

宁南宽谷丘陵区土壤肥力质量对生态恢复的响应

安韶山^{1,2}, 黄懿梅², 刘梦云², 李壁成¹

(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: 宁南宽谷丘陵区固原试区经过 20 多年的综合治理与生态恢复重建, 土地利用结构和林草覆盖率发生了很大的变化。针对不同生态恢复措施对土壤肥力质量的影响进行了研究, 结果表明: 天然草地和灌木林地有机质、速效氮和速效钾等养分含量明显高于农地和果园, 土壤 pH 和容重降低, 土体中 > 5 mm 水稳性团聚体和 > 0.01 mm 微团粒的数量显著地增加, 土壤的营养状况得到很大改善, 结构变好, 协调供应养分和水分的能力提高, 能促进黏粒形成聚积, 提高土壤酶活性, 有效地减少水土流失, 防止土地退化和保护生态环境。土壤综合质量指数表现为灌木林 > 天然草地 > 人工草地 > 农地 > 果园。
关键词: 土壤肥力质量; 生态恢复; 宁南宽谷丘陵区; 层次分析法; 响应
中图分类号: S 158 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)03-0022-05

The Responses of Soil Fertility Quality to Ecological Rehabilitation in Ningxia Loess Hilly-gully Region

AN Shao-shan^{1,2}, HUANG Yi-mei², LIU Meng-yun², LI Bi-cheng¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR;
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 evolvement rule of soil chemical, physical, biological indicators and soil comprehensive quality index were clarified with different vegetation recovering ways. Soil organic matter, total nitrogen, available nitrogen, CEC are shown as bush forest land > natural meadow > artificial meadow > orchard > farmland, but the available P and available K are differently influenced by fertilizing. The density of soil was shown as: orchard > farmland > natural meadow > artificial meadow > bush forest land in the surface layer. Soil total aggregate was shown as: natural meadow > bush forest land > orchard > farmland > artificial meadow. To different lands usage types, bush forest land and natural meadow had promote function to the development of larger particle diameter aggregate, but farmland, orchard and artificial meadow had the function to the smaller ones. Soil microaggregate was shown as higher content of 1 ~ 0.01 mm tiny aggregate in bush forest land, artificial meadow and natural meadow, but orchard was lower comparatively. There were distinct differences in soil biology enzyme activities. Natural meadow had the highest enzyme activity, than bush forest land and artificial meadow, orchard and farmland were lower. For bush forest land, it was higher enzyme activity in longer planted year than shorter, but orchard has no remarkable differences. The SQR (soil quality index) showed the bush forest land > natural meadow > artificial meadow > farmland > orchard.

Key words: soil fertility quality; ecological rehabilitation; Ningxia loess hilly-gully area; responses; CA

土地利用变化可以改变地表覆被状况并影响许多生态过程, 如增加生物多样性^[1]、多样化食物链和营养级组成, 降低地表侵蚀和改良径流^[2]、土壤环境^[3~4]等; 反之, 由于植被的劣变, 容易引发土地沙漠化、土壤盐渍化、草场退化、生物多样性减少、区域气候环境恶化等一系列生态环境问题^[4, 5]。因此, 必须优化土地利用结构, 实现生态系统健康发展。了解不同土地利用方式导致土壤理化性质的差异, 是合理利用土地资源改进土

地利用方式发展持续农业的前提^[7]。生态环境建设的成效在很大程度上取决于生态恢复重建过程土壤质量的演化及其环境效应, 只有系统中的土壤能够不断形成发育、正向演替, 土壤质量逐步得到提高并保持在较高水平, 才能使已经退化的生态系统达到生态平衡和良性循环。所以, 研究退化生态系统恢复过程中土壤质量的形成演化^[8~11], 不仅是深化发展土壤学科的需要, 更重要的是可以评价退化生态系统恢复重建措施的合理与

¹ 收稿日期: 2004-12-20
基金项目: 国家十五科技攻关课题(2001BA606A-04); 国家自然科学基金(40461006); 西北农林科技大学优秀人才项目(04ZX011)
作者简介: 安韶山(1972-), 男, 宁夏平罗人, 博士, 助研, 主要从事土壤学与流域生态与管理研究工作。

