

三峡库区农林复合生态系统的效益评价

吴 钢, 魏 晶, 张 萍, 赵景柱

(中国科学院生态环境研究中心 系统生态重点实验室, 北京 100085)

摘要:在对三峡库区农林复合生态系统大面积调查和定点测试的基础上,根据生态学原理和生态经济学原理,采用层次分析法(AHP),根据对农林复合生态系统的生物量和生产力、物质流、能量流、价值流、土地利用等系统研究的结果,对三峡库区分布面积较大的 4 种农林复合生态系统从经济效益、生态效益、社会效益及综合效益方面进行了评价,并与农田生态系统进行了对比研究。这一研究结果将为科学合理地利用三峡库区土地资源、生物资源和气候资源提供重要的科学依据,为保护和改善三峡库区的生态环境、解决农村移民就地安置部分的生存问题及提高农村的经济发展水平提供理论基础。

关键词:综合效益;评价;农林复合生态系统;三峡库区

Benefit Assessment of Agroforestry Ecosystems in the Three Gorges Reservoir Area

WU Gang, WEI Jing, ZHANG Ping, ZHAO Jing-Zhu (Key Laboratory of Systems Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2): 233~239.

Abstract: This paper is based on the adequate survey of agroforestry ecosystems in the Three Gorges Reservoir Area. Applying ecological principles and ecological economy principles, making use of AHP, and on the basis of the results of systematic researches on biomass and productivity, material cycle, energy flow, value flow and land use ratio of agroforestry ecosystems, this paper assesses the economic benefits, ecological benefits, social benefits and comprehensive benefits of the four types of agroforestry ecosystems with larger areas in the Three Gorges Reservoir Area. The agroforestry ecosystems are also compared with farmland ecosystems. The results showed that, the amount of storage, output and return of total N, P, K in the model of cypress forest-grassland-citrus forest-crops-vegetable (T_1), cypress forest-citrus forest-crops-vegetable (T_2), citrus forest-crops (T_3), cypress forest-crops (T_4) are respectively 3.96, 3.70, 3.19, 1.02 times; 1.85, 2.15, 1.99, 1.82 times; 2.56, 2.41, 2.66, 1.88 times of farmland ecosystem of wheat-peanut (T_5). The amount of storage, utilization, output and utilization ratio of sunlight energy of T_1 , T_2 , T_3 and T_4 are 3.56, 3.36, 3.19, 2.96 times; 2.84, 2.36, 2.32, 1.96 times; 3.09, 2.20, 2.61, 1.94 times and 5.68, 5.64, 6.32 and 4.86 times of T_5 . The benefits cost rate (BCR) of four types of agroforestry ecosystems are 1.84, 1.97, 5.11 and 1.78 times of crop ecosystem of wheat-peanut, 1.11, 1.19, 3.08 and 1.08 times of wheat-vegetable (T_6). The order of BCR and net benefit of unit area among four agroforestry ecosystems and two farmland ecosystems is $T_3 > T_2 > T_1 > T_4 > T_6 > T_5$. The efficiencies of land use of agroforestry ecosystems (T_1 , T_2 , T_3 , T_4) compared with farmland ecosystem of wheat-peanut (assumed 1) are 1.88, 1.98, 4.85 and 1.69; with wheat-vegetable are 1.15, 1.21, 2.96 and 1.04. It means that the efficiency of land use is $T_3 > T_2 > T_1 > T_4 > T_6 > T_5$. All of social benefit, economic

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000046807);国家自然科学基金重点基金资助项目(79930800)

收稿日期:2001-05-08;修订日期:2001-11-09

作者简介:吴钢,男,内蒙古赤峰人,博士,研究员。主要从事农林生态和恢复生态学研究。

benefit, ecological benefit and comprehensive benefit of agroforestry ecosystems are higher than farmland ecosystems. The order of social benefit is $T_1>T_2>T_4>T_3>T_5$ and T_6 ; the economic benefit is $T_3>T_1>T_2>T_4>T_5$ and T_6 ; the ecological benefit is $T_1>T_3>T_2>T_4>T_5$ and T_6 ; the comprehensive benefit is $T_1>T_3>T_2>T_4>T_5$ and T_6 . The research results provide important scientific foundation to advisably make use of land resources, biological resources and climate resources, and to protect and improve ecological environment in the Three Gorges Reservoir Area.

