

宁南宽谷丘陵区植被恢复中土壤酶活性的响应及其评价

安韶山<sup>1,2</sup>, 黄懿梅<sup>2</sup>, 刘梦云<sup>2</sup>, 李壁成<sup>1</sup>

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

**摘 要:** 就宁南宽谷丘陵区不同植被恢复措施、自然恢复不同演替阶段条件下土壤脲酶、蔗糖酶、中性磷酸酶和过氧化氢酶活性的变化特征及其在土壤质量评价指标体系的作用进行了研究。结果表明: 天然草地和灌木林地土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶活性较高, 农地和果园土壤酶活性较低, 而且变异性较大。土壤过氧化氢酶在不同的土地利用类型之间变化不大, 在各用地类型内部及各土样剖面层次上差异也不明显。封禁条件下各种酶活性均表现为表层 0~20 cm 大于表下层 20~40 cm, 表层 0~20 cm 脲酶、蔗糖酶、中性磷酸酶活性表现长芒草+ 大针茅> 铁杆蒿> 长芒草> 百里香, 过氧化氢酶活性大小为铁杆蒿> 长芒草+ 大针茅> 长芒草> 百里香。长芒草群落两种土地利用方式下, 脲酶活性为开垦地> 封禁地, 中性磷酸酶则表现为封禁地> 开垦地, 蔗糖酶与过氧化氢酶差别不大。铁杆蒿群落放牧地的土壤脲酶、蔗糖酶和中性磷酸酶含量均高于封禁和开垦的同土层土壤, 封禁的脲酶和蔗糖酶次之, 开垦地的脲酶和蔗糖酶最小, 开垦地的中性磷酸酶高于封禁地。

**关键词:** 土壤酶活性; 植被恢复; 宁南宽谷丘陵区; 主成分分析

中图分类号: S 154. 2                      文献标识码: A                      文章编号: 1005-3409( 2005) 03-0031-04

The Responses and Evaluation of Soil Enzymatic Activities to  
Plant Rehabilitation in Ningxia Loess Hilly-gully Region

AN Shao-shan<sup>1,2</sup>, HUANG Yi-mei<sup>2</sup>, LIU Meng-yun<sup>2</sup>, LI Bi-cheng<sup>1</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, C A S & M W R;  
2. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Soil quality restoration and soil management is the key factor for vegetation construction and eco-environment sustainable development in Loess Plateau. The activity of soil urease, sucrase, neutral phosphatase and catalase in different soil layers, vegetation community and land use on loess hilly-gully area of Ningxia were studied. The result shows that: Natural meadow and bush forest land had the higher enzyme activity than artificial meadow, orchard and farmland. For bush forest land, it was higher enzyme activity in longer planted year than shorter, but orchard has no remarkable differences. Under the enclosure, four different enzymatic activity of surface layer soil (0~20 cm) is greater than sub-layer (20~40 cm). The activities of soil urease, sucrase, neutral phosphatase are *Stipa gradiss.* + *Stipa bungana Trin* Community > *Artemisia sacrorum Ledeb* community > *Stipa bungana Trin* Community > *Thymus mongolicus Ronn* community in the surface layer (0~20 cm). The activity of soil catalase is *Artemisia sacrorum Ledeb* community > *Stipa gradiss.* + *Stipa bungana Trin* Community > *Stipa bungana Trin* Community > *Thymus mongolicus Ronn* community. Under the two different land use of *Stipa bungana* community, the activity of soil urease shows that the farmland is greater than enclosure land, but the activity of soil sucrase is enclosure land greater than farmland. There is no obvious erosion and enzymatic activity difference between farmland and enclosure land in the study area.

