

## 黄土丘陵区植被次生演替灌木初期土壤物理性质特征<sup>\*</sup>

张 健<sup>1</sup>,刘国彬<sup>1,2</sup>,许明祥<sup>1,2</sup>,李小利<sup>2</sup>,周 萍<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学,陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所,陕西 杨陵 712100)

**摘 要:**研究了黄土丘陵区植被次生演替草灌过渡灌木初期的土壤物理性质特征。结果表明:当植被次生演替进展到草灌过渡灌木初期,除土壤含水量外,土壤容重、孔隙度、稳定入渗和水稳性团聚体都好于对照白羊草地,表明灌木树种定居的土壤物理条件一般要高于草本群落。植被演替的过程是植被与土壤相互作用复杂变化的过程,它们的相互反馈也是生态恢复的重要标志。随着植物群落的变化土壤也发生着不同程度变化。其中,土壤物理性质各个因子之间的变化是相互影响和相互联系的。土壤稳定入渗速率与土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度和土壤团聚体之间有显著的相关关系;土壤毛管孔隙度与土壤非毛管孔隙度线性显著负相关;土壤容重与土壤总孔隙度极显著负相关。

**关键词:**黄土丘陵区;次生演替;土壤物理性质;灌木

**中图分类号:**S714.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2008)04-0101-04

## Soil Physical Properties of Vegetation Secondary Succession on Early Shrub Stage in Loess Hill Gully

ZHANG Jian<sup>1</sup>, LIU Guo-bin<sup>1,2</sup>, XU Ming-xiang<sup>1,2</sup>, LI Xiao-li<sup>2</sup>, ZHOU Ping<sup>2</sup>

(1. Northwest A & F University, Yangling, shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, shaanxi 712100, China)

**Abstract:** This paper studied the characteristics of soil physical properties during vegetation secondary succession from herb stage to shrub stage in loess hill gully. The results indicated that shrubs soil bulk density, porosity degree, soil infiltration and soil water stable aggregates was better than that of *Bothriochloa ischaemum* field. But soil water content is an exception. Soil physical properties of shrub tree were higher than that of herb community. The process of vegetation succession is an interaction and complicated changed process between vegetation and soil. Plant-soil interaction is the most important feedback in the processes of restoration and succession. Soil has different degree change with the change of plant communities. Thereinto, the change of different soil physical property factors is reciprocally influencing and relation. The soil infiltration rates has significant linear correlation with soil bulk density, total porosity, capillary porosity and soil water stable aggregate. Capillary porosity has negative linear correlation with non-capillary porosity ( $P < 0.05$ ). Soil bulk density has significant negative linear correlation with total porosity ( $P < 0.01$ ).

**Key words:** loess hill gully; secondary succession; soil physical property; shrub

### 1 引 言

黄土高原特殊的地理生态环境条件和水土流失等一系列严重的生态问题,构成了该地区生态环境建设的特殊性和紧迫性。黄土丘陵区是森林地带向草原地带过渡的中间地带,环境复杂多变,是目前在林草植被建设中存在问题较多的区域<sup>[1]</sup>。一些研究表明,人工林草植被虽然在短期内可以有效增加植被盖度、迅速恢复植被,但在黄土高原地区由于

气候干旱、“适地适树(草)”问题仍然没有得到妥善解决、人工植被的构成成分过于简单等多种原因,人工植被在经历一定阶段以后会逐渐退化与衰败,甚至形成较为严重的土壤干层,这无疑又阻碍了植被的进一步恢复<sup>[2-4]</sup>。前人己就该区恢复演替规律<sup>[5-8]</sup>、土壤环境演变<sup>[9-12]</sup>及植被恢复建设<sup>[13-14]</sup>等方面做了大量有意义的研究,但至今对植被次生演替从草本阶段向灌木阶段生态过渡区的研究还未见报道。然而从草本植物群落进入灌丛植物群落阶段是一个较敏感的生态

