三、生物学原理	341
第三节 高质量红壤培育的主要措施	342
一、侵蚀退化红壤的培育措施	342
二、瘦瘠红壤的培肥措施	344
三、高磷红壤的培肥措施	347
四、酸化红壤的控制与修复	349
五、污染土壤的修复	351
六、红壤水肥耦合调控技术	355
七、退化红壤的种养结合调控措施	359
第四节 红壤资源持续利用的原则、对策与建议	362
一、红壤资源持续利用的调控原则	362
二、红壤资源持续利用的宏观对策	363
三、红壤资源持续利用的宏观建议	364
参考文献	366
第九章 红壤质量演变的研究展望	369
第一节 红壤肥力质量演变研究展望	369
第二节 红壤环境质量演变研究展望	370
第三节 红壤健康质量演变研究展望	372
第四节 红壤持续利用的综合管理对策	374
参考文献	375

第一章 概 述

第一节 红壤地区的自然资源与社会经济状况

一、红壤地区自然资源概述

全球的红壤主要分布在热带和亚热带地区,大多数分布于发展中国家,总面积约 6400 万 km^2 , 占全球土地总面积的 45.2%。红壤地区的人口总数约为 25 亿, 占全球总人数的 48%(赵其国, 2002a)。

我国热带、亚热带地区广泛分布各种黄色或红色的土壤,由于它们在土壤发生和生产利用上有共同之处,统称为红壤系列,包括砖红壤、赤红壤、红壤、黄壤等主要土类(在中国土壤系统分类中属于铁铝土和富铁土土纲)(中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组和中国土壤系统分类课题研究协作组, 2001),其分布范围包括广东、广西、海南、云南、贵州、福建、江西、湖南、浙江、台湾 10 省(区),以及安徽、湖北、江苏、四川、重庆、西藏和上海 7 省(区、市)的部分区域,总面积 218 万 km^2 , 占全国土地总面积的 21.8%,耕地面积约占全国总面积的 28%,该地区的人口约占全国人口的 40%(赵其国等, 1992)。

红壤地区的年均气温为 $15\sim 28^\circ\text{C}$, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温为 $4500\sim 9000^\circ\text{C}$, 年平均地温(地表下 $5\sim 10\text{cm}$ 处的温度) $> 26^\circ\text{C}$; 年降水量为 $1000\sim 2000\text{mm}$, 干燥度小于 1, 无霜期 $240\sim 300$ 天; 但水热分布不均, 冬季温、凉、干旱, 夏季炎热多雨, 干湿季节明显。

红壤地区的地形以山丘为主, 地形及成土母质变化复杂。丘陵台地, 地势平坦, 由于气候的原因淋溶作用强烈, 大多发育为红壤; 高山地区, 温度较低, 湿度较大, 易于发育为黄壤; 深切河谷, 气候干燥, 淋溶作用较弱, 大多形成褐红壤。此外, 本区植被组成丰富, 以热带雨林、季雨林及亚热带常绿阔叶林为主, 对红壤类型的发育有显著影响。

红壤在分布上表现出明显的水平地带、垂直地带及相性规律性。红壤水平分布自南向北依次分布砖红壤、赤红壤、红壤和黄壤 3 个土壤纬度带; 红壤垂直分布在不同的水平地带内表现不同: 砖红壤地带(以五指山东北坡为例)从地面到山顶依次为砖红壤—山地赤红壤—山地黄壤—山地表潜黄壤—山地灌丛草甸土, 赤红壤地带(以十万大山马耳夹南坡为例)依次为赤红壤—山地红壤—山地黄壤, 红壤地带(以武夷山西北坡为例)依次为红壤—山地黄壤—山地黄棕壤—山地灌丛草甸土; 红壤相性分布, 由东往西又依次分布赤红壤、红壤(黄壤)及山原红壤 3 个不同的经度带(李庆逵, 1983)。