否,以便预测正在广泛开展的生态环境建设工程产生的效益。

1 材料与方法

1.1 研究区生态恢复的背景与现状

上黄试区从 1982 年建点开始,进行了土地利用结构优化模式的设计与实施,已经有 20 年的历史。通过 5 期遥感制图,对土地利用结构变化监测结果表明^[12]:林草地面积大幅度增长,生态环境得到根本改善。1982 年上黄试区仅有林地 9.73 hm²,人工草地 4.53 hm²,林草覆盖率 1.87%。“六五”以后大力种草,1987 年人工草地面积达到 135 hm²,林草覆

盖率上升到 24.5%。“七五”后期由于气候干旱,加之社会经济等复杂原因,人工草地衰败后,再未能恢复,但 53.3 hm² 人工灌木林已旺盛生长起来,成为稳定的放牧基地。“八五”又新造柠条灌木林 66.7 hm²,使林草覆盖率达 58.18%。建点初期,试区耕地中基本农田很少,坡耕地面积占 70.14%,1987 年由于退耕 60 hm² 陡坡地造林种草,加之坡改梯等治理措施,坡地仅占农耕地的 21.8%。1995 年基本农田达到 144.8 hm²,人均 0.3 hm²,2000 年基本农田达到 211.7 hm²,从根本上改变了农业生产的基本条件。随着国家退耕还林(草)的实施,目前大部分坡耕地已退耕。

表 1 土地利用结构变化 hm²

年份	人均总土地面		农地			林地				牧草地			非生产用地
	积/(hm ² ·人 ⁻¹)		平地	坡地	小计	乔木	灌木	果园	小计	人工	天然	小计	
六五	1982	2.09	82.7	197	279.7	5.33	4	0.4	9.73	4.5	370.5	374.6	97
七五	1987	1.77	171.2	47.7	218.9	8.47	59	0.5	68.1	135	220	355	119
七五	1990	1.66	178	56.3	234.3	7.2	61.4	1.47	70.1	42.1	299.6	341.7	115
八五	1995	1.56	182	48.8	230.8	7.2	128.2	4.8	140.2	39.6	230.3	269.9	120
九五	2000	1.49	212	12	224	7.2	151.1	9.2	167.5	39.6	235.7	275.3	128

1.2 剖面选择与样品采集

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 km²。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(*Heteropappus Altaicus*)、茭蒿(*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)。

不同土地利用方式包括—果园、人工草地、天然草地、灌木林及农地。根据立地条件、土地利用类型和植被恢复阶段的不同,选取 13 个具有代表性的典型土壤剖面,各剖面均按土壤发生学特性进行层次划分,实地调查、记载剖面形态特征和成土环境条件,土壤养分样品多点采混合样,团聚体用塑料饭盒采原状土。分析样品采回后经风干去除根系、石块,研磨过筛分装,各项目重复两次。

1.3 样品处理及分析

土壤样品处理与分析测定参照文献标准方法进行^[13]。

2 结果与分析

2.1 不同植被恢复措施对土壤化学肥力质量的影响

土壤有机质(Soil Organic Matter,SOM)是土壤中非常活跃的组分,它几乎对土壤本质的所有方面都产生强烈的影响。由表 2 可见,不同植被恢复措施土壤有机质的表现为:天然草地、灌木林地和农地含量较高,果园最低。参考黄土高原土壤养分含量分级标准^[14],各种恢复措施中土壤有机质含量为中等。

供试区域内受耕作、管理活动影响最大的是农地和果园,天然草地与灌木林地受扰动的影响较小,因而形成了较丰富的速效氮及全氮。土壤全氮含量属于中级水平,表层全氮含量天然草地>灌木林地>农地>人工草地>果园,20~40 cm 天然草地>农地>灌木林地>果园>人工草地。速效氮变化次序为:灌木林地最高,人工草地及农地次之,果园最低;这与灌木林地生长茂盛,每年有丰富的枯枝落叶补充土壤养分的有关,表明灌木林地对于土壤氮素的积累功能较强。土壤速效磷含量表现为表层:果园>农地>天然草地>人工草地>灌木林地,而 20~40 cm 则为农地>天然草地>果园>灌木林地>人工草地;其中最高的果园表层为 5.24 mg/kg,最低的灌木林地表层为 1.44 mg/kg,相差 3 倍以上。果园与农地磷含量高与作物生产过程中的施肥及田间管理等措施有关,按照黄土高原养分分级标准,为很低水平,说明该地区土壤普遍缺磷。土壤速效钾的含量表现为农地和果园速效钾含量较高,人工草地次之,灌木林地最低;农地各土样之间变异性最大,天然草地次之,果园变异性最小。农地和果园土壤速效钾含量属较高水平,灌木林地、天然草地、人工草地速效钾含量属中等水平,这与本地区土壤的富钾性成土母质有关。灌木林地、人工草地和天然草地的 CEC 含量高于农地,果园最低,说明灌木林地与天然草地土壤具有较高的吸肥保肥能力,农地与果园较差。