<sup>\*</sup> 收稿日期:2007-12-27

**基金项目:**国家自然科学基金重点项目(90502007);国家重点基础研究发展计划(2007CB407205);中国科学院知识创新项目(KZCX2-XB2-05-03)

**作者简介:**张健(1980-),男,吉林梨树人,在读硕士,主要从事植被恢复与环境效应方面的研究。E-mail: zhangjian12102 @163.com

**通信作者:**许明祥(1972-),男,陕西吴旗人,副研究员,主要从事土壤侵蚀方面的研究。E-mail: xumx @nwsuaf.edu.cn

过渡区,具有重要的土壤与植被恢复生态学意义<sup>[15]</sup>,对该区植被建设也有着重要的理论和实践意义。土壤和植被之间相互作用,互为动力。植被改善土壤条件的同时,也为其自身的生长、演替创造了条件。灌木初期土壤物理性状可以在一定程度上反映植被从草本阶段向灌木阶段自然演替过程中灌木物种对其定居的土壤环境条件的需求。通过对退耕地自然恢复过程中出现的早期灌木土壤物理性质的研究,揭示植被次生演替从草本向灌木阶段过渡时适宜的土壤物理条件,为该区植被恢复重建提供科学依据。

2 研究区概况和方法

2.1 研究区概况

研究区位于陕北安塞县,属典型的黄土高原丘陵沟壑区。年均降雨量为 505 mm,年平均蒸发量 1 000 mm,无霜期 160~180 d,年日照时数 2 352~2 573 h, 10 积温 2 866 ,年均气温 8.9 ,属大陆性季风气候。土壤以黄绵土为主,约占总面积的 95 %。该区地带植被属于暖温带森林草原区。分布较广且具有代表性的主要的植物种类有:有长芒草 (*Stipa bungeana*)、白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*)、铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum*)、披针苔草 (*Carex lanceolata*)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、互叶醉鱼草 (*Buddleja alternifolia*)、柠条锦鸡儿 (*Microphylla Lam.*)、黄刺玫 (*Rosa hougonis*)、辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 等。

表 1 样地基本情况

种类	样地号	坡位	坡向	坡度/(°)	备注
白羊草	Bi1	上部	SW15°	32	白羊草 + 胡枝子群落
	Bi2	上部	SE10°	25	
	Bi3	上部	SW15°	28	
狼牙刺	Sd1	上部	SE25°	25	白羊草 + 铁杆蒿 + 达乌里胡枝子群落
	Sd2	中部	SW10°	27	
杠柳	Ps1	上部	SW15°	32	白羊草 + 胡枝子或铁杆蒿群落
	Ps2	上部	SE10°	23	
	Ps3	下部	SW20°	27	
灌木铁线莲	Cf1	上部	SW15°	31	白羊草 + 胡枝子群落
	Cf2	上部	SE10°	24	
	Ba1	中部	NE45°	25	
互叶醉鱼草	Ba2	下部	SE25°	26	长芒草或白羊草 + 胡枝子群落
	Ba3	上部	S	30	
沙棘	Hr1	中部	N	26	铁杆蒿群落
黄刺玫	Rh1	中部	NW20°	35	披针苔草或 铁杆蒿群落
	Rh2	下部	NW10°	28	
	Rh3	下部	NW15°	26	

2.2 研究方法

2.2.1 样品的采集

于 2007 年 8 - 9 月选择长期退耕或撂荒草地进行调查,将 31 a 的典型白羊草地 Bi 作为对照,以自然演替过程中草本向灌木过渡期天然出现的幼龄灌木(一般 1~3 a)为研究对象(如表 1),共选择了 6 种乡土灌木,分别为:狼牙刺 Sv(*Sophora davidii*)、杠柳 Ps(*Periploca sepium*)、灌木铁线莲 Cf(*Clematis*

*fruticosa*)、互叶醉鱼草 Ba、沙棘 Hr 和黄刺玫 Rh。每种灌木选 3 块样地做重复,在每个样地中一般选择 2 株树龄、长势相近的代表植株;在每株目标灌木冠幅投影半径中间位置挖剖面 and 取大、小环刀样品,样品采集做 3 个重复,均为 2 个剖面的代表样,分 4 层(0 - 10,10 - 20,20 - 40 和 40 - 60 cm)取小环刀样和原状土样;取 0 - 10 cm 的大环刀土样作为测定土壤透水性指标(饱和导水率)。

2.2.2 分析方法

用大型环刀(直径 10 cm,高 12 cm)取 0 - 10 cm 原状土,恒水头测定饱和导水率,记录水温(根据水温,换算为 10 时土壤饱和导水率),重复 3 次;水稳性团聚体含量——Yoder 法;土壤容重、持水量、毛管孔隙度等水分物理性质用环刀一次取样连续测定,重复 3 次;总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度用算法求得<sup>[16]</sup>。