Key words:comprehensive benefit;assessment;agroforestry systems;the Three Gorges Area

文章编号:1000-0933(2002)02-0233-07 中图分类号:S181,X17 文献标识码:A

人工生态系统的经营目的就是追求持续的最大的经济效益、生态效益、社会效益及其综合效益^[1]。经济效益是生态系统经营管理的目的之一,对特定的生态系统而言,它往往是相对短期的,但是它的大小直接决定着经营者的动力及其对生态系统的支撑和维护(或维持)的投入能力^[2~4]。它反映了人工生态系统经营的程度,它是由生态系统的经营方式、经营规模、投入强度,区域的自然状况等决定的。稳定而持续的生态效益是人工生态系统经营的必要前提,是决定生态系统健康和区域环境质量(或区域安全)的主要体现,是维持生态系统持续稳定输出生产力的保障,是人类生存环境质量保证的必要条件,它是生态系统长期效益的体现,同时它也是协调人类、自然、环境各子系统的重要环节。社会效益是区域生态系统稳定的主要体现,是连接生态系统管理和人类活动的桥梁^[5~9]。综合效益的大小是标志人工生态系统经营管理质量的重要指标。追求人工生态系统持续稳定的最大的综合效益是生态系统经营的最终目标^[10]。

农林复合生态系统是典型的人工生态系统,它具备人工生态系统的特点,同时它也具有其独特的特点。它是在农区、丘陵山区农民对土地利用的主要形式,是推进农业、农区林业可持续发展的主要土地利用方式^[11,12]。

在系统分析了三峡库首秭归县的主要 4 种类型农林复合生态系统的结构和功能(生物量、生物生产力、物质循环、能量流动、价值流和土地利用状况)的前提下,采用 AHP(层次分析法),选用一些综合指标,建立指标体系,与该区典型的农田生态系统进行效益的对比分析^[13~15],以便探讨并推出最优化的农林复合生态系统生产模式。

1 试验地的选择及其基本情况

选择的 4 种农林复合生态系统分别为:柏木林-草类-柑桔林-农作物-蔬菜-鱼塘类型(T_1)(一个坡面自上而下);柏木林-柑桔林-农作物-蔬菜-鱼塘类型(T_2);柑桔林-农作物类型(T_3);柏木林-农作物类型(T_4)。4 种农林复合生态系统的其水平结构和垂直结构见^①。两种农田生态系统类型分别为:小麦-花生类型(T_5);农作物-蔬菜类型(T_6)。这 6 种土地利用类型均在三峡库首秭归县曲溪流域内,流域面积 8km²,12 条流域内溪流。该流域属低山丘陵地貌,4 种农林复合生态系统类型分别分布在不同丘陵低山上的南坡,坡面坡度在 14°~18°之间。每一低山的高度基本相同(海拔 600m)。将每一坡面看作一个完整的生态系统,由于坡面上植被被景观不同,形成不同类型的农林复合生态系统。 T_5 类型和 T_6 类型分布在流域的下部。此流域为北京林业大学和湖北省林科院的长期定位研究点。水土流失数据、涵养水源数据分别利用了长期定位研究的积累数据。

2 评价方法

层次分析法(AHP)是近 30a 来才提出的一种将定量和半定量指标有效结合起来分析的多目标评判方法,在多目标决策中应用非常广泛。它通过确定研究问题的目标,选择并建立指标体系,计算各指标的值,然后获取综合效益的效益值,以决定几种候选方案的优劣^[15]。

2.1 评价指标体系的建立

① 吴钢,中国科学院生态环境研究中心博士学位论文,2001,67~77.

