

川中丘陵区农业生态系统的演替

朱波, 高美荣, 刘刚才, 罗贵生, 张先婉

(中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 利用调查与观测资料分析川中丘陵区典型区土地利用变化与耕地演替及其对农业生态系统的影响。结果表明, 川中丘陵区土地利用结构在近 30a 内发生了巨大变化, 尤其林地与旱耕地的消长促发了农业生态系统结构的演替, 导致农林复合生态系统的形成, 同时农田生态系统结构趋于复杂, 随着施肥、水土保持等农田管理技术的进步, 以土壤侵蚀为主的土地退化得到有效控制, 农作物产量大幅增长, 水稻、玉米、小麦、油菜单产分别较建国初期增长约 2~ 5 倍, 农业生态系统呈正向演替趋势。

关键词: 川中丘陵; 土地利用变化; 农业生态系统; 演替

中图分类号: S181

文献标识码: A

农业生态系统 (Agro-ecosystem) 是人们利用农业生物与非生物环境之间、生物种群之间的相互作用建立的, 按人类社会需求进行物质生产的有机整体, 是在一定的自然与社会背景基础上人类活动的产物。川中丘陵区由于独特的紫色土资源与亚热带气候的最佳组合成为四川农业的主体区域, 其农业生态形成与演替具有强烈的区域特色和人类活动的影响。

1 土地利用变化与农业生态系统的结构演替

农业生态系统的变化首先表现为结构的改变, 系统的组成与结构因为环境条件与人为活动的共同作用发生变化, 这种变化突出反映在土地利用的结构上。

1.1 土地利用变化与耕地演替

利用航片、土地利用详查和调查资料分析川中丘陵区典型县南充、盐亭和资阳不同年代的土地利用结构(表 1), 土地利用的结构自上世纪 1960 年代以来发生巨大的变化, 其中林地由上世纪 1960 年代

的 5%~ 8% 左右上升至 1980~ 1990 年代的 13%~ 45%, 如盐亭县的林地占土地面积的 45.3%。耕地所占的比重明显下降, 由 50%~ 70% 降低至 40%~ 50%, 而旱耕地降低的幅度较大, 尤其在川中丘陵区的北部中丘、深丘区的盐亭县, 旱地下降到 20% 左右, 在地势相对平坦的缓丘区, 旱地比重仍较大。相反水田的比例有所上升, 表明川中丘陵区通过山水田林路的综合治理, 耕地的比例下降, 部分高台位旱地或陡坡耕地退耕还林, 低台地因水分的保障成为水浇地(两季田)或水田, 水田比例也因此上升, 但旱地仍然是本地区主要的耕地资源, 耕地的这种演替结果反映了农田生态系统水分条件有所改善, 有效灌面增加, 有利于丘陵区基本农田的生产力保障。土地利用结构中林地与旱地的消长态势与演替特征为农业生态结构的改变奠定了基础。

1.2 复合农业生态结构的形成

从整个川中丘陵区而言, 其土地面积 1 200 万 hm^2 。其中耕地面积占 29.5%, 林地面积占 21.3%, 水域面积占 7.5%; 紫色丘陵区低山占 21.4%, 中丘占 25.5%, 深丘占 25.5%; 耕地组成特点是旱地占 60.8%, 水田占 36.9%^[1], 从农业生态

收稿日期(Received date): 2002- 11- 20; 改回日期(Accepted): 2003- 12- 20。

基金项目(Foundation Item): 中国科学院知识创新项目(KZCX3- SW- 330)(KZCX2- SW- 319)和四川省青年基金项目资助。[This work was supported by Knowledge Innovation Program of CAS (KZCX3- SW- 330)、(KZCX2- SW- 319) and Youth Foundation of Sichuan Province.]

作者简介(Biography): 朱波(1966-), 男, 四川仁寿人, 博士, 研究员。从事农业生态学、土壤学和生物地球化学循环的研究。[ZHU Bo (1966-), Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu, Sichuan 610041. E-mail: bzhu@imde.ac.cn.]