采用 SPSS 统计分析软件包( SPSS 11.5 for Windows, Chicago, USA)对数据进行相关分析和 One-Way ANOVA 方差分析,并用 LSD 法进行多重比较。

3 结果与分析

3.1 土壤剖面物理性质特征

通过对灌木初期土壤剖面物理性质的方差分析(见表 2),结果显示,灌木初期的不同土壤物理因子在剖面上变化趋势存在一定差异。其中,容重和含水量随土壤剖面的深入呈增加趋势,在 0 - 60 cm 土层中的平均值变化范围分别为 1.12~1.25 g/cm<sup>3</sup> 和 9.08 %~11.83 %;总孔隙度随土壤剖面的深入呈减小趋势,在 0 - 60 cm 土层中的平均值变化范围为 57.71 %~52.81 %;而毛管孔隙度、非毛管孔隙度和 >0.25 mm 水稳性团聚体有随土壤剖面深入有减小的趋势,但在 10 - 40 mm 土层间的变化较复杂,可能与植被根系生长及分布特点有一定联系,它们在 0 - 60 cm 土层中的平均值变化范围分别为 45.48 %~48.53 %、5.06 %~11.54 %和 268.88 %~618.88 g/kg。而且土壤的容重和总孔隙度在 0 - 20 cm 与 20 - 40 cm 土层间存在显著差异( $P<0.01$ ),含水量表层与下层差异显著( $P<0.01$ ),>0.25 mm 水稳性团聚体在 0 - 40 cm 与 40 - 60 cm 土层间存在显著和差异( $P<0.01$ )。

3.2 土壤容重

土壤容重是反映土壤物理特性的一项重要指标。土壤容重的大小影响着植物根系生长,同时,植物根系生长也对土壤容重变化产生重要影响。在土壤剖面上,土壤容重基本是随剖面深入而增大。不同植物间土壤剖面容重存在一定差异,但差异不显著。各灌木土壤剖面(0 - 10,10 - 20,20 - 40,40 - 60 cm)容重分别为 1.06~1.20,1.02~1.24,1.20~1.27 和 1.21~1.28 g/cm<sup>3</sup>。几种早期灌木的土壤容重在土壤表层(0 - 10 cm)与对照白羊草地(1.20 g/cm<sup>3</sup>)差异较大(狼牙刺除外),达显著水平( $P<0.05$ ),而在土壤下层(20 - 60 cm),土壤容重的差异未达显著水平(沙棘除外)。初期灌木与对照白羊草地在土壤容重的这种差异,说明灌木树种初期对适宜的土壤容重条件在土壤表层要求相对较高,而土壤下层则相对不严格。这可能与灌木种子萌发及幼苗生长有

关。同时,不同灌木树种间的差异,表明了灌木树种对适宜土壤容重条件的差异,这可能由各灌木的生物特性决定的。

表 2 灌木初期土壤剖面物理性质的 ANOVA 分析

土层/cm	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	含水量/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	总孔隙度/%	>0.25 mm 水稳性团聚体/(g·kg <sup>-1</sup> )
0 - 10	1.12 ±0.05A	9.08 ±4.24A	46.17 ±2.23	11.54 ±2.43	57.71 ±0.4A	592.38 ±40.37A
10 - 20	1.15 ±0.08A	10.53 ±2.22AB	48.37 ±0.54	8.23 ±0.81	56.61 ±0.69A	618.88 ±50.00A
20 - 40	1.23 ±0.04B	11.44 ±1.40B	48.53 ±0.62	5.06 ±0.57	53.59 ±0.37B	460.47 ±59.80A
40 - 60	1.25 ±0.04B	11.83 ±1.73B	45.48 ±2.73	7.78 ±2.68	52.81 ±0.35B	268.88 ±33.24B