**Key words:** soil enzymatic activity; plant rehabilitation; loess hilly-gully area of Ningxia; principle component analysis

由土壤微生物生命活动和植物根系产生的土壤酶, 不但在土壤物质转化和能量转化过程中起主要的催化作用, 而且通过它对进入土壤的多种有机物质和有机残体产生的生命化学转化, 使生态系统的各组分间有了功能上的联系, 从而保持了土壤生物化学的相对稳衡状态<sup>[1~3]</sup>。土壤酶是土壤的组成成分之一, 数量虽少, 但作用很大, 并且作为表征土壤肥

<sup>1</sup> 收稿日期: 2004-12-20  
基金项目: 国家“十五”重大科技攻关课题( 2001BA606A-04); 国家自然科学基金( 40461006); 西北农林科技大学科研专项基金( 04ZX011)  
作者简介: 安韶山( 1972- ), 男, 宁夏人, 博士, 助研, 从事土壤学与流域生态与管理研究工作。

力的一个重要指标,与土壤的环境条件也有着密切联系<sup>[4~6]</sup>。在黄土高原,就坡地不同利用方式与恢复中土壤酶活性的研究有许多报道<sup>[7~9]</sup>,而有关不同植物群落土壤酶活性的特征方面研究较少。本文就云雾山草原自然保护区和上黄试区不同植被恢复措施与演替阶段条件下土壤脲酶、蔗糖酶、中性磷酸酶及过氧化氢酶活性的变化及其在土壤质量评价指标体系中的作用进行研究,以期阐明土壤酶活性对黄土丘陵区植被恢复的响应,为黄土丘陵区生态恢复重建提供依据。

1 材料与方法

1.1 采样地概况

供试区域位于黄土丘陵区固原市东部的河川乡上黄村,属泾河水系支流小川河的中游。下伏基岩为中生代砂岩(只在主河道少量出露),第三纪晚期红土和第四纪新老黄土先后堆积其上。地理位置东经 106 26 ~ 106 30,北纬 35 59 ~ 36 3,海拔 1 534.3 ~ 1 822 m,年均降水量 420 mm,年均气温 7 ,干燥度 1.55 ~ 2.0,属半干旱中温带向暖温带过渡季风气候。试区沟坡地占 90%,平缓台地仅占 8%,而且 51% 的土地坡度在 15 ~ 20 之间,总土地面积 7.6 km<sup>2</sup>。研究区由小川河分为两部分,东部为梁状丘陵,地形起伏较大,西部自东向西依次为台、坪、梁地形,较为开阔。研究区的土壤类型主要是黄土母质上发育的淡黑垆土和黄绵土,覆盖的主要植被类型为人工灌木林(主要植物有柠条、山桃、山杏)、天然草地长芒草(*Stipa bungeana*)、阿尔太狗娃花(*H etero p app us Attaicus*)、芨蒿(*Artemisia giraldii*)、百里香(*Thymus mongolicus*)等。人工草地(苜蓿)和农地(主要以小麦、玉米、荞麦为主)。20 年来,上黄试区土地利用结构明显改善,1982 年上黄试区仅有林地 9.73 hm<sup>2</sup>,人工草地 4.53 hm<sup>2</sup>,林草覆盖率 1.87%。“六五”以后林草覆盖率上升到 24.5%。“八五”期间又新造柠条灌木林 66.7 hm<sup>2</sup>,使林草覆盖率达 58.18%。随着国家退耕还林(草)的实施,目前大部分坡耕地已退耕。

云雾山草原自然保护区位于宁夏南部山区的固原县东北部,地理坐标为东经 106 24 ~ 106 28,北纬 36 13 ~ 36 ° 19,海拔 1 800 ~ 2 148 m,面积 4 000 km<sup>2</sup>,居中温带半干旱黄土丘陵区,是我国黄土高原以长芒草为优势种的草原植物

保留较好的典型地段。年平均气温 6 , 0 的积温 2 370 ~ 2 880 ,月均温以 7 月最高,为 24 ;年太阳总辐射量为 125 km/ cm<sup>2</sup>,年日照时数 2 500 h 左右;年均降水量 400 ~ 450 mm,蒸发量 1 500 ~ 1 700 mm,无霜期 112 ~ 137 d。地带性土壤为山地灰褐土和淡黑垆土;地带性植物为干草原,主要草地类型有长芒草- 百里香+ 星毛委陵菜和长芒草+ 铁杆蒿- 冷蒿+ 星毛委陵菜。经过 10 多年的保护和建设,保护区草原生态系统恢复了良性循环,草地植物覆盖度平均达到 95% 以上<sup>[9,10]</sup>。