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

的结构单元——小流域生态系统而言, 以农田生态系统为主体, 随着小流域山水田林路的综合整治, 荒地人工防护林植被的恢复和高台位旱地的退耕还林, 同时增加田土坎的植被覆盖, 1980 年代中期已初步建造了坡顶桉柏混交林, 坡中旱耕地, 田坎地埂林草维护, 已基本形成林地与农地的镶嵌复合格局,

人工防护林生态系统与农田生态系统互为补充, 从产值来看, 种植业占 56.6%, 牧业 22.1%, 林业 6%, 其他养殖业(副业) 14.8%, 可见川中丘陵区农业生态系统不再仅仅反映以水田或旱地为主的孤立系统, 而表现出农林牧复合生态系统的功能与特征。

表 1 川中丘陵区典型县的土地利用变化
Table 1 Land use change in the typical prefectures in the central Sichuan Basin

年份	面积比例	水田	旱地	园地	林地	牧草地	居民点与 工矿用地	交通用地	水域	未利用土地	合计
南充											
1965	面积(10 ³ hm ²)	24.8	90.6	2.0	17.6	1.6	8.8	3.6	10.3	48.2	207.5
	比例(%)	12.0	43.7	1.0	8.5	0.8	4.1	1.7	5.0	23.2	100
1985	面积(10 ³ hm ²)	39.9	42.8	4.2	41.8	0	12.9	4.9	14.5	40.0	201
	比例(%)	19.8	21.3	2.2	20.8	0.0	6.4	2.4	7.2	19.9	100
1996	面积(10 ³ hm ²)	34.9	59.3	4.9	37.6	0	16.5	7.5	15.8	40.4	216.9
	比例(%)	16.1	27.3	2.3	17.3	0	7.6	3.5	7.3	18.6	100
盐亭											
1965	面积(10 ³ hm ²)	8.8	72.8	2.0	12.2	3.0	3.8	0.3	4.1	40.1	147.1
	比例(%)	6.0	49.5	1.4	8.3	2.0	2.6	0.2	2.8	2.7	100
1985	面积(10 ³ hm ²)	11.3	30.2	0.5	67.0	6.4	6.7	0.6	5.0	20.2	147.9
	比例(%)	7.6	20.4	0.3	45.3	4.3	4.5	0.4	3.4	13.7	100
1996	面积(10 ³ hm ²)	15.4	36.1	4.6	69.1	0	13.1	2.2	7.6	16.0	164.1
	比例(%)	9.4	22.0	2.8	42.0	0	8.2	1.4	4.6	9.6	100
资阳											
1965	面积(10 ³ hm ²)	15.5	68.2	2.3	6.6	1.8	4.2	1.3	6.8	16.8	123.5
	比例(%)	12.6	55.2	1.9	5.3	1.5	3.4	1.0	5.5	13.6	100
1985	面积(10 ³ hm ²)	20.8	56.2	4.1	16.3	1.3	5.6	2.3	8.8	9.9	125.3
	比例(%)	16.6	44.9	3.3	13.0	1.0	4.5	1.8	7.0	7.9	100
1996	面积(10 ³ hm ²)	23.3	57.4	6.6	13.7	0	16.4	2.6	11.0	32.1	163.1
	比例(%)	14.3	35.2	4.0	8.4	0	10.1	1.6	6.7	19.7	100

2 农田生态系统的演替

农田生态系统是以土地为基础的人工生态系统, 由于土地利用结构的不断变化, 土地农用的结构与特点也随之而改变, 在发展农业生产的同时, 通过合理的作物布局及生物种群的搭配, 提高人类生活水平, 改善生存环境。

2.1 农田生态系统结构变化

农田生态系统的结构随着科技进步、社会经济的发展而改变, 上世纪 1960~ 1970 年代在“以粮为纲”的思想指导下, 旱地以小麦、玉米、甘薯为主, 水田以水稻为主, 农田生态系统的组分单一, 空间结构以组分轮流占据, 农田生态系统结构简单(表 2), 以