注:同一列中所带字母不同,表明土层之间达 1 % 的显著水平。

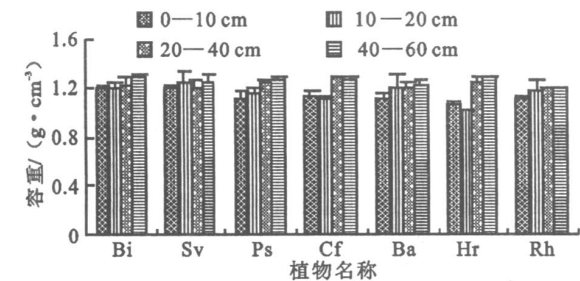


图 1 各植物土壤剖面容重变化

3.3 土壤含水量

土壤水分作为植物生存的基本生活因子,不仅影响植物的个体发育,更进一步决定着植物群落的类型、分布和植被动态<sup>[17]</sup>。在土壤 0 - 60 cm 研究深度内,土壤含水量随剖面深入而升高;不同植物土壤剖面含水量存在一定差异,可能是受不同植物对土壤水分吸收利用上差异的影响;其中,黄刺玫土壤剖面含水量较白羊草地的高,其它几种灌木则低于白羊草地。各灌木土壤剖面(0 - 10,10 - 20,20 - 40,40 - 60 cm)含水量分别为 4.38 % ~ 12.56 %、7.54 % ~ 13.56 %、10.04 % ~ 13.44 % 和 9.17 % ~ 13.52 %。狼牙刺和沙棘土壤剖面含水量最低,剖面平均值分别为 8.14 % 和 8.30 %,其次是杠柳、灌木铁线莲和互叶醉鱼草分别为 10.57 %、10.92 % 和 11.59 %,黄刺玫最高为 13.07 % (大于白羊草地的 12.19 %)。土壤含水量的差异,一方面是由于气候、地形等客观因素决定的,另一方面由不同植物水分利用的生物学特性的反映。

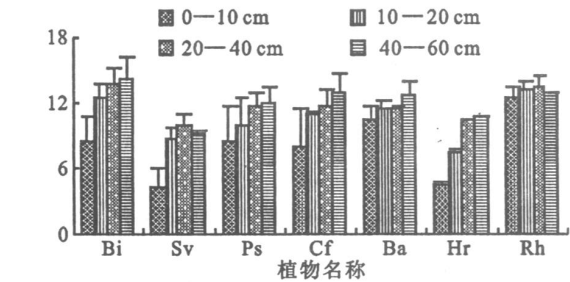


图 2 各植物土壤剖面含水量变化

3.4 土壤孔隙度

土壤孔隙的组成直接影响到土壤通气透水性和根系穿插的难易程度,并对土壤中水、肥、气、热和微生物活性等发挥着不同的调节作用<sup>[18]</sup>。土壤孔隙度包括总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度。总体上,土壤孔隙度的变化幅度较小,0 - 20 cm 土层高于 20 - 60 cm;不同植物土壤孔隙度有一差异,反映了不同植物根系与土壤孔隙度间相互作用能力

的差异。各灌木土壤剖面总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度平均值范围分别为:54.01 % ~ 56.52 %、45.41 % ~ 49.52 % 和 4.68 % ~ 9.74 %;其中,各灌木土壤总孔隙度平均值都高于白羊草地的 53.77 %;各灌木土壤剖面毛管孔隙度表现出 10 - 40 cm 土层高于 0 - 10 和 40 - 60 cm 土层,这可能与植物根系的空间分布有关。各植物土壤非毛管孔隙度平均值比较为:杠柳(9.74 %) > 沙棘(8.92 %) > 狼牙刺(8.65 %) > 白羊草(7.98 %) > 灌木铁线莲(6.91 %) > 互叶醉雨草(6.54 %) > 黄刺玫(6.48 %)。

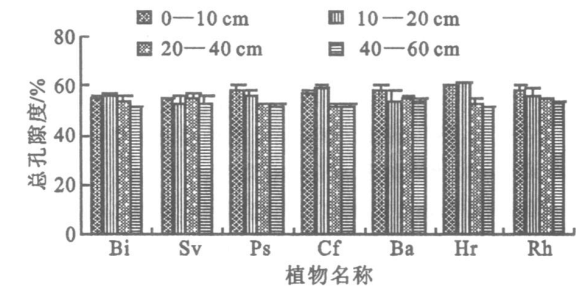


图 3 不同植物土壤剖面总孔隙度变化

3.5 土壤入渗性

土壤入渗性对水资源转换利用、农业水管理等方面有着十分重要的作用<sup>[19]</sup>,也是水土保持效益评价的重要指标<sup>[20]</sup>。植被在恢复过程中,对土壤产生了显著影响,使土壤稳定入渗速率明显提高<sup>[21]</sup>。由图 4 知,各植物土壤稳定入渗速率排序为:黄刺玫(1.90) > 沙棘(1.64) > 互叶醉鱼草(1.59) > 杠柳(1.30) > 狼牙刺(1.29) > 灌木铁线莲(1.28) > 白羊草地(对照 0.98),其中,黄刺玫、沙棘和互叶醉鱼草显著高于白羊草地 ( $P < 0.05$ )。表明灌木初期的土壤稳定入渗好于白羊草地,不同植物间土壤稳定入渗存在显著差异 ( $P < 0.05$ ),这种差异体现了不同植物对表层土壤入渗性适宜条件差异。