1.2 样品采集及分析

在云雾山草原自然保护区选择不同植被演替阶段及利用方式的 7 个、不同植被恢复措施 13 个典型土壤剖面,分 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 两个层次采集土样,多点采混合样。分析样品采回后经风干去除根系、石块,研磨过筛分装;测定方法:土壤脲酶活性用靛酚比色法<sup>[11]</sup>,蔗糖酶活性用比色法<sup>[13]</sup>,中性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法<sup>[13]</sup>,过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法<sup>[12]</sup>,各项目重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式土壤酶活性特征

不同土地利用方式下土壤酶活性如表 1 所示。土壤脲酶活性变化为:表层呈天然草地> 灌木林地> 农地> 果园> 人工草地,下层为农地> 灌木林地> 人工草地> 果园> 天然草地;其中,表层灌木林地和天然草地各土样之间差别较大,农地次之,果园变异性很小,表下层则天然草地和灌木林地变异性较大,农地和果园则较小。土壤蔗糖酶活性的相比较为:表层天然草地> 农地> 果园> 人工草地> 灌木林地,表下层则果园 人工草地> 农地> 灌木林地> 天然草地;对表层土壤来说,灌木林地变异性最大,农地次之,其它用地方式则很小,而表下层变异性比表层大得多,表现为灌木林地最大,天然草地次之,果园最小。土壤碱性磷酸酶活性的变化是:表层天然草地> 人工草地> 灌木林地> 农地> 果园,下层灌木林地> 人工草地> 农地> 天然草地> 果园;变异系数表现为表层灌木林地和农地较大,天然草地次之,果园很小,表下层则天然草地最大,灌木林地和农地次之,果园变异性很小。土壤过氧化氢酶不但在不同的土地利用类型之间变化不大,在各用地类型内部及各土样剖面层次上差异也不明显。

表 1 不同土地利用方式土壤酶活性特征

土地利用方式	土层	样品数	蔗糖酶/ (mg · kg <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> )	CV	脲酶/ (mg · kg <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> )	CV	碱性磷酸酶/ (mg · kg <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> )	CV	过氧化氢酶/ (mg · kg <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> )	CV
灌木林地	0 ~ 20	3	127.91	0.41	75.80	0.53	131.12	0.36	8.06	0.00
	20 ~ 40		56.86	0.89	52.39	0.45	87.42	0.48	7.93	0.01
农地	0 ~ 20	3	160.10	0.19	67.65	0.33	108.52	0.35	8.30	0.10
	20 ~ 40		75.30	0.23	53.98	0.10	68.15	0.41	7.23	0.10
天然草地	0 ~ 20	3	176.67	0.07	79.63	0.41	141.33	0.21	8.02	0.01
	20 ~ 40		41.70	0.62	37.47	0.65	64.08	0.58	7.93	0.02
果园	0 ~ 20	3	148.90	0.04	58.80	0.10	92.61	0.06	8.40	0.11
	20 ~ 40		82.68	0.19	46.04	0.14	49.11	0.09	7.85	0.03
人工草地	0 ~ 20	1	138.60		57.25		140.20		7.99	
	20 ~ 40		82.59		48.26		71.66		7.88	

2.2 自然恢复不同演替阶段土壤酶活性特征

各种酶活性均表现为表层 0 ~ 20 cm 大于表下层 20 ~ 40 cm,其中表层 0 ~ 20 cm 脲酶活性在 4 种群落中的大小顺序为长芒草+ 大针茅> 铁杆蒿> 长芒草> 百里香,蔗糖酶活

性大小为长芒草+ 大针茅> 铁杆蒿> 长芒草> 百里香,中性磷酸酶活性大小为长芒草+ 大针茅> 铁杆蒿> 长芒草> 百里香,过氧化氢酶活性大小为铁杆蒿> 长芒草+ 大针茅> 长芒草> 百里香。