(一) 砖红壤

砖红壤地处热带，在我国，主要分布于台南、海南岛、雷州半岛和西双版纳等地，面积达 10.5 万 km^2 ，占全区总面积的 5.2%。适合热带经济作物的生长，总的利用方向应以发展橡胶为重点，同时大力发展热带林木及热带水果，合理安排热带作物与粮食的比例，逐渐建立以橡胶为主体的热带作物基地。

(二) 赤红壤

赤红壤地处亚热带，主要分布在我国广东沿海、闽南、台南及滇南一带的丘陵台地及低山地区，面积达 41 万 km^2 ，占全区总面积的 20.1%。由于地处热带和亚热带的过渡地带，适合种植水稻和热带作物，是我国粮食及热带、亚热带经济作物的重点产区。在利用上要注意防止水土流失，提高土壤肥力及抗灾能力。

(三) 红壤和黄壤

红壤地处中亚热带，主要分布于长江以南的广阔丘陵区，包括赣、湘两省大部分，滇南、鄂东南、粤、桂、闽等北部及黔、川、浙、皖、苏、藏南等地；黄壤广泛分布于全区的高原、山地，以川、黔两省为主，其他各省有零星分布。两者面积达 152 万 km^2 ，占全区总面积的 75%，是发展粮食及亚热带经济林、经济作物的重要基地，但要防止水土流失，不断提高土壤肥力，开发防止季节性干旱的技术与措施。

此外，还有燥红土、紫色土、石灰土和水稻土等。燥红土主要分布于琼西和云南元江河谷地，主要问题是缺水，宜种耐旱热带作物；紫色土主要分布在四川红色盆地及其他部分地区，利用上山应应以林为主，避免进行陡坡开垦；石灰土主要分布于桂、黔、滇地区，利用上应以旱粮和经济作物为主，注意培肥和防止水土流失；水稻土广泛分布于全区山地丘陵谷地及冲积平原，利用上要进行合理耕作和施肥(李庆逵，1983)。

红壤开发利用至今已有 3000~4000 年的历史。南朝时的江西已号称“沃野垦辟”，富有“鱼稻之饶”的美誉，从公元 5 世纪初起，大量粮食沿长江东运，已成为南朝粮食的主要供应地之一了。到了唐朝，除粮食生产外，茶、麻之类的经济作物生产也有较大发展，浮梁茶叶在当时已是江西著名的商品了。到了宋朝，在南方奖励垦殖，使一些偏僻山区也逐渐得到开发，小麦种植普遍，茶叶、水果等均已著名。到明清时期，大量开荒，如明初江西荒地开垦面积曾达到 43 万 hm^2 。至 1949 年以前，由于战争，造成山林破坏，水利失修，水土流失，水旱灾害频繁，很多地方成为不毛之地。1949 年以后，农业科研和生产部门通力合作，对红壤类型、性质、肥力状况等开展了调查研究，肯定了红壤农业利用的价值，提出了垦殖利用红壤的技术和措施。如江西省在“一业为主，多种经营”的方针指导下，

建立了 150 多个国营垦殖场, 开发利用红壤 30 万 hm^2 。从 20 世纪 60 年代开始, 红壤的开发利用进入了以改造中(低)产田(地)为重点的阶段, 针对红壤低产的主要问题, 开展了绿肥混播, 以磷增氮, N、P、K 配合, 有机、无机肥配合等低改关键措施, 推动了双季稻-绿肥耕作制度的迅速发展, 中、低产田得到不同程度的改造, 粮食产量由 $1500\text{kg}/\text{hm}^2$ 增加到 $3750\sim 4500\text{kg}/\text{hm}^2$ 。近年来, 随着农业的不断发展, 红壤的开发利用也逐步深化, 从单一改良土壤发展到注重于整个自然条件的综合治理和改造, 如土地平整, 旱地改水田, 轮、复、间、套作, 立体种植, 用养结合等。