旱地和水田生态系统为主。自上世纪 80 年代, 农村经济改革的浪潮席卷全国, 搞活了经济, 农产品大幅度增长。在发展生产的同时, 农民自觉或不自觉地接收并运用了生态学原理, 调整了农业产业结构, 从而出现了一些经济和生态环境协调发展的典型^[2]。川中丘陵区也同样产生不少农业结构调整的典型, 分析其农田生态系统的结构, 由过去单一粮食作物组分向多种作物包括粮食与经济作物并存的复合结构演替(表 2)。

旱地生态系统的演替十分活跃, 1980 年代通过粮食作物如传统的小麦、玉米和甘薯的时间组合开展粮食作物的轮作, 形成了川中丘陵区较为稳定的麦-玉-苕轮作体系, 同时利用轮作体系中的时间与空间特点, 引入其他经济作物如蔬菜、油菜、花生

等,提高土地的时空利用效率以提高系统的生产力,粮食产量上升,农业产值上升;利用不同作物对光热、水肥的需求差异在旱地生态系统中引入水果、干果和其他经济林木,形成多种农田立体结构如旱地果农系统、林农系统等;1990年代通过与生态环境建设如退耕还林等相结合,引入乔木型中药材和中草药及林间牧草,又形成林药、果药、林-果-草及林-粮-药等旱地农田生态系统衍生的复合生态系统,大大提高了旱地的土地生产力和产值,并同时改善了农田生态环境;由于养殖业与种植业的结合,在种植业的食物链上加环、加链增加粮食的利用链,形成种养复合系统;而旱地种养复合系统的基础上结

合农牧产品的加工,形成种养加复合系统,并对整个系统的有机废料循环利用,使系统的生产力和产值得到进一步提高;旱地生态系统在丘陵顶部因水肥条件差,生产力低下,同时还是水土流失的主要场所,系统相当脆弱且处于退化过程之中,通过退耕还林建设,森林的引入,在川中丘陵区旱地系统脆弱部位形成人工防护林系统,随着森林植被的恢复,林间草丛为牧业提供了一定食物,成为农业饲料粮的有力补充,使过去较为脆弱的单一旱地农业生态系统演替为农林牧复合生态系统,既提高了系统的生产力,又维护农业生态环境。

表 2 川中丘陵区农田生态系统的主要结构与变化

Table 2 Agro ecosystem structure and change in the central Sichuan Basin

年代	农田生态系统类型	结构组成	演替模式	作物产量(kg/ hm ²)	产值 (元/ hm ²)
1960~ 1970	旱地	小麦、玉米轮作	单一旱作	粮食: 6300	3150~ 5625
	水田	水稻- 冬水田	单一水田	粮食: 11250	
1980	旱地	小麦、玉米、甘薯、蔬菜、油菜、花生、棉花的间作、轮作	单一旱作→ 多种经营	粮食: 3260~ 8500 经济作物: 1350~ 2400	4330~ 5100
		核桃、柑桔、枇杷、桃、梨、苹果、泡桐、玉米、小麦、甘薯	旱地→ 果粮、 林粮复合模式	果品: 1800~ 24450 粮食: 2800~ 8250	
		小麦、玉米、甘薯、蔬菜、油菜、花生间作、轮作与畜禽养殖	旱地种植→ 种养复合	粮食: 5000~ 12000	8500~ 23050
		桉柏混交林、旱地、水田镶嵌	旱地→ 农林复合		
	水田	水稻、小麦(油菜) 轮作	水田→ 水旱轮作	粮食: 11250	5625
		水稻、小麦(油菜)、桑	水旱轮作→ 稻桑 复合	粮食: 11250 蚕茧: 450	6500
		水稻、鱼、鸭	水田→ 稻鱼复合	粮食: 13500	7500
1990	旱地	具 1980 年代的所有类型			
		核桃、柑桔、枇杷、桃、梨、苹果、杜仲银杏、玉米、小麦、牧草、中药材	旱地→ 果粮、林果、 林粮、林药、林农牧 复合		36500
		桉柏混交林、旱地、水田镶嵌	旱地→ 农林牧复合		26500
	水田	与 1980 年代基本相同			
		水稻、席草、鱼、菱角复合结构	水田→ 稻经复合		7800