表 2 不同植物群落的土壤酶活性剖面分布

样号	植物群落	土层深度/cm	脲酶/(mg·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	蔗糖酶/(mg·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	中性磷酸酶/(mg·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	过氧化氢酶/(ml·g <sup>-1</sup> ·30min <sup>-1</sup> )
YW-2	长芒草	0~20	121.6	1469.6	9.5	9.93
		20~40	113.5	1251.4	7.1	8.33
YW-4	大羽茅	0~20	186.4	2703.0	15.2	8.92
		20~40	129.9	674.0	5.2	7.9
YW-5	百里香	0~20	72.1	1201.1	4.5	6.15
		20~40	16.4	27.2	0.8	4.36
YW-6	铁杆蒿	0~20	167.2	1623.4	12.0	6.49
		20~40	131.8	678.6	3.5	6.02
YW-3	长芒草开垦	0~20	167.2	1466.8	5.6	7.27
		20~40	139.9	563.6	4.4	6.72
YW-7	放牧地	0~20	176.4	2691.3	18.2	7.27
		20~40	162.5	955	12.5	6.72
YW-8	开垦地	0~20	150.7	1285.4	6.9	5.75
		20~40	114.5	317.6	5.6	5.09

就表层与表下层变化趋势来看,长芒草+大针茅群落四种酶活性表层分别为表下层的 1.12、1.16、1.16、1.19 倍,说明在 40 cm 之内,4 种土壤酶活性差别不大,也说明该类土壤发育较好,表层较厚。百里香群落 4 种酶活性绝对含量在 4 种群落中都为最低,四种酶活性表层分别为表下层的 2.09、2.41、1.72、1.05 倍,由表层 0~20 cm 与 20~40 cm 之间的差别可以看出,该类土壤发育较差,表层与表下层酶活性差异较大。

由表 2 可以看出,在长芒草群落两种土地利用方式下,脲酶活性为开垦地>封禁地,这可能与开垦地施用化肥有关。中性磷酸酶则表现为封禁地>开垦地,主要是由于当地群众在施肥中,重视氮肥的投入,而一般不施用磷肥有关,植物生长将磷素吸收带出土体,降低了土壤磷素水平,导致中性磷酸酶含量降低。中性磷酸酶与过氧化氢酶差别不大。

在铁杆蒿群落 3 种土壤利用方式下,层次之间变化明显。土壤脲酶、蔗糖酶、中性磷酸酶和过氧化氢酶活性与剖面分析结果相同,仍是上层高于下层。脲酶层次之间变化较小,最高为放牧地表层 0.177 6 mg/(g·h),最低为开垦地表下层 0.114 5 mg/(g·h),蔗糖酶层次之间变化明显,其中放牧地表层为表下层的 3 倍左右。

在不同利用方式的比较上,三者也存在明显的差别:铁杆蒿群落放牧地的土壤脲酶、蔗糖酶和中性磷酸酶含量均高于封禁和开垦的同土层土壤,封禁的脲酶和蔗糖酶次之,开垦地的脲酶和蔗糖酶最小,开垦地的中性磷酸酶高于封禁。这主要是由于长期封禁后,植物生长很快,枯枝落叶在表层土壤上积累,表层土壤温度较低,湿度过大,不利于各种微生物的活动,导致酶活性反而较低。由此可见,不同的利用方式的土壤对酶活性的变化有着很大的影响。由于在保护区内,无明显的土壤侵蚀发生,再加上由于开垦强度不大,因此开垦地与封禁地在酶活性整体上差异不明显,而且,由于施肥的原因,脲酶活性反而增高,同时也说明合理的土壤利用方式对防止土壤退化是十分关键的。

2.3 主成分分析

表征土壤肥力高低的因子不仅很多,而且相互之间有关联,对土壤肥力评价指标的选取造成了很大的困难。尽管有

关土壤酶活性的研究开展的较早,而且取得了很大的进步,但由于受到测定方法的限制,目前还没有统一的方法。土壤酶活性能否用于表征土壤质量的高低也一直是比较有争议的问题。本文选取高肥力土壤(云雾山)和低肥力(上黄试区)两种土壤类型,由土壤物理性状指标:土壤容重、土壤机械组成、土壤团粒组成、土壤微团聚体;土壤化学性状:有机质、速效氮、速效磷、速效钾、全氮、阳离子交换量及土壤酸碱性;土壤酶活性特征:脲酶活性、蔗糖酶活性、磷酸酶活性、过氧化氢酶活性等指标,构成土壤质量指标体系,进行主成分分析,研究土壤酶活性在表征土壤肥力质量中的作用。