表 2 不同土地利用方式土壤化学肥力特征

利用方式	深度/cm	样品数	有机质/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	速效氮/(mg·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	阳离子交换量/(Cmol·kg ⁻¹)
灌木林地	0~20	3	14.36	1.17	30.85	1.44	119.30	13.51
	20~40		11.82	0.77	27.51	1.26	58.91	13.98
农地	0~20	3	14.71	1.07	30.03	3.52	220.35	9.42
	20~40		10.83	0.88	25.11	1.86	147.03	9.33
天然草地	0~20	3	16.64	1.18	24.72	1.94	150.55	12.55
	20~40		10.85	0.87	25.80	1.88	57.34	12.23
果园	0~20	3	8.76	0.72	24.21	5.24	223.41	7.98
	20~40		7.69	0.60	21.76	1.52	170.36	7.61
人工草地	0~20	1	11.70	0.85	20.07	1.34	168.82	11.33
	20~40		8.50	0.55	18.29	0.74	55.33	10.52

2.2 不同土地利用方式对土壤物理性肥力质量的影响

2.2.1 土壤机械组成与孔隙度

不同植被恢复措施对土壤容重和总孔度见表 3。表层土壤容重为果园> 农地> 天然草地> 人工草地> 灌木林地, 其中灌木林地表层土壤容重各土样间几乎没有差异, 天然草地和农地变异性也不大, 与其它恢复措施相比果园变异较明显; 表下层为灌木林地> 果园> 农地> 人工草地> 天然草地, 灌木林地变异系数最大, 天然草地次之, 果园最小。说明灌木林对土壤表层的容重改良程度较好, 天然草地, 容重最小。

表 3 土壤机械组成与容重特征							
利用方式	深度 / cm	砂粒	粉粒	黏粒	粉/黏比	容重 / (g·cm ⁻³)	总孔度 / %
		(1~ 0. 02 mm)	(0. 02~ 0. 002 mm)	(< 0. 002mm)			
		$I/(g \cdot kg^{-1})$	$I/(g \cdot kg^{-1})$	$I/(g \cdot kg^{-1})$			
灌木	0~20	580.24	270.74	149.14	1.86	1.14	56.92
林地	20~40	577.39	275.91	146.72	1.90	1.13	47.62
农地	0~20	535.16	298.21	166.63	1.80	1.19	55.94
	20~40	497.56	310.66	191.79	1.70	1.26	52.26
天然草地	0~20	517.22	331.80	151.13	2.27	1.12	56.00
	20~40	511.54	329.33	159.14	2.09	1.15	59.43
果园	0~20	575.01	286.23	138.85	2.09	1.23	53.58
	20~40	564.64	275.54	159.92	1.73	1.26	51.02
人工草地	0~20	611.33	271.44	117.24	2.32	1.16	56.26
	20~40	554.34	313.73	132.50	2.38	1.19	55.13

土地利用方式对土壤颗粒组成、土壤风化发育程度有一定的影响。就砂粒来说, 表层变化为人工草地> 灌木林地> 果园> 农地> 天然草地, 表下层灌木林地> 果园> 人工草地> 天然草地> 农地; 粉粒则为天然草地含量最高, 灌木林地则最低; 土壤黏粒含量表现为农地> 天然草地 灌木林地> 果园> 人工草地, 表下层农地> 果园 天然草地> 灌木林地> 人工草地; 粉/黏比和剖面平均粉/黏比表现为人工草地和天然草地较高, 灌木林地和农地较低; 天然草地的粉粒、黏粒含量较其它土地利用类型高, 且其表下层的粉粒含量在各土样之间差别较大, 说明天然草地可有效保持土壤中细黏粒, 由于微细黏粒具有胶体特征, 能吸附养分元素, 所以天然草地对土壤乃至整个土体的保水、保肥力及通气、透水性有较大贡献。