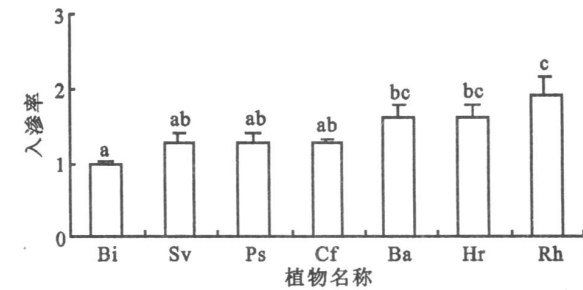


图 4 不同植物土壤稳定入渗变化

3.6 土壤团聚体

土壤团聚体结构是土壤孔隙性、持水性和抗蚀性的一种

反映,而且在植物生长期可以调节植物需要的水、肥、气、热诸因素。在 0-60 cm 土层,各植物 > 0.25 mm 土壤团聚体含量排序为:黄刺玫(622 g/kg) > 沙棘(578 g/kg) > 狼牙刺(487 g/kg) > 互叶醉鱼草(473 g/kg) > 灌木铁线莲(381 g/kg) > 白羊草地(对照 355 g/kg) > 杠柳(354 g/kg)。结果表明:除杆柳外,其它灌木土壤团聚体好于对照(白羊草)。说明灌木初期所需适宜的土壤团聚体条件高于草本阶段。

总之,当植被次生演替进展到草灌过渡期,除土壤含水量外,土壤容重、孔隙度、稳定入渗和水稳性团聚体均进一步改善,好于对照白羊草地,表明灌木树种定居的土壤物理条件一般要高于草地群落,也说明了植被演替进展到草灌过渡期时,土壤物理性质的变化呈增高趋势。灌木初期不同树种间的土壤物理性质存在一定差异,这是不同灌木树种对其定居所适宜的土壤物理条件的体现。

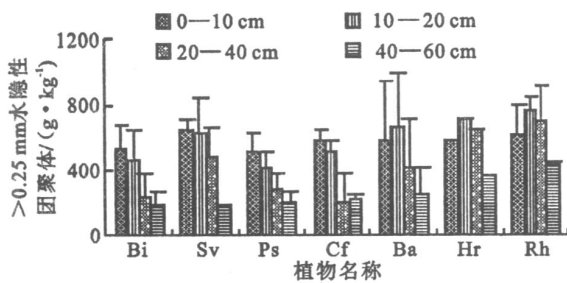


图 5 不同植物土壤剖面水稳性团聚体变化

3.7 灌木初期土壤物理因子的相关性

植被演替的过程是植被与土壤相互协调复杂变化的过程,它们的相互反馈也是生态恢复的重要标志。土壤物理性质各个因子之间的变化是相互影响和相互联系的,如土壤团聚体的增加,改善了土壤孔隙条件,增强了土壤持水能力,它们的变化又会体现在土壤容重的变化上。通过对土壤物理性质各因子的相关分析(见表 3),结果显示:土壤稳定入渗速率与土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度和团聚体之间有显著的相关关系<sup>[21]</sup>,其中,土壤稳定入渗与毛管孔隙度极显著相关( $P < 0.01$ ),与总孔隙度和团聚体线性显著相关( $P < 0.05$ ),而与土壤容重呈线性显著负相关( $P < 0.05$ )。土壤团聚体与土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度之间有显著的相关关系( $P < 0.05$ );同时,毛管孔隙度与非毛管孔隙度线性显著负相关( $P < 0.05$ );容重与总孔隙度极显著相关关系( $P < 0.01$ )。说明用土壤团聚体和稳定入渗可基本反映研究区灌木初期的土壤物理状况。