表 3 是供试土壤主成分的特征根和方差贡献率,其中特征根指的是累积方差贡献,可以看出,第一主成分对土壤肥力的贡献最大,加上第二主成分和第三主成分方差贡献率,其累积方差贡献率大于 85%。根据主成分分析原理,当累积方差贡献率大于 85% 时,则可用来基本反应系统的变异信息,因而说明用第一、第二、第三主成分这三个指标就能代表土壤肥力系统内的变异信息。

表 3 供试土壤主成分特征根

地点	项目	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分	第五主成分
云雾山	特征根	8.19353	1.71447	1.15441		
	方差贡献率/%	63.0271	13.1882	8.8800		
	累积方差贡献率/%	63.0271	76.2153	85.0954		
上黄	特征根	4.7917	2.0227	0.8401	0.7497	0.6544
	方差贡献率/%	47.9169	20.2272	8.4006	7.4971	6.5435
	累积方差贡献率/%	47.9168	68.1441	76.5447	84.0418	90.5853

云雾山土壤取前三个主成分:

$$Y_1 = 0.3145X_1 + 0.2919X_2 + 0.3048X_3 + 0.3107X_4 + 0.3465X_5 + 0.3446X_6 + 0.2970X_7 + 0.33274X_8 + 0.1911X_9 + 0.2835X_{10} - 0.09266X_{11} + 0.22631X_{12} + 0.10954X_{13}$$
$$Y_2 = -0.2233X_1 - 0.2956X_2 - 0.2373X_3 - 0.1645X_4 - 0.0195X_5 + 0.0142X_6 + 0.3395X_7 + 0.0401X_8 + 0.4705X_9 + 0.2417X_{10} + 0.38715X_{11} - 0.0336X_{12} + 0.4808X_{13}$$
$$Y_3 = -0.0059X_1 + 0.1041X_2 + 0.0488X_3 - 0.0766X_4 - 0.0371X_5 - 0.0481X_6 + 0.1009X_7 - 0.1038X_8 - 0.0856X_9 + 0.1876X_{10} + 0.6724X_{11} + 0.4302X_{12} - 0.5256X_{13}$$

上黄土壤取前五个主成分:

$$Y_1 = 0.4211X_1 + 0.3808X_2 + 0.4330X_3 + 0.1184X_4 + 0.3723X_5 + 0.3462X_6 + 0.2606X_7 + 0.1208X_8 + 0.2436X_9 - 0.2754X_{10}$$
$$Y_2 = -0.0313X_1 + 0.2610X_2 - 0.1185X_3 + 0.3279X_4 - 0.2289X_5 - 0.2458X_6 - 0.0811X_7 + 0.5831X_8 + 0.5176X_9 + 0.2862X_{10}$$
$$Y_3 = -0.0706X_1 - 0.1339X_2 + 0.1345X_3 + 0.9167X_4 + 0.0150X_5 + 0.033X_6 - 0.1120X_7 - 0.1572X_8 - 0.2788X_9 - 0.0474X_{10}$$
$$Y_3 = 0.1219X_1 + 0.1508X_2 + 0.0242X_3 - 0.0791X_4 + 0.3442X_5 + 0.1535X_6 - 0.8653X_7 - 0.0832X_8 + 0.0393X_9 + 0.237X_{10}$$
$$Y_3 = 0.0706X_1 - 0.2163X_2 - 0.1594X_3 + 0.0422X_4 + 0.289X_5 + 0.3987X_6 + 0.3355X_7 - 0.1100X_8 - 0.1110X_9 + 0.7358X_{10}$$