2.2.2 土壤结构性能

团粒结构是土壤肥力的中心调节器, 影响着土壤的孔隙性、持水性、通透性和抗蚀性^[15~17]。土壤微团聚体的数量结构、质量及其水稳性, 在很大程度上决定着土壤的保水保肥性能。由表 4 可以看出, 不同植被恢复措施对土壤团聚体的形成有较大影响, 不仅影响到土壤表层团聚体的组成、数量及质量, 而且对表层以下不同深度的土壤团聚体特征也有较大影响。天然草地中> 5 mm 团聚体含量远高于其它用地类型, 其次为灌木林地, 果园和人工草地最小。> 0. 25 mm 的土壤团聚体总含量为: 表层天然草地> 灌木林地> 果园> 农地> 人工草地; 表下层为农地> 灌木林地 天然草地> 人工草地> 果园。总体上而言, 天然草地与灌木林地表层团聚体含量明显高于表下层。另外, 不同的植被恢复措施土壤团聚体各粒级的组成比例存在很大差异: 灌木林地表层> 5 mm 团聚体占到几乎 1/3, > 2 mm 占到 50% 以上, 而 20~40 cm1~0. 25 mm 的团聚体的比例过半; 农地 0~20 cm> 5 mm 有 1/5, 1~0. 25 cm 占多数, 20~40 cm 则主要为 1~

0. 25 mm 的团聚体; 尤其是天然草地, 其表层> 0. 25 团聚体总量是表下层的 2 倍多, 而且主要是以大粒径的团聚体为主。农地和果园主要是以< 1 mm 的团聚体为主, 占总量的 80% 左右, 说明在耕作和管理过程中, 土壤团聚体发生了大团聚体向小团聚体转化的过程, 同时也是土壤结构性能改变的过程。

表 4 土壤团聚体特征							g/ kg
利用方式	深度 / cm	> 5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0. 5 mm	0. 5~0. 25 mm	总量
灌木林地	0~20	98.52	76.56	29.56	42.96	51.82	299.42
	20~40	4.72	50.62	51.14	62.09	49.19	217.76
农地	0~20	13.42	21.59	23.49	40.74	59.88	159.11
	20~40	4.00	31.77	35.78	102.14	83.39	257.09
天然草地	0~20	213.30	77.16	59.71	63.50	57.96	471.63
	20~40	24.29	35.37	31.20	66.17	55.80	212.84
果园	0~20	0.00	43.27	32.95	41.87	53.18	171.27
	20~40	6.03	7.57	16.23	21.69	74.36	125.88
人工草地	0~20	3.20	16.30	19.80	32.40	59.50	131.20
	20~40	0.00	9.60	17.50	50.62	58.12	135.85

表 5 土壤微团聚体特征							g/ kg	
利用方式	深度 / cm	1 ~0. 25 mm	0. 25~0. 05 mm	0. 05~0. 02 mm	0. 02~0. 01 mm	0. 01~0. 005 mm	0. 005~0. 002 mm	< 0. 002 mm
灌木林地	0~20	56.69	236.98	481.63	83.48	80.51	30.36	30.35
林地	20~40	47.37	279.62	470.28	110.33	41.90	23.70	26.81
农地	0~20	33.77	186.93	465.93	155.83	70.53	56.14	30.87
	20~40	49.74	212.92	448.49	161.47	61.06	17.53	48.79
天然草地	0~20	62.16	226.38	430.53	148.86	74.90	24.00	33.17
草地	20~40	70.44	268.65	431.36	113.04	49.25	32.68	34.59
果园	0~20	15.72	235.92	454.58	114.16	75.00	45.06	59.56
	20~40	8.08	196.74	493.28	159.29	79.67	28.80	34.16
人工草地	0~20	38.99	239.43	433.64	163.32	25.94	87.74	10.94
草地	20~40	28.95	368.64	316.34	155.22	42.26	68.87	19.71