对于农林复合生态系统这样复杂的生态系统,无论从其结构,还是从其功能来看,能够反映该系统功能性质的指标非常多,但是,任何一个单个指标都无法反映农林复合生态系统的综合特征。为此,根据以下原则选择一些有关系统经济效益、社会效益和生态效益方面的一系列指标:

- (1) 指标应该反映农林复合生态系统、农田生态系统、林业生态系统的整体功能,包括反映生态系统的稳定性、复杂性、物质流、能量流和价值流投入输出状况^[16]。
- (2) 指标应该能反映生态系统的长期行为和短期行为,对发展一种有利于可持续发展的农林复合生态系统生产方式,就应该把短期利益和长期利益结合起来考虑^[17]。
- (3) 指标应该能够尽量用定量表示,如无法定量表示,也应可以确定农林复合生态系统、农田生态系统或林地生态系统和果园生态系统之间的相对重要程度,用其重要程度序数表示。
- (4) 尽量采用综合指标,指标之间应该尽量保持相互独立,无直接作用关系^[18]。
- (5) 指标应互相补充、指标形成的体系应全面(至少较全面)地反映系统的各种功能特征,并构成完整的体系^[19]。

根据以上原则,选择了有关社会效益、经济效益和生态效益的指标 19 个,见图 1。

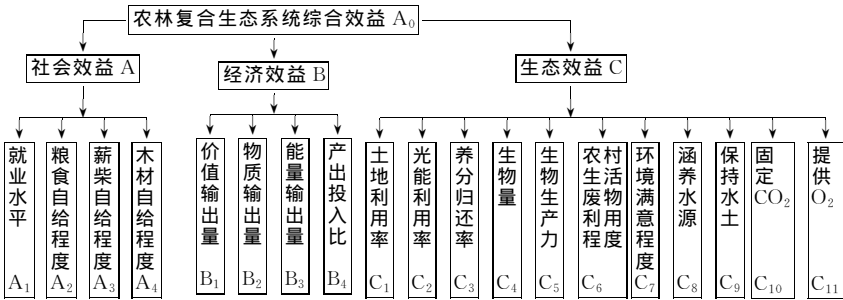


图 1 农林复合生态系统综合效益评价指标体系

Fig. 1 Indicator system of benefit assessment of agroforestry ecosystems
评价体系中,粮食自给程度、薪柴自给程度、木材自给程度、农村生活废物利用程度、环境满意程度 5 项指标是通过调查问卷形式的专家系统统计而得(362 份问卷);其他指标是采用定量实测结果。A₀ synthetical benefits of agroforestry. A social benefit. B economic benefit. C ecological benefit. A₁ employment capacity. A₂ self-support capacity of food. A₃ self-support of capacity of core wood. A₄ self-support capacity of wood. B₁ value sendout. B₂ elements sendout. B₃ energy sendout. B₄ ratio of output to input. C₁ ratio of land-use. C₂ utilization ratio of sunlight energy. C₃ return ratio of nutrient. C₄ biomass. C₅ productivity. C₆ capacity in use of sanitary wastes in country. C₇ environment quality. C₈ Water conservation. C₉ Soil and water conservation. C₁₀ fixed CO₂. C₁₁ provide O₂.

2.2 评价过程

应用 AHP 方法进行农林复合生态系统综合效益评价的步骤为:

- (1) 确定每一层次的权重系数 首先聘请有关从事该领域的专家、当地领导和经营土地的农民,采用成对比较的方法,根据建立的判断矩阵,求出每一层次目标相对于上一层次目标的单因子权重。
 - (2) 确定组合权重 根据不同层次的单权重,可以求出每一指标相对于综合效益的组合权重。
 - (3) 指标的量化 根据各指标的量化特征可以将所有的指标分为两类处理,一类是可以直接用测试数字表达的;另一类指标是定性的、难以用数字表达的,可以用其指标对不同类型的相对重要性表示。然后将这些数据进行规范化处理,消除量纲差别,作为指标的量化值^[20]。
 - (4) 求出各类型的生态效益、经济效益和社会效益及综合效益值 每一类型的效益值是通过各指标的量化值乘以相应指标的组合权重,然后求和得到的。
 - (5) 优化生态系统类型的确定 比较各类型的综合效益值,得出优化类型。
 - (6) 根据生态系统的特点(生态学特点、生物学特点和经济学特点),提出优化类型进一步优化的改进途径^[21]。
- 万方数据