水田生态系统在上世纪 60 年代通常为水稻-冬水田休闲的利用模式, 系统结构简单, 而冬水田冷害、烂泥等问题突出, 生产力低下, 自上世纪 80 年代以来通过冬水田改良, 采用水旱轮作的方式, 增加了组分, 水田生态结构相对丰富, 同时利用生物共生互利、竞争合作的关系形成复杂、优化和稳定的稻-鱼、稻桑复合系统, 提高了水田系统的生产力。

综上所述, 川中丘陵区农田生态系统通过其结构的不断调整与优化, 系统演替的结果使得农田生态系统趋于高产和稳定, 主要农田生态系统演替模式如下:

旱地生态系统因林业组分的引入, 演替成林粮、果粮复合生态系统; 旱地系统在农林、果农复合的基础上与畜牧业结合形成了农林牧复合生态系统; 旱地生态系统通过食物链将养殖业连接起来演变成农牧系统或种养模式, 从而形成了川中丘陵区 1980~1990 年代最稳定的“粮猪安天下”的局面。

水田生态系统因旱作引入而改变了水分与热量的时空限制, 形成水旱轮作模式, 开创了两季田的开发利用前景; 而水生动植物养殖的渗入, 单一冬水田系统演变成稻-鱼(鸭、虾)及稻-鱼-桑和稻-经(菱白、席草)等复合系统, 开始了冬水田的综合立体开发。

2 2 农田生态系统管理技术的改变

农田管理技术是农业可持续发展关键, 苏联土壤学家威廉斯说过,“没有不良的土壤, 只有不良的耕作法”, 说明农田管理技术是土地生产力的决定因素。

2.2.1 传统的农田管理技术

紫色土丘陵区传统的农田管理主要反映在开发紫色母岩资源、施肥及耕作管理上。农民很早就注意到“太阳可化紫石为土”的自然现象, 据此开发母岩资源, 增厚土层, 开荒种地, 形成那里有紫色岩层出露, 庄稼就种到那里的局面, 但紫色岩风化成土快又为土壤侵蚀提供了丰富的物源, 若不注意水土保持, 可能导致严重水土流失, 紫色页岩的风化侵蚀模数高达 $14\,380\sim 23\,952\text{ t/km}^2\cdot\text{a}^{-1}$ ^[3]; 传统的施肥技术倚重农家肥(厩肥), 当季肥效不足; 耕作特点为旱地麦-玉-苕轮作, 水田稻-麦(油菜)轮作, 农田结构相对单一, 空白生态位利用不充分。

2.2.2 现代农田管理技术特点

川中丘陵区农业发展的历程与全国相同, 现代农田管理技术主要依靠优良作物品种和化肥(尤其氮肥)、农药, 结合耕作栽培技术及土壤改良。遗传学理论的发展使作物育种工作不断取得突破, 农作物的优良品种是目前乃至今后农业发展的主要动力之一; 近年来影响农业高速发展的另一主要因素是化肥(尤其氮肥)的投入, 川中丘陵区化肥施用量较建国初期大幅度增加(图 1), 氮肥施用量增加更为突出。回顾自有种植业以来, 人们不难发现, 随着科学技术的不断进步, 农作物的单产也随之不断提高。这主要依赖于三大支柱: 遗传上固定的产量潜力的改进, 即品种的改良; 满足植物整个生育期所需要的养分, 即肥料及施肥技术; 土壤和水分管理的完善^[4]。