云雾山地区土壤的第一主成分均匀地综合了土壤四种酶活性、有机质、全氮、全磷、速效氮的变异信息,第二主成分主要综合了速效磷、速效钾、物理性黏粒的变异信息,第三主成分则集中了阳离子交换量的变异信息。

上黄试区土壤的主成分则表现为五个主成分,第一主成分主要综合了脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶、有机质、全氮的变异信息。第二主成分则主要综合了土壤 pH 值和阳离子交换量的综合信息。第三主成分主要综合了过氧化氢酶活性的信息。第四主成分主要为速效氮的变异信息,第五主成分主要为物

理性黏粒的信息。说明在低肥力条件下,表征土壤肥力的因子群比较分散,各因子对土壤肥力的综合作用效果不明显。

不难看出,无论是在高肥力还是低肥力土壤上,尽管土壤有较大差异,但对土壤肥力起主要作用的因子主要包括土壤脲酶、蔗糖酶、磷酸酶、过氧化氢酶活性、有机质和全氮等。这说明土壤酶活性在表征土壤肥力上具有显著的作用。

### 3 结果与讨论

(1)天然草地和灌木林地土壤脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性较高,人工草地、农地和果园三种酶活性较低,而且变异性较大。土壤过氧化氢酶不但在不同的土地利用类型之间变化不大,在各用地类型内部及各土样剖面层次上差异也不明显。

(2)脲酶表层活性在 4 种群落中的大小顺序为长芒草+大针茅>铁杆蒿>长芒草>百里香。蔗糖酶活性大小为长芒草+大针茅>铁杆蒿>长芒草>百里香,中性磷酸酶活性

参考文献:

[ 1 ] 周礼恺.土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987.

[ 2 ] Abdul K S, Katayama A, Kimura. Activities of some soil enzymes in different land use system after deforestation in hilly areas of west Lampung, South Sumatra, Indonesia[J]. Soil Sci., 2000, 80: 91– 97.

[ 3 ] Badiane NNY, Chotte JL, Pate E, et al. Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions[J]. Applied Soil Ecology, 2001, 18( 3 ): 229– 238.

[ 4 ] Acosta– Martinez V, Zobeck TM, Gill TE, et al. Enzyme activities and microbial community structure in semiarid agricultural soils[J]. Biology and Fertility of Soils, 2003, 3: 216– 227.

[ 5 ] 张成娥, 陈小利. 林地砍伐开垦对土壤酶活性及养分的影响[J]. 生态学报, 1998, 17( 6 ): 18– 21.

[ 6 ] 侯扶江, 南志标, 肖金玉. 重牧退化草地的植被、土壤及其耦合特征[J]. 应用生态学报, 2002, 13( 8 ): 915– 922.

[ 7 ] 张成娥, 刘国彬, 陈小利. 坡地不同利用方式下土壤微生物和酶活性以及生物量特征[ J ]. 土壤通报, 1999, 30( 3 ): 101– 103.

[ 8 ] 邹厚远, 关秀琦, 张信. 云雾山草原自然保护区的管理途径探讨[ J ]. 草业科学, 1997, 14( 1 ): 3– 4.

[ 9 ] 张映瑞, 古晓林, 王富裕. 云雾山草原自然保护区的社会化技术服务体系建设[ J ]. 中国生物保护区, 1998, 1: 20– 22.

[ 10 ] 李阜棣, 喻子牛, 何绍江. 农业微生物学实验设计[ J ]. 北京: 中国农业出版社, 1996. 136– 137.

[ 11 ] 关松荫. 土壤酶及其研究法[ J ]. 北京: 中国农业出版社, 1986. 274– 277, 308– 313.

[ 12 ] 中科院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物学研究法[ M ]. 北京: 科学出版社, 1985. 263– 264.