表 3 各变量间的相关系数

项目	含水量	总孔隙度	毛管孔隙度	非毛管孔隙度	团聚体	稳定入渗
容重	0.37	-1.00**	-0.68	0.12	-0.60**	-0.85*
含水量		-0.37	0.51	-0.66	-0.35	0.17
总孔隙度			0.68	0.52*	0.60**	0.85*
毛管孔隙度				-0.81*	0.42*	0.90**
非毛管孔隙度					-0.02	-0.54
团聚体						0.76*

注: \*\* 在 0.01 水平上显著; \* 在 0.05 水平上显著。

4 结论与讨论

土壤和植被之间相互作用、互为动力,植被改善土壤条件的同时,也为其自身的生长、演替创造了条件。土壤恢复速度、土壤肥力状况以及各阶段优势植物繁殖体来源数量及定居难易,直接影响着群落优势种的拓殖和更替,从而影响演替进展的速度<sup>[22]</sup>。已有研究指出森林土壤中,土壤水分、容重、毛管持水量和孔隙度等重要的土壤物理因子的空间变化与土壤养分一样,影响着树木的根系,进而影响林分的生长<sup>[23]</sup>。黄土丘陵区植被次生演替草灌过渡期具有重要的土壤与植被恢复生态学意义。灌木初期的土壤物理状况可以在一定程度上反映演替中灌木物种对其定居土壤环境条件的需求。

植被次生演替进展到草灌过渡期时,土壤物理条件较草本阶段得到明显改善。除土壤含水量外,土壤容重、孔隙度、稳定入渗和水稳性团聚体都好于对照白羊草地,表明灌木树种定居的土壤物理条件一般要高于草地群落。灌木初期不同树种间的土壤物理性质存在一定差异,这是不同灌木树种对定居所需适宜土壤物理条件的体现。

灌木初期土壤稳定入渗速率与土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度之间有显著的相关关系;土壤团聚体与土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度之间有显著的相关关系。可用土壤团聚体和稳定入渗率反映研究区灌木初期适宜的土壤物理条件。

致谢:野外试验承蒙中国科学院安塞水土保持综合试验站的大力支持,在此表示诚挚的谢意。

参考文献:

[1] 吴钦孝,杨文治. 黄土高原植被建设与可持续发展[M]. 北京:科学出版社,1998.

[2] 梁一民,李代琼,从心海. 吴旗沙打旺草地土壤水分及生产力特征[J]. 水土保持通报,1990,10(6):113-118.

[3] 王力,邵明安,侯庆春. 黄土高原土壤干层初步研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2001,29(4):34-38.

[4] 李裕元,邵明安. 子午岭植被自然恢复过程中植物多样性的变化[J]. 生态学报,2004,24(2):252-260.

[5] 邹厚远,程积民,等. 黄土高原草原植被的自然恢复演替及调节[J]. 水土保持研究,1998,5(1):126-138.

[6] 王国梁,刘国彬,刘芳,等. 黄土沟壑区植被恢复过程中植物群落组成及结构变化[J]. 生态学报,2003,23(12):2550-2557.

[7] 杜峰,山仑,梁宗锁. 陕北黄土丘陵区撂荒演替研究[J]. 草地学报,2005,13(4):328-333.

[8] 白文娟,焦菊英,马祥华,等. 黄土丘陵沟壑区退耕地自然恢复植物群落的分类与排序[J]. 西北植物学报,2005,25(7):1317-1322.

[9] 张成娥,陈小利. 黄土丘陵区不同撂荒年限自然恢复的退化草地土壤养分及酶活性特征[J]. 草地学报,1997,5(3):195-200.

从各分区来看,全区各乡镇农用地经济效益差异比较显著,效益极高区白沙镇评价值为 0.061 6,效益极低区塘河镇评价值为 0.015 5,效益评价值极高区是极低区的 4 倍。从空间格局看(图 1),北部平行岭谷低山地区,是区域政治、经济中心,也是全市社会经济最发达的地区,城市建设占地多,工矿企业分布多,但较高的农用地集约水平和邻近城市区(市场)的区位优势一定程度上削弱了自然条件差及农用地数量少的负面影响,农用地经济效益水平中等;农用地经济效益较好的地区多分布在区域中部及长江沿岸一线,因为中部地区多丘陵河谷,耕地比重大,也是粮食主产区,适宜多种农作物生长,有利于发展农林牧渔等多种经营;南部多中山山地,经济发展缓慢,南部区农用地经济效益较差。