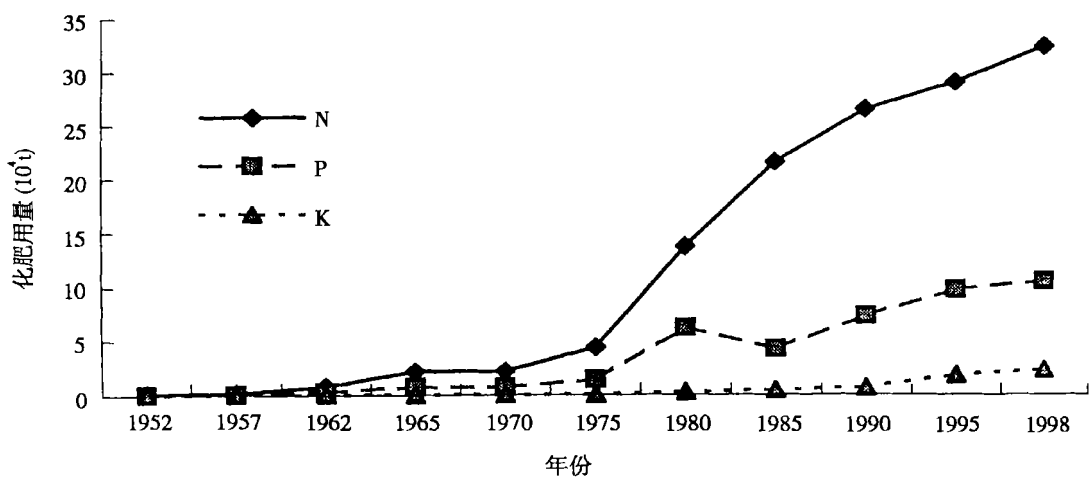


图 1 1952~1998 年川中丘陵区农业化肥年施用量

Fig. 1 Chemical fertilizers application in the central Sichuan Basin from 1952 to 1998

2.3 农田生态系统生产力演替

由于川中丘陵区农田生态系统利用自然生态系统中各生物种充分利用空间和资源的原理,通过不同种的优化组合,建立了各种形式立体复合结构,有效提高了农业生态系统的光能利用率,同时科学技术特别是优良作物品种及化肥的施用使得本地区农作物产量呈大幅度增长(图2),农田生态系统生产力大幅上升。其中粮食作物更为突出,川中丘陵区

水稻单位面积产量较建国初期增长2.7倍,小麦、玉米增加4.6、5.0倍,经济作物如油菜单位面积产量上升2.6倍。

川中丘陵农田生态系统生产力的大幅上升表明农田生态系统物质与能量的良性循环^[5],同时也为各种类型的复合农业生态系统的结构形成奠定了物质基础。

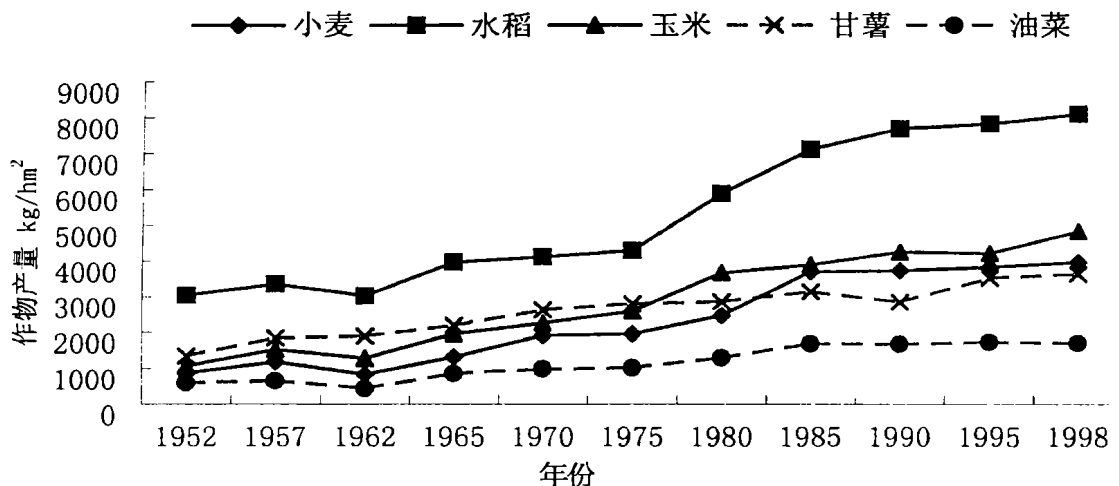


图2 川中丘陵区农作物单位面积产量变化图(1952~1998年)