不同植被恢复措施土壤微团聚体变化特征如表 5 所示, 灌木林地、人工草地和天然草地土壤 1~0. 01 mm 微团聚体含量高, 果园低, 说明灌木林地和草地对于土壤微结构的形成有促进作用。另外, 由不同植被恢复措施分散系数的数量及其变异状况可看出, 果园表层土壤的微结构水稳性最差, 灌木林地和人工草地最好, 农地表层土壤的微结构水稳性最差, 灌木林地和人工草地最好。从分散系数的大小及差异性可以看出灌木林地和人工草地对于土壤微结构的改善、提高土壤结构性能效果明显。

2.3 不同土地利用方式对土壤生物性肥力质量的影响

土壤生态系统的一切生物化学过程都是在酶的参与下进行的。土壤酶在土壤营养物质的循环和能量的转化过程中起着重要作用, 其活性可以反映土壤生物化学过程的强度和方向, 同时酶活性具有相对的稳定性, 因而是灵敏可靠的土壤肥力指标之一^[18~21]。

不同植被恢复措施下土壤酶活性如表 6 所示。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 6 土壤酶活性特征

利用方式	深度 /cm	蔗糖酶 /(mg·kg ⁻¹)	脲酶 (mg·kg ⁻¹)	碱性磷酸酶 /(mg·kg ⁻¹)	过氧化氢酶 /(ml·g ⁻¹)
灌木	0~20	127.91	75.80	131.12	8.06
林地	20~40	56.86	52.39	87.42	7.93
农地	0~20	160.10	67.65	108.52	8.30
	20~40	75.30	53.98	68.15	7.23
天然	0~20	176.67	79.63	141.33	8.02
草地	20~40	41.70	37.47	64.08	7.93
果园	0~20	148.90	58.80	92.61	8.40
	20~40	82.68	46.04	49.11	7.85
人工	0~20	138.60	57.25	140.20	7.99
草地	20~40	82.59	48.26	71.66	7.88

2.4 土壤综合质量指数

按照层次分析的评价方法, 对上黄试区不同恢复措施表层土壤进行质量评价。首先确定土壤质量评价指标及其隶属度, 再按隶属度求出各土壤评价指标的换算值。然后将换算值与各指标的权重加权求和, 即得各自的相对数量值。采用多元统计分析中的主成分分析法计算各评价因子方差, 通过计算各个因子方差占其总方差的比例, 将其所占比例转换为 1~10 的数值, 作为单项评价指标的权重值。最后, 将得出的三组相对数量与各自权重加权求和求出最终相对评判结果。土壤化学肥力指标包括有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾、阳离子交换量、土壤 pH 值; 土壤物理性肥力指标: 容重、机械组成、团聚体总量、微团聚体总量; 土壤生物学特性: 脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶活性等指标。土壤质量的化学性质、酶活性、物理性质质量指数及最终的土壤综合质量指数的确定均采用加权和法进行计算:

$$SQR = \sum_{i=1}^n K_i \times C_i$$

式中: SQR ——土壤质量指数, C_i ——各个评价指标的隶属度值, K_i ——第 i 个评价指标的权重, n ——评价指标的个

参考文献:

[1] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响[J]. 地理学报, 1999, 54(3): 241– 246.
[2] Binkley D, Resh S C. Rapid changes in soils following Eucalyptus afforestation in Hawaii[J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63(1): 222– 225.
[3] 王国梁, 刘国彬, 候喜录. 黄土高原丘陵沟壑区植被恢复重建后的物种多样性研究[J]. 山地学报, 2002, 20(2): 182– 187.
[4] 傅伯杰, 马克明, 周华锋. 黄土丘陵区土地利用结构对土壤养分分布的影响[J]. 科学通报, 1998, 43(22): 2444– 2448.
[5] 郭旭东, 陈利顶, 傅伯杰. 土地利用/ 土地覆被变化对区域生态环境的影响[J]. 环境科学研究进展, 1999, 7(6): 66– 75 .
[6] Fu B J, Chen L D, Ma K M, et al. The relationship between land use and soil conditions in the hilly area of Loess Plateau in Northern Shaanxi[J]. Catena, 2000, 39: 69– 78.