3 农林复合生态系统的综合效益评价

按以上步骤,根据测试及调查结果,可以统计农林复合生态系统和农田生态系统生态效益、经济效益、社会效益各项评价指标的原始值见表 1。

对不同农林复合生态系统和农田生态系统的各项效益评价指标的原始值进行数量化处理见表 2。

表 1 农林复合生态系统的效益原始值

Table 1 The benefit original value of agroforestry systems

效益	效益指标	农村复合生态系统类型					
		The types of agroforestry ecosystem					
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
社会效益	就业水平(个劳力/年)	520	510	615	320	320	350
	粮食自给程度(完全自给为 1.0)	0.8	0.8	0.9	0.8	1.0	0.9
	薪柴自给程度(完全自给为 1.0)	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2**	0.2**
	木材自给程度(完全自给为 1.0)	1.0	1.0	0.2**	1.0	0.2**	0.2**
经济效益	价值输出量(元/hm ² ·a)	10951	11509	28168	10584*	5812	9507
	物质输出量(kg/hm ² ·a)	281.5	326.2	302.1	276.0*	152.1	124.6
	能量输出量(10 ¹⁰ J/hm ² ·a)	91.85	65.39	77.64	60.09*	29.88	27.30
	产出投入比(经济产投比)	2.21	2.36	6.13	1.45	1.20	1.99
生态效益	土地利用率先	1.88	1.98	4.85	1.69	1.00	1.66
	光能利用率	1.25	1.24	1.39	1.07	0.22	0.31
	养分归还率	10.43	8.09	9.98	9.51	3.25	2.08
	生物量(t/hm ²)	28.05*	28.12*	55.01	30.44*	22.05	18.63
	年生物生产力(t/hm ² ·a)	27.79*	28.76*	47.54	29.00*	22.05	18.63
	农村生活废物利用程度(满意为 1)	0.95	0.95	0.90	0.90	0.50	0.50
	环境满意程度(满意为 1)	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5
	涵养水源(按水折合为元/hm ²)	1681.2	1477.2	904.8	724.5	669.0	806.0
	保持水土(按养分折合为元/hm ²)	3409.7	2274.9	981.0	1619.6	1355.0	688.8
	固定 CO ₂ (固定 1t 成本 273.3 元)	8552.8	6159.2	2283.0	333.8	1167.0	1891.4
	提供 O ₂ (提供 1t 成本 369.7 元)	8484.3	6154.0	2438.0	3357.5	1054.0	1844.9

* 为包含林木木材的量,这部分是一次性利用时的数量在生长年限内的平均。 ** 为部分秸秆和部分秸秆产品。各指标的测定方法见下注,本文主要是针对农林复合生态系统与农田生态系统的效益评价,具体测定本文未直接引出

表 2 农林复合生态系统功能指标的权重系数及其归一化处理值

Table 2 The weighting of assess indicators and the data of normalization

第一层次	单权重	第二层次	单权重	组合权重	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
D	F	G	F	H						
社会效益 A	0.30	就业水平	0.20	0.060	1.6250	1.5938	1.9219	1.0000	1.0000	1.0938
		粮食自给程度	0.50	0.150	0.8000	0.8000	0.9000	0.8000	1.0000	0.9000
		薪柴自给程度	0.20	0.060	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	1.0000	1.0000
		木材自给程度	0.10	0.030	5.0000	5.0000	2.0000	5.0000	1.0000	1.0000
经济效益 B	0.40	价值输出量	0.50	0.200	1.8842	1.9802	4.8465	1.8211	1.0000	1.6358
		物质输出量	0.10	0.040	1.8508	2.1446	1.9862	1.8146	1.0000	0.8192
		能量输出量	0.10	0.040	3.0740	2.1884	2.5984	2.0110	1.0000	0.9137
		产出投入比	0.30	0.120	1.8417	1.9667	5.1083	1.2083	1.0000	1.6583
		土地利用率先	0.10	0.030	1.8800	1.9800	4.8500	1.6900	1.0000	1.6600
		光能利用率	0.10	0.030	5.6818	5.6364	6.3182	4.8636	1.0000	1.4091
		养分归还率	0.10	0.030	3.2092	2.4892	3.0708	2.9262	1.0000	0.6400
		生物量	0.10	0.030	1.2721	1.2753	2.4948	1.3805	1.0000	0.8449
生态效益 C	0.30	年生物生产力	0.15	0.045	1.2603	1.3043	2.1560	1.3152	1.0000	0.8449
		农村生活废物利用程度	0.05	0.015	1.9000	1.9000	1.8000	1.8000	1.0000	1.0000
		环境满意程度	0.05	0.015	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	1.0000	1.0000
		涵养水源	0.10	0.030	2.5130	2.2081	1.3525	1.0830	1.0000	1.2048
		保持水土	0.10	0.030	2.5164	1.6789	0.7240	1.1953	1.0000	0.5083
		固定 CO ₂	0.05	0.015	7.3289	5.2778	1.9563	0.2860	1.0000	1.6207
		提供 O ₂	0.10	0.030	8.0496	5.8387	2.3131	3.1855	1.0000	1.7504
		综合效益 E			58.687	52.262	53.397	40.380	19	21.504