Fig. 2 Crop yield change in hilly area of the central Sichuan Basin (1952~1998)

3 农业生态系统演替的效应

3.1 紫色土的侵蚀特征

紫色岩层岩体松软,风化剥蚀强烈,紫色土区是我国水土流失最为严重的地区之一,仅次于黄土地区。据川中丘陵区腹地地带的琼江流域水土流失调查(表3),土壤侵蚀面积达3277.8km²,占全流域总面积的75.7%,比1957年侵蚀面积增加了40.4%。土壤侵蚀总量达1850.5万t,平均侵蚀强度为5645.6t/km²·a⁻¹,属强度侵蚀区。同时川中丘陵区农耕发达,四川省约75%的人口集中于该地区,人地矛盾突出,土地垦殖率高,1950~1960年代大量林地的人口压力下被辟为耕地,严重时林地面积仅占9%,不少地区低于5%,区域内水土流失异常严重,多数地区土壤侵蚀强度为4000~7000t/km²·a⁻¹,大量泥沙下泄入江,嘉陵江北碛站多年观测表明,仅嘉陵江年输沙量为1.2亿t,占长江干流泥沙的21%,而且暴雨洪灾不断,旱灾年年发生。

3.2 土壤侵蚀的控制

紫色土区的水土流失已引起广泛关注,国家历来将该区列为水土流失重点防治区,并自1980年代以来,先后安排实施“长防工程”、“长治工程”等生态环境工程建设项目。这些项目通过山水田林路综合整治,为川中丘陵区水土流失的控制作出了积极贡献,森林覆盖率上升至21%,大部分地区土壤侵蚀强度有所下降,据盐亭紫色土农业生态站对不同土地利用类型的水土流失观测(表4),桉柏混交林削减径流和泥沙的作用强大,但纯柏林地无落叶覆盖,草被稀疏,保土作用削弱,草地控制土壤侵蚀效果最佳,但径流量为林地的2倍。小流域长期观测数据也表明,桉柏混交林与坡耕地镶嵌的农林复合小流域多年平均土壤侵蚀量为1056t/km²·a⁻¹(表4),径流系数为0.32,而对照小流域土壤侵蚀量为2580t/km²·a⁻¹,径流系数0.38,可见农林复合结构的水土保持效益良好。从嘉陵江北碛站近年观测资料分析表明,入江泥沙呈下降之势^[5]。

表 3 川中丘陵区琼江流域土壤侵蚀特征¹⁾

Table 3 Soil erosion in Qiong Jiang watershed in the central Sichuan Basin

侵蚀强度	侵蚀面积		侵蚀量		侵蚀模数
	km ²	%	10 ⁴ t	%	t/ km ²
无明显侵蚀	1051. 4	—	26. 29	—	250
轻度侵蚀	675. 9	20. 62	118. 28	6. 39	1750
中度侵蚀	1375. 1	41. 95	618. 8	33. 44	4500
强度侵蚀	1065	32. 49	825. 38	44. 60	7750
极强度侵蚀	96	2. 93	110. 4	5. 97	11500
剧烈侵蚀	65. 8	2. 01	177. 66	9. 60	27000
合计	3277. 8	100	1850. 52	100	5645. 6

1) 引自四川省水土保持办公室, 1983, 四川省琼江流域水土流失综合调查报告。

表 4 川中丘陵区植被类型与土壤侵蚀的关系(1996~ 1999 年)

Table 4 Soil erosion in different vegetation type in hilly area of the central Sichuan Basin