二、红壤地区自然资源特点与潜力

随着人口的不断增加和一系列非持续性发展因素的共同影响, 我国红壤地区正面临一系列重大的生态环境问题, 如水土流失、土壤肥力下降和季节性干旱频繁发生等, 致使粮食生产出现产量不稳和品质下降问题。红壤的退化已对全球气候变化、生态系统物质循环和生态环境产生了一系列的负面影响。

(一) 红壤地区自然资源特点

1. 水热资源丰富, 季节性干旱严重

红壤地区受季风气候所控制, 一般具有高温多雨、干湿季明显的特点。在作物生长季节(4~10 月), 光、热、水资源量占全年总量的 70%~86%, 既有利于作物的生长, 又利于多熟种植。尽管降水量大, 但时空分布不均, 限制了农业生产。降雨大部分集中在 3~6 月, 且多暴雨, 不仅浪费了大量的水分资源, 而且常常引起水土流失。在 7、8 月份蒸发量大, 而降水量减少, 造成水热不同步, 因此, 经常出现伏旱、伏秋连旱等季节性干旱问题, 影响作物生长和复种指数的提高。此外, 春季多雨也影响了冬季作物(如油菜)的成熟和收获。

江西省余江县 45 年的统计结果表明, 气候有向冷、湿、少日照和旱涝年频繁交替变化的迹象, 并且四者相关性达到显著水平(王明珠等, 1997; 王明珠, 1997)。同时, 季风气候的年际变异增大, 导致灾害的频率和强度也愈来愈大。主要表现为: 炎夏年与凉夏年频繁出现, 干旱与洪涝频繁发生, 冷冬年与暖冬年交替发生, 作物生长发育临界温度的初终日变异大等。

2. 植被资源相对丰富, 出现逆向演替的趋势

红壤地区植被类型多样, 森林面积 108.9 万 hm^2 , 但分布极不均匀, 主要集中在西南山区, 中部丘陵地区森林面积很小。从现有植被类型和植物区系分析, 原生植被属亚热带中生性常绿阔叶林。由于人为活动的干扰, 植被有逆向演替的趋势。首先, 森林面积大幅度减少: 南方的主要林区——湘南、湘西山区森林面积

已由 20 世纪 50 年代的 291 万 hm^2 下降到 70 年代的 225 万 hm^2 ，减幅达 30%，湘西山区许多县的森林覆盖率由 50 年代的 50% 以上降到 70 年代的 20% 以下；1991 年湖北、湖南和广西 3 省的国营林场面积分别比 1986 年下降了 15.5%、15.6% 和 13.5% (李敏, 2001)。其次，植被有逆向演替的趋势，江西省原生的亚热带中生性常绿阔叶林仅零星残存于丘陵下部边缘和村落周围，50~80 年代植被由旱生性草质阔叶林向马尾松稀树草坡演替。由此造成自然灾害频繁，表现在旱涝灾害频次增加、山地灾害多发，1991 年南方红壤丘陵区受灾面积为 1867 万 hm^2 ，比 1985 年增加了 77%。江西赣州地区旱涝灾害频次由 50 年代的每年 0.5~0.7 次增加到 80 年代的 2.3~2.5 次 (王明珠, 1997)。

3. 土壤类型多样，但退化严重

红壤地区的地势为西高东低，山地、丘陵与平原之比大体为 7:2:1。本区耕地 2800 万 hm^2 ，占总面积的 13.6%；林业用地 9000 万 hm^2 ，占总面积的 44.1%；牧业用地 800 万 hm^2 ，占总面积的 3.9%。长期以来，农业生产活动主要局限于丘间、盆地和沟谷地区，而对于面积比沟谷大 2~4 倍的低丘红壤的利用重视不够，随意开垦、重用轻养，导致红壤大面积退化。根据江西省余江县第二次土壤普查资料，红壤退化主要表现在以下 4 个方面：侵蚀红壤面积扩大、程度加剧；土壤肥力衰减，抗逆性差；红壤酸化、水稻土潜育化；污染加重、类型多样。