( 上接第 21 页)

大的过程中,在向农业系统内部挖潜的同时,还不断开拓农业系统外经济来源,根据上黄试区 2000 年至 2003 年农户经济行为调查,主要表现在季节性零工的人数及外出劳务人数不断增加和收入的增长。在 2002 年和 2003 年因国家退耕还林还草政策两年共退耕地 140. 2 hm<sup>2</sup>, 占总耕地面积的 62. 59%, 农户经济行为变化在这段时间内变化也较为明显, 2000 年上黄试区开展季节性零工的有 48 户, 当年平均每户收入为 2 599. 2 元, 外出劳务仅为 8 人, 2003 年季节性零工发展到 63 户, 占该试区总户数的 56. 76%, 平均每户收入达

参考文献:

[ 1 ] 李全胜. 我国生态农业建设的理论基础[ J ]. 生态农业研究, 1999, 7( 4 ): 1– 4.

[ 2 ] 张壬午, 计文瑛. 论生态农业模式设计[ J ]. 生态农业研究, 1997, 5( 3 ): 1– 5.

[ 3 ] 李新平. 中国生态农业的理论基础和研究动态[ J ]. 农业现代化研究, 2000, 21 ( 6 ): 341– 345.

[ 4 ] 谢应忠. 宁夏南部黄土丘陵区生态农业建设实践与研究[ J ]. 生态学杂志, 2000, 19( 1 ): 12– 18.

[ 5 ] 李壁成, 安韶山, 黄占斌. 宁夏南部山区生态环境建设与科技扶贫战略研究[ J ]. 干旱地区农业研究, 2002, 20( 1 ): 107– 110.

[ 6 ] 安韶山, 李壁成, 黄懿梅. 宁南半干旱退化山区庭院生态农业模式及效益分析[ J ]. 干旱地区农业研究, 2004, 22( 4 ): 153– 158.

[ 7 ] 李壁成, 焦锋, 马小云. 固原上黄试区土地利用动态监测与分析评价[ J ]. 水土保持研究, 1996, 3( 1 ): 14– 21.

[ 8 ] 施立民. 宁南山区高效果园建设技术及发展前景[ J ]. 水土保持通报, 1997, 17( 1 ): 37– 42.

[ 9 ] 董淑萍. 庭院“四位一体大棚”模式设计及效益分析[ J ]. 农业环境保护, 2000, 19( 4 ): 242– 244.

[ 10 ] 叶旭君, 李全胜, 王兆骞. 以沼气工程为纽带的生态农业工程模式及其效益分析[ J ]. 农业工程学报, 2000, 16( 3 ): 93– 96.

大小为长芒草+大针茅>铁杆蒿>长芒草>百里香, 过氧化氢酶活性大小为铁杆蒿>长芒草+大针茅>长芒草>百里香。长芒草群落两种土地利用方式下,脲酶活性为开垦地>封禁地。中性磷酸酶则表现为封禁地>开垦地。中性磷酸酶与过氧化氢酶差别不大。铁杆蒿群落三种土壤利用方式下:放牧地的土壤脲酶、蔗糖酶和中性磷酸酶含量均高于封禁和开垦的同土层土壤,封禁的脲酶和蔗糖酶次之,开垦地的脲酶和蔗糖酶最小,开垦地的中性磷酸酶高于封禁地。在保护区内,无明显的土壤侵蚀发生,开垦地与封禁地在酶活性整体上差异不明显,因此也说明合理的土壤利用方式对防止土壤退化是十分关键的。

(3)无论是在高肥力还是低肥力土壤上,尽管土壤有较大差异,但对土壤肥力起主要作用的因子是土壤肥力系统中的第一主成分,其中主要包括土壤脲酶、蔗糖酶、磷酸酶、过氧化氢酶活性。这说明土壤酶活性在表征土壤肥力上具有显著的作用。

到 3 238. 1 元, 外出劳务发展到 21 人。

目前,示范区农民基本上摆脱了当地多年形成的低投入低产出的生产模式,使得平川地高效集约化,从而吸引了劳动力由从事大面积开垦转向高效生产的方向。“搞好一亩园,退耕十亩田”,从根本上解决“广种薄收”难题,提供了科学依据和经验。目前庭园经济像一块巨大的磁铁开始将广大农户从广种薄收的山坡上吸引到集约化经营中来。使得退耕还林还草有了可靠的技术保障与支撑,示范区生态环境处于良性循环的阶段。