* 为包含林木木材的量,这部分是一次性利用时的数量在生长年限内的平均。 D the first level indicator. F weight coefficient of single factor. G second level indicator. H weight combination. E synthetical benefits. A social benefit. B economic benefit. C ecological benefit

3.1 以 T_5 类型(小麦-花生农田生态系统)为标准化值 1,对其它各项指标进行处理。其处理后的指标数值能反映出不同生态系统间效益的差异程度,处理后的指标值和其各效益指标在不同层次上的权重系数及组合权重系数分析表见表 2。

3.2 将表 1 和表 2 数据进一步进行数据进行归一化处理,将 4 种农林复合生态系统和 2 种农田生态系统综合效益最大的生态系统的综合效益值看作 1,则对其它各系统及其不同生态系统中生态效益、社会效益和经济效益对综合效益的贡献量进行分析,其结果见表 3。

表 3 农林复合生态系统效益指标的标准数量化值

Table 3 The standard quantifying value of benefit indicators of agroforestry systems							
效益指标 Benefit indicator		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
社会效益 A	就业水平	0.8455	0.8293	1.0000	0.5203	0.5203	0.5691
	粮食自给程度	0.8000	0.8000	0.9000	0.8000	1.0000	0.9000
	薪柴自给程度	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.2000	0.2000
	木材自给程度	1.0000	1.0000	0.2000	1.0000	0.2000	0.2000
经济效益 B	价值输出量	0.3888	0.4086	1.0000	0.3757	0.2063	0.3375
	物质输出量	0.8630	1.0000	0.9261	0.8461	0.4663	0.3820
	能量输出量	1.0000	0.7120	0.8453	0.6542	0.3253	0.2972
	产出投入比	0.3605	0.3850	1.0000	0.2365	0.1958	0.3246
生态效益 C	土地利用率	0.3876	0.4082	1.0000	0.3485	0.2062	0.3423
	光能利用率	0.8993	0.8921	1.0000	0.7698	0.1583	0.2230
	养分归还率	1.0000	0.7756	0.9569	0.9118	0.3116	0.1994
	生物量	0.5099	0.5112	1.0000	0.5534	0.4008	0.3387
	年生物生产力	0.5846	0.6050	1.0000	0.6100	0.4638	0.3919
	农村生活废物利用程度	1.0000	1.0000	0.9474	0.9474	0.5263	0.5263
	环境满意程度	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.5000	0.5000
	涵养水源	1.0000	0.8787	0.5382	0.4309	0.3979	0.4794
	保持水土	1.0000	0.6672	0.2877	0.4750	0.3974	0.2020
	固定 CO_2	1.0000	0.7201	0.2669	0.0390	0.1364	0.2211
	提供 O_2	1.0000	0.7253	0.2874	0.3957	0.1242	0.2174