上述几个问题相互影响，植被逆向演替、侵蚀加剧，引起肥沃表土流失；酸雨加速了土壤养分离子的淋失，同时释放铝离子和重金属等污染物；重金属污染降低土壤酶活性，促进了养分淋溶，这些都引起土壤肥力的退化；而土壤肥力的退化，又导致土壤和植物生态功能的失调，如土壤微生物和动物种群减少、功能衰退，植物物种流失，土壤元素生物循环减少，因此降低了土壤对退化过程的缓冲能力，加速了土壤的退化。

4. 人多耕地少，人地关系紧张

红壤地区可垦荒地 7.3 万 km^2 ，占全国的 1/6。人口接近全国的 1/2，人均占有土地面积 0.49 hm^2 ，约为全国平均水平的 1/2，人均耕地 0.067 hm^2 ，比全国人均水平低 1/3。在占全国 30% 的耕地上，生产的粮食占 54%，油料占 36.7%，糖料占 88.8%，茶叶占 98.3%，蚕桑占 66.6%，麻类占 40.8%，水果占 55.7%，肉类占 63.8%，蛋占 33.3%，鱼占 85%，承担了全国 50% 的人口的粮食供应，农业总产值也占全国的 50% (中国农业年鉴编辑委员会, 1999)。近年来，随着人口的增加和城市化、工业化进程加快，我国红壤地区人增地减趋势不可逆转；同时随着人民生活水平的提高，对农产品需求增加趋势不可逆转。两个不可逆转趋势在一定时期内难以改变，导致人地关系紧张。

5. 生产经济条件较好, 但产投比降低趋势明显

东南部红壤丘陵区经济条件较好, 以江西省余江县为例, 该县 1998 年人口为 33.06 万人, 其中, 农业人口 28.02 万人, 占农业总人口的 84.75%, 劳动力 12.59 万人。耕地面积 2.058 万 hm^2 , 其中, 水田面积 1.802 万 hm^2 , 旱地面积为 0.256 万 hm^2 , 人均耕地面积 0.062 hm^2 , 每个劳动力占有的耕地面积也仅为 0.163 hm^2 , 作物种植指数高达 275.1%(含绿肥面积), 单位耕地化肥使用量达到了 630.3 kg/hm^2 , 同年农机总动力也达到了 53 120 kW , 单位耕地面积农机总动力为 2.58 kW/hm^2 ^①。

该区粮食单产的增长幅度已远远落后于农业投入的增长幅度。1984、1993、1995 年粮食亩产分别为 296 kg 、319 kg 和 334 kg , 这两个阶段每年粮食单产的增幅分别为 0.9% 和 2.2%。但是灌溉面积占耕地面积比例的年增幅分别为 0.9% 和 2.6%, 农业机械总动力年增幅分别为 7.7% 和 4.3%, 特别是化肥的用量年增幅分别为 8.4% 和 7.6%。引起这种现象的主要原因就是随着人口过快增长、经济加速发展和长期对土地资源的不合理利用而产生的生态与环境恶化和土壤肥力退化^①。

因此, 随着该区人口的增加, 土地资源开垦无度, 森林面积急剧下降, 生物多样性降低, 植被出现逆向演替, 不少名特优农林产品退化或濒临灭绝; 气候的年际与季节变异突出, 旱、涝、冻害频率、强度增大; 由于覆被破坏、利用不合理以及乡镇工业的污染, 导致了土壤侵蚀及其理化特性的恶化。而红壤的退化又对气候、水循环、生态环境等产生了一系列影响。这样, 互为因果, 愈演愈烈, 使整个系统陷入了恶性循环。

(二) 红壤资源生产潜力

与世界同纬度地区相比, 我国红壤在自然资源生产潜力方面具有得天独厚的优势, 是我国热带、亚热带经济林果、经济作物及粮食生产的重要基地。

根据对粮食生产潜力的计算, 本区光温潜力达 26.25~30 $\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 气候潜力为 22.5~26.25 $\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 是三江平原的 2.63 倍, 黄土高原的 2.66 倍, 黄淮海平原的 1.28 倍, 而目前生物产量仅为其潜力值的 30% 左右(赵炳梓等, 1997)。

