

长顺冗雷河小流域草地治理模式下土壤肥力评价

罗忠志¹, 高华端¹, 李圆玥², 孙泉忠², 韦海霞³

(1. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省水土保持技术咨询研究中心,
贵阳 550002; 3. 贵州省花溪区生态文明建设局, 贵阳 550025)

摘要:采用野外调查和室内分析相结合的方法,对贵州省长顺县冗雷河小流域坡耕地、人工草地和天然草地3种地类的全氮和碱解氮,全磷和有效磷,全钾和有效钾,酸碱度,有机质进行了研究,以层次分析法进行肥力综合评价,揭示冗雷河小流域草地治理模式下对土壤肥力的影响。结果表明:坡耕地实施人工种草措施后,土壤全氮含量相对增加42.64%,碱解氮增加50.86%,中层和下层(20—30 cm)土壤碱解氮改善最为明显;土壤全磷含量相对增加45.24%,有效磷降低23.58%,坡耕地相比草地在总磷含量上相对较为匮乏,但用于作物吸收的有效磷素却高于人工草地;土壤全钾和有效钾含量降低,pH值无变化,其中全钾含量相对降低43.28%,有效钾降低37.32%;土壤有机质含量相对增加77.24%,其中表层(0—10 cm)、中层和下层土壤有机质含量分别提升48.06%,85.58%和107.78%,中层和下层土壤有机质含量改善幅度大。天然草地综合肥力指数最大,坡耕地最小,天然草地综合肥力指数是人工草地的1.09倍,是坡耕地的1.14倍,人工草地是坡耕地的1.05倍。土壤肥力整体水平上得到提升。

关键词:土壤肥力草地模式;层次分析法;评价

中图分类号:S157.1;P642.116

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)01-0044-07

Soil Fertility Evaluation of the Small Ronglei River Watershed Under the Grassland Mode in Changshun County

LUO Zhongzhi¹, GAO Huaduan¹, LI Yuanyue², SUN Quanzhong², WEI Haixia³

(1. College of Forestry College, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Soil and Water Conservation Technical Consulting and Research Center of Guizhou Province, Guiyang 550002, China; 3. Huaxi District of Guizhou Ecological civilization