A social benefits. B economic benefits. C ecological benefits

3.3 农林复合生态系统效益分析

将农林复合生态系统不同类型中综合效益最大的看作为 1,分析各类型农林复合生态系统及农田生态系统的综合效益,其结果见表 4。

表 4 农林复合生态系统效益分析

Table 4 Benefit analysis of agroforestry systems						
效益 Benefit	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
社会效益 Social benefits	0.2331	0.2321	0.1982	0.2123	0.1228	0.1195
经济效益 Economic benefits	0.1670	0.1602	0.2412	0.1351	0.0763	0.0858
生态效益 Ecological benefits	0.5999	0.5233	0.5297	0.4144	0.2317	0.2328
综合效益 Synthetical benefits	1.0000	0.9156	0.9691	0.7618	0.4308	0.4381

从分析结果可以看出,农林复合生态系统的社会效益、经济效益、生态效益均大于农田生态系统,其综合效益也大于农田生态系统。就社会效益而言,其效益排列顺序为: T_1 类型 $>T_2$ 类型 $>T_4$ 类型 $>T_3$ 类型 $>$ 农田生态系统(T_5 类型和 T_6 类型);就经济效益而言, T_3 类型 $>T_1$ 类型 $>T_2$ 类型 $>T_4$ 类型 $>$ 农田生态系统(T_5 类型和 T_6 类型);就生态环境效益而言, T_1 类型 $>T_3$ 类型 $>T_2$ 类型 $>T_4$ 类型 $>$ 农田生态系统(T_5 类型和 T_6 类型)。

4 结论与讨论

4.1 T_1 类型农林复合生态系统的综合效益约为 T_5 类型(农田生态系统)的 3.1 倍; T_2 类型约为农田生态

系统(T_5)的 2.75 倍; T_3 类型约为农田生态系统(T_5)的 2.81 倍; T_4 类型约为农田生态系统(T_5)的 2.13 倍。综合效益中, T_1 类型、 T_2 类型、 T_3 类型、 T_4 类型、 T_5 类型、 T_6 类型中的社会效益、经济效益、生态效益,分别占 21.17%,14.74%,64.09%;23.72%,15.84%,60.44%;18.39%,27.23%,54.38%;29.22%,16.98%,53.80%;21.05%,21.05%,57.90%;18.57%,23.38%,58.05%。可见无论在社会效益、经济效益、生态效益的单项效益上,还是在社会、经济、生态的综合效益上,农林复合生态系统均大于农田生态系统。

4.2 农林复合生态系统的综合效益均大于农田生态系统,而针对该 4 种农林复合生态系统来说,其综合效益是 T_1 类型 $> T_3$ 类型 $> T_2$ 类型 $> T_4$ 类型,这一分析结果应是相对的,对每一种农林复合生态系统,它的综合效益均是随着其结构、外界环境、产品市场价格、认为经营方式和投入强度的不同而不同,在该区,它优于农田生态系统,但是并不能说在该区这 4 种类型就是最优化的农林复合生态系统,也不能说,该 4 种农林复合生态系统结构最为合理、功能最佳、效益最高。

4.3 三峡库区地处亚热带,雨量充沛,温湿度较适合于多种植物的生长,如何将木材树木、经济林树木、牧草、药材、农作物、渔业养殖、家禽养殖等利用生态工程的原理,合理而科学的组合在一起,将时间配置、空间配置、农林复合生态系统的产品配置等更趋于科学合理,将粮食产品、肉类产品、木本粮油产品、果实产品与生态环境的维护与改善等有机的结合在一起等,这些研究将是科学合理地开发三峡库区区域资源(水、土、气、生等资源)的长期而重要的课题,也是决定三峡库区可持续发展的主要方面^[22]。

4.4 丘陵山区农林复合生态系统不同于平原农区农林复合生态系统,平原农区农林复合生态系统主要以保护农田、提高农产品质量、调节农区小气候、满足农村木材和薪柴及果品的需要等为目的;而丘陵山区除了以上经营目的之外,更为重要的还有防治水土流失和土壤侵蚀、涵养水源、保护水质、改良土壤等目的^[22]。三峡库区土地资源紧张,人均耕地少,人口密度大,水土流失严重,因此,对农林复合生态系统的综合研究,探讨结构优化、功能最佳的农林复合生态系统将更有意义。本文只是对现有的农林复合生态系统进行了总结研究,根据区域特点,更加科学合理地配置最佳的农林复合生态系统将有待深入研究。