红壤地区约有 2/3 的中低产田(1920 万 hm^2), 产量仅及条件相似的浙江金华地区的一半, 若通过改造平均可增产 90 kg/hm^2 , 则全区可增产粮食 172.8 亿 kg 。本区有占全区土地总面积 23.8% (4820 万 hm^2) 待开发的 山丘荒地, 若对其中 100 万 hm^2 的宜农荒地开垦种粮并以 4500 kg/hm^2 计算, 则可增产 45 亿 kg 粮食, 可望缓解我国的粮食供需矛盾。本区未垦荒地资源中宜林荒地占 47.5%。若对其中近期可利用的 500 万 hm^2 坡下荒地开垦种果树, 将建成我国亚热带的果品基地; 若对其中 1300 万 hm^2 条件较好的草山草坡(包括 1000 万 hm^2 的人工及改良草场)进行

① 江西省余江县统计局. 1984, 1993, 1995, 1998. 余江县国民经济统计资料。

改造，可建立亚热带林草结合型的畜禽基地，具有发展草食畜牧业的巨大潜力(张红旗与李永家，2002)。由此可见，该地区现有荒地潜力的挖掘将对全区农、林和牧业发展产生巨大影响。

红壤区“山一丘一岗一谷一塘”构成一个连续体，也为其发展立体种养综合农业和促进劳力由平原向山丘转移提供了前提。

就经济发展潜势而言，红壤地区社会经济条件差异极大，选择经济总量、个量、产业结构和科技水平等指标运用 GIS 进行综合分析(赵其国，2002b)，结果表明，该区农村经济综合实力薄弱的县(市)有 64 个，人口 2200 多万，主要集中于鄂西南、江西及桂西地区；而综合实力强和较强的县(市)有 33 个，人口约 1150 万，主要集中在杭州湾和珠江三角洲地区。这说明本区既有发达的东南沿海经济开放区和沿江高新技术产业带，又有资源潜力巨大的红壤丘陵腹地，因而具有明显的区间资源及经济互补的区位优势。

综上所述，随着人口、资源、环境之间矛盾的加剧，当今生态系统的退化尤其是土壤质量的退化已成为全球共同关注的重大问题。解决我国红壤地区环境和农业问题的出路，需要从研究红壤农业生态系统及其演化过程出发，从技术经济与生态环境有机结合上来认真思考已经发展起来的现代农业，努力探索以生态为基础、经济与生态相结合的现代农业发展模式。

三、红壤地区农业发展现状与问题

(一) 红壤地区农业发展现状

1. 土地利用现状

红壤低丘岗地区农业利用方式主要有林、果(茶)地、农地、农林间作和自然荒地等。其组合类型一般为：林胶茶复合类型、桑基鱼塘类型、果粮间作类型和立体农林复合类型等。如广东、海南省的“林、胶、茶、粮”模式、湖南省的“岗上松、窝里杉、山坡种油菜”模式以及江西省的“丘上林草丘间塘，河谷滩地果与粮”模式等。随着科学技术的发展，生产实践和人们认识水平的提高，对红壤的开发利用不断创造出多种模式。对于山地实行垂直布局，达到一丘多用，平地进行多熟种植，种养加相结合，强化物资多级利用，搞好农产品的深层开发，最大限度地增加农产品的价值，增加农民收入，消除贫困。目前，红壤区通过发展优化的生态农业模式，林、果、牧、农、副、渔各业土地结构趋于合理。红壤地区林业用地占 59.7%，果业用地占 18.6%，牧业占 10.8%，旱地占 9.5%，水田占 7.5%，封育地及未利用地占 6.2%，其他用地占 5.9%。

2. 种植制度现状

水田种植制度主要是多熟制。以江西省为例，水田种植制度主要有(黄国勤与