数。土壤综合质量评价指数评价结果见表 7。

不同植被恢复措施对土壤的质量影响差异明显, 土壤综合质量指数表现为灌木林 天然草地> 人工草地> 农地 果园。由于灌木林和天然草地土壤几乎常年处于被覆被状态, 在灌木林地内还有土壤结皮, 有效地抵抗了风蚀水蚀, 综合土壤质量指数是最高的。果园、农地由于施有机肥及速效肥料, 土壤磷素、钾素含量较高, 但土壤总体肥力低。人工草地覆被下的土壤, 每年收割, 当地农民又不重视施肥, 使得土壤养分含量较低, 尤其表现在磷素、全氮和钾素很低。综合以上分析, 果园主要分布在台地及与塬地上, 是当地主要的耕作土壤, 受长期耕作的影响对该类土壤掠夺式的经营与管理, 不重视有机肥的投入, 造成了土壤质量的下降, 土壤质量指数非常低。在今后的利用中, 应重视加强有机肥的投入, 逐步提高和改善该类土壤的质量状况。

表 7 土壤质量评价指数

利用方式	样品号	土壤化学性 质质量指数	土壤生物性 质质量指数	土壤物理性 质质量指数	土壤综合 质量指数
灌木林地	SH- 1	8.96	8.83	9.64	91.59
	SH- 2	8.72	9.31	8.21	87.31
	SH- 4	9.13	9.32	7.33	85.54
	SH- 9	6.27	7.60	4.88	62.10
农地	SH- 11	6.47	6.54	6.92	66.52
	SH- 14	6.49	6.14	4.18	55.58
天然草地	SH- 5	9.14	9.49	8.78	91.26
	SH- 8	7.74	8.79	7.01	78.22
	SH- 12	6.03	6.84	9.21	74.19
果园	SH- 7	6.32	6.79	5.11	60.44
	SH- 10	5.17	6.53	3.18	49.07
	SH- 13	5.52	6.96	4.44	56.05
人工草地	SH- 6	6.55	7.43	5.55	64.82

3 结 论

不同植被恢复措施对土壤肥力质量的有着深刻的影响, 天然草地和灌木林地有机质、速效氮和速效钾等养分含量明显高于农地和果园, 土壤 pH 和容重降低, 土体中> 5 mm 水稳性团聚体和> 0.01 mm 微团粒的数量显著地增加, 土壤的营养状况得到很大改善, 结构变好, 协调供应养分和水分的能力提高, 能促进黏粒形成聚积, 提高土壤酶活性, 有效地减少水土流失, 防止土地退化和保护生态环境。土壤综合质量指数表现为灌木林 天然草地> 人工草地> 农地 果园。从土壤肥力质量的角度分析, 灌木林地与天然草地土壤质量相差无几, 因此在生态恢复中, 应注重自然封育的比例。在发展农业生产的同时, 更要注意耕地资源的可持续利用, 加大有机肥投入, 防止土壤退化。

[7] Bhattacharyya T, Mukhopadhyay S, Baruah U, et al. Need for soil study to determine degradation and landscape stability [J]. Current Science, 1998, 74(1): 42– 47.

[8] Albaladejo J, Martinez Mena M, Roldan A, et al. Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment[J]. Soil Use & Management, 1998, 14(1): 1– 5.

[9] 傅伯杰, 王军. 黄土丘陵区土地利用对土壤水分的影响[J]. 中国科学基金, 1999, 13(4): 225– 227.

[10] 张桃林, 潘剑君, 赵其国. 土壤质量研究进展与方向[J]. 土壤, 1999, 1: 1– 7.

[11] Taksin Oztas, Ali Koc, Binali Comakli. Changes in vegetation and soil properties along the slope and on overgrazed and eroded rangelands[J]. Journal of Arid Environment, 2003, 55: 93– 100.

[12] 李壁成, 焦锋. 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.

[13] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1985.

[14] 王恒俊, 张淑光. 黄土高原地区土壤资源及其合理利用[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991. 160– 173.

[15] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国中亚热带缓丘区红黏土红壤肥力的演化—— 物理学肥力的演化[J]. 土壤学报, 1999, 36(2): 35– 46.

[16] 常庆瑞, 安韶山, 刘京. 黄土高原恢复植被防止土地退化研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(4): 6– 9.

[17] Saha B, Samra JS, Kehar Singh, Physicochemical properties of soil under different land use systems[J]. Journal of the Indian Society of Soil Science, 1999, 47(1): 133– 140.

[18] 孙波, 赵其国, 张桃林, 等. 土壤质量与持续环境 . 土壤质量评价的生物学指标[J]. 土壤, 1997, 5: 225– 234.