植被类型	降雨量 mm	降雨强度 mm/h	径流量		径流 系数	侵蚀量		侵蚀 模数	集水区侵 蚀模数
			m ³ /hm ²	(%)		kg/hm ²	(%)	t/km ² ·a ⁻¹	
旱坡地(6°)	79.0	74	106.2	268.9	0.45	3562	237.5	3860	1056
白茅草坡	79.5	26.2	80.0	202.5	0.38	1135	75.6	1136	2580
纯柏林	79.0	74	85.6	216.7	0.41	1852	123.5	1682	1056
桉柏混交林	79.0	74	39.5	100	0.32	1500	100	1253	1056

4 结论

随着植被一定程度的恢复,加之大面积的中低产田土的改良及水土流失综合治理,坡耕地推行横坡种植和秸秆覆盖,坡地水土流失基本得以控制,土壤养分和土层厚度得以基本维持,农田生态环境退化之势得到缓解。同时植被恢复缓解了“四料”——饲料、燃料、肥料、木料的矛盾,如森林系统的重建为当地提供了木料和农村生活的燃料,林下草坡为农区提供较为丰富的饲料,而农田秸秆得以还田,对土壤肥力的维持有一定作用,以土壤侵蚀为主的土地退化得到有效控制,从而基本遏制了川中丘陵农村能量与物质的恶性循环,农业生态系统的结构与功能必然朝着生产力提高的方向演变,系统呈正向演替的趋势。

参考文献(References):

[1] State Land Bureau of Sichuan province. Assessment of State Land

Resources of Sichuan Province.Chengdu: Sichuan Science Press. 1989. [四川省国土局,等.四川省国土资源评价及分区研究[M].成都:四川科学技术出版社.1989.]

[2] Ma Shijun, Li Songhua. Agro-ecological Engineering in China Beijing: Science Press. 1987. [马世骏,李松华.中国的农业生态工程[M].北京:科学出版社.1987.]

[3] Zhu Bo, Gao Meiron, Liu Gangcai et al. Weathering erosion of purple shale and environmental effects. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1999, 5(3): 33~ 37. [朱波,高美荣,刘刚才,等.紫色页岩风化侵蚀及其环境效应[J].水土保持学报,1999,5(3): 33~ 37.]

[4] Wang Dinghui, Liu Shangyi and Shen Lie et al. Crop Nutrients and High-productivity Planting. Beijing: Beijing University Press. 1994. [汪定淮,刘尚义,沈烈,等.作物养分与高产栽培[M].北京:北京大学出版社.1994.]

[5] Zhu Bo, Chen Shi and Zhang Xianwan. Effects of tillage system on nutrient cycling in purple soil area *Mountain Research*. 1996, 14 (supplement): 51~ 54. [朱波,陈实,张先婉.耕作制度对紫色土养分循环的影响[J].山地研究,1996,14(增): 51~ 54.]

[6] Xu Jiongxin. Variations of runoff and sediment and relations to forest destroy in the upper streams of Yangtze River. *Journal of Water Conservation*. 2000, (1): 72~ 80. [许炯心.长江上游干支流泥沙变化及其与森林破坏的关系[J].水利学报.2000,(1): 72~ 80.]

Evolverment of Agro-ecosystem in the Hilly Area of the Central Sichuan Basin

ZHU Bo, GAO Mei-rong, LIU Gang-cai, LUO Gu-is-heng, and ZHANG Xian-wan
(*Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041 China*)

Abstract Land use change and cropland succession and impacts on agro-ecosystem were analyzed on investigation and observation data. Results showed that land use in the hilly area of the central Sichuan Basin have been changed a lot since 1960s. Increase of forestry land and decrease of cropland resulted in structure change of agro-ecosystem and formation of agro-forestry ecosystem. Meanwhile, structure of farm ecosystem trended to be complex. As improvement of management techniques on soil conservation and fertilization, crop yields increase sharply and soil erosion and environment degradation has got controlled. Agro-ecosystem is tending to be stable and high productive.

Key words: hilly area in the central Sichuan Basin; land use change; agro-ecosystem; evolvement.