4 结论与讨论

- (1)对江津区农用地经济效益的评价结果表明,全区近 60 %的农用地经济效益较差,区域农用地经济效益水平不高,各镇(街道)农用地经济效益的区域差异性比较显著,与江津区实际情况相符。
- (2)通过因地制宜地选取相应的农用地评价指标,运用熵值法确定指标权重,采用综合指数法计算江津区及各镇(街道)农用地经济效益值,不仅评价方法合理有效而且评价结果能正确反映评价区的实际情况。
- (3)现今土地利用冲突的主要表现不外乎是非农建设用地扩张与农用地保护的冲突,这种冲突常常导致区域土地利用的无序性,出现乱占、多占农用地的现象,因此江津区必须要加强土地的规划管理,在切实保护优质农用地特别是耕地

的基础上统筹安排非农建设用地的最佳用地数量和位置,并严格落实。针对农用地经济效益低的区域差异显著问题,一方面加大对农用地投入,积极运用农业技术和良种,提高土地产出,另一方面要强土地整理和对中低产农用地的改造及向适宜性用途转变,提高农用地的集约利用水平。

(4)为了科学规范地对农用地经济效益进行评价,必须建立全面有效的指标体系。由于农用地经济效益受自然条件、区位、土地利用方式等多种因素的影响,文中给出的指标体系基本能够反映出研究区农用地的经济效益,但指标体系太具有针对性,较少从多因素角度考虑指标的广泛适用性,同时指标体系的构建在一些难以量化的因素如劳动投入量和特定区域专业化农产品的产出等方面考虑欠缺,也是整个体系全面性不足,今后还要在这方面继续努力。

参考文献:

[1] 李佩瑾,肖莉,张伟娜. 湖南省土地利用经济效益评价[J]. 广东土地科学,2007,6(2):23-26.

[2] 罗罡辉,吴次芳. 城市用地效益的比较研究[J]. 经济地理,2003,23(3):367-370.

[3] 刘新卫,张丽君,等. 中国土地资源集约利用研究[M]. 北京:地质出版社,2006.

[4] 崔丽,许月卿. 河北省农用地利用集约度时空变异分析[J]. 地理科学进展,2007,26(2):116-125.

[5] 李小建. 经济地理学[M]. 北京:高等教育出版社,1999.

[6] 江津区统计年鉴[Z]. 2006.

(上接第 104 页)

[10] 温仲明,焦峰,刘宝元. 黄土高原森林草原区退耕地植被自然恢复与土壤养分变化[J]. 应用生态学报,2005,16(11):2025-2029.

[11] 潘成忠,上官周平,刘国彬. 黄土丘陵沟壑区退耕草地土壤质量演变[J]. 生态学报,2006,26(3):690-696.

[12] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵区小流域植被恢复的土壤养分效应研究[J]. 水土保持学报,2005,19(1):93-96.

[13] 侯扶江,肖金玉,南志标. 黄土高原退耕地的生态恢复[J]. 应用生态学报,2002,13(8):923-929.

[14] 许明祥,刘国彬. 黄土丘陵区刺槐人工林土壤养分特征及演变[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(1):40-46.

[15] 杨小波,张桃林,吴庆书. 海南琼北地区不同植被类型物种多样性与土壤肥力的[J]. 生态学报,2002,22(2):1990-1996.

[16] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978.

[17] 杜峰,山仑,梁宗锁,等. 陕北黄土丘陵区撂荒演替过

程中的土壤水分效应[J]. 自然资源学报,2005,20(5):669-678.

[18] 杨弘,李忠,等. 长白山北坡阔叶红松林和暗针叶林的土壤水分物理性质[J]. 应用生态学报,2007,18(2):272-276.

[19] 张雅楠,黄兴法,毛丽丽,等. 土壤入渗性能自动测量系统原理与应用研究[J]. 农业工程学报,2007,23(4):99-104.

[20] 陈瑶,张科利,罗利芳,等. 黄土坡耕地弃耕后土壤入渗变化规律及影响因素[J]. 泥沙研究,2005(5):45-50.

[21] 王国梁,刘国彬,周生路. 黄土丘陵沟壑区小流域植被恢复对土壤稳定入渗的影响[J]. 自然资源学报,2003,18(5):529-535.

[22] 安树青,王峥峰,朱学雷,等. 土壤因子对次生森林群落演替的影响[J]. 生态学报,1997,17(1):45-50.

[23] 王政权,王庆成. 森林土壤物理性质的空间异质性研究[J]. 生态学报,2000,20(6):945-950.