[19] Kennedy A C, Papendick R I. Microbial characteristics of soil quality [J]. Soil Water Conserv. , 1995, 5: 243– 247.

[20] 胡斌, 段昌群, 王震洪. 植被恢复措施对退化生态系统土壤酶活性及肥力的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(4): 1– 5.

[21] 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.

(上接第 14 页)

20 000 m³/km², 相当 199.5 m³/hm², 按每 1 hm² 900 m³ 补灌量统计, 4 hm² 地的径流水可灌 1 hm² 农地。通过窑窖集流径流水, 可解决此问题。在宁南半干旱山区, 果树生产的主要障碍是干旱。该区年平均降水量仅有 400 mm, 不能满足果树生长发育的需要, 故导致低产低效。因此, 建设窑窖, 汇集地表径流, 节水灌溉, 是高效果园建设的重要途径。近年来, 我们在上黄对窑窖集流, 节水补灌, 高效果园建设研究结果: (1) 以历年平均降水量 400 mm 为对照, 不同补水量较对照树体生长发育、产量、品质都有明显提高的效果; (2) 在年补水量 150 mm, 总水量达 550 mm 的情况下, 对果树生长发育、产量、品质提高效果最好。

5 结 论

集水农业工程所依据的系统发展思想及综合的技术体系, 使得它所导致的效益也具有综合、系统的特征。从发展的时序来看, 已经取得的经济效益是十分显著的, 粮食产量迅速提高, 人均收入有所增加, 温饱问题基本解决, 这是集水农业的最为直接的经济效益, 社会效益, 生态效益也得到了显现, 集水工程由于其难度低、投资少、见效快, 对半干旱地区农村的环境、生产力水平等实际情况具有很好的适应性, 从而成为一种农民易于接受的、可操作的和现实的技术。其作参考文献:

[1] 马天恩, 高世铭, 等. 黄土高原半干旱区集水高效利用技术体系的研究[J]. 农业现代化研究, 1994, 5(3): 166– 167.

[2] 何久安. 干旱地区雨水利用及发展方向[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(3): 84– 88.

[3] 李文萍, 刘兴安, 等. 浅谈黄土高原地区水土流失灾害及其防治[J]. 四川水利, 2003, (4): 37– 38.

[4] 付会芳. 黄土高原水土流失及其防治措施[J]. 水土保持研究, 1997, 4(1): 161– 162.

[5] Will Critchley, Klaus Siegert. 径流集蓄[M]. 孙振玉等译. 北京: 中国农业科学出版社, 1996. 35– 114.

[6] 王克勤, 等. 国内外农林业集水技术的研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 1996, 14(4): 109– 114.

[7] 韦惠兰, 白建明, 等. 黄土高原半干旱区集水农业效益分析[J]. 干旱区资源与环境, 1998, 12(3): 41– 42.

[8] 李壁成, 安韶山, 等. 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, 23– 26.

用主要表现为:

- (1) 为解决长期以来困扰人们生活、生产的缺水问题找到了切入点, 因而能够很快地深入人心, 加之具有较好的适应性, 故可有效地调动公众的主动性积极性, 激发公众的参与热情和使命感, 最终形成人与技术有机结合。
- (2) 发展集水农业, 充分合理开发利用自然资源, 可有效地提高综合农业生产力, 提高经济水平。在缺水和水土流失严重的黄土高原地区, 这一作用尤为显著。集水农业技术的推广和发展, 可极大地提高我国旱作农业的发展水平, 提高我国水土保持理论和水土流失区的治理水平。
- (3) 集水农业为生态重建提供了一条新路。通过集水农业发展农业, 退耕还林还草, 促进生态系统向良性循环转化, 减少自然灾害的发生。干旱和水土流失总的来说是自然现象, 而保持自然环境、搞好水土保持和集水农业, 为有效解决黄土高原区的干旱和水土流失, 促进生态系统的良性循环创造了条件。
- 总之半干旱区水资源匮乏, 自然灾害严重, 十年九旱, 要提高农业综合效益, 就要加强农业基础设施建设, 建设集水农业小区和集水农业大系统, 应用集水工程抗旱技术, 对于提高抗旱、抵御自然灾害的能力, 改善生态环境, 促进生态经济的协调发展将发挥巨大作用。