参考文献

- [1] Howard A S and Nair P K R. Agroforestry: A Decade of Development ICRAF. Nairobi. 1987, 36~57.
- [2] Howard A S, Nair P K R, *et al.* Agroforestry a Recede of Development ICRAF Nairobi. 1987, 122~ 346.
- [3] Lefroy E C. Tree and shrubs as sources of fodder in Australia. *Agroforestry Systems*, 1992, **20**: 117~140.
- [4] Nair P K R. Agroforestry systems in tropics, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989, 44~102.
- [5] Nair P K R. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 1985, **3**: 97~128.
- [6] Om P T. Structure and function of traditional agroforestry systems in the Western Himalaya, I. Biomass and Productivity. *Agroforestry Systems*, 1989, **9**: 47~90.
- [7] Prinsley R T. The role of trees in sustainable agriculture an overview. *Agroforestry Systems*, 1992, **20**: 87~116.
- [8] Scheer S J. The role of extension in agroforestry development: evidence from western Kenya. *Agroforestry Systems*, 1992, **18**: 47~67.
- [9] Wu G (吴钢) and Han B P (韩博平). The sensitivity analysis of recycling indices of Nitrogen, Phosphorus and Potassium in an agroforestry ecosystem of the *Populus euramericana-triticum sativum zea mays*. *J. of Beijing Forestry University* (in Chinese)(北京林业大学学报), 1995, **4**(1):27~33.
- [10] Wu G (吴钢), Gao L (高林). Research on exploitation and sustainable development countermeasure of marginal lands in the Three Gorge reservoir area. *Chinese Journal of Environmental Science*(in Chinese). 1998, **19**(1):89~93.
- [11] Li W H (李文华), Lai S D (赖世登). *Agroforestry in China*(in Chinese). Beijing: Science Press. 1994, 1~60.
- [12] Xiong W Y (熊文彦). The types and benefit of agroforestry. In: *Collected papers of symposium of agroforestry* (in Chinese). Haerbin: Northeast Forestry University Press. 1988, 1~5.
- [13] Zhu H (朱红) 万为数据. Study on economic benefit of agroforestry. In: *Collected papers of symposium of agroforestry* (in Chinese). Haerbin: Northeast Forestry University Press. 1988, 119~126.

[14] Huang B L (黄宝龙). Study on ecological system of agroforestry. *Journal of Ecology*(in Chinese) (生态学杂志), 1991, **10**(3): 27~32, 40.

[15] Wu G (吴刚), Feng Z W (冯宗炜). Study on benefit of agroforestry in Huang-Huai-Hai plain. *Agricultural Modernization Research*(in Chinese) (农业现代化研究), 1992, **13**(3): 154~156.

[16] Wang L X (王礼先), Xie M S (解明曙). Ecological benefit and information systems of shelter belt in mountainous regions(in Chinese). Beijing: China Forestry Publishing House. 1997, 23~46.

[17] Zou Xiaoming and Sanford R L. Agroforestry systems in China: A survey and classification. *Agroforestry Systems*, 1990, **11**: 1985~1994.

[18] Young A. Change and constancy: an analysis of publications in Agroforestry Systems Volumes 1-10. *Agroforestry Systems*, 1991, **13**: 195~202.

[19] Wu Gang. Nitrogen, phosphorus and potassium recycling in an agroforestry ecosystem of Huanghuaihai Plain: with *Paulownia elongata* intercropped wheat and maize as an example. *J. of Envir. Science*, 1998, **10**(3): 189~196.

[20] Wu Gang. Energy of forest systems in the Three Gorge Reservoir area, *J. of Envir. Sciences*, 1999, **11**(1):106~111.

[21] Wu Gang and Zhang Xudong. Nutrient cycling characteristics of *Quercus acutissima* and *Pinus massoniana* mixed forest in the Three Gorge Reservoir area. *J. of Envir. Science*, 1998, **10**(3): 378~384.

[22] Hokstira D A. Economics of agroforestry. *Agroforestry Systems*, 1987, **5**: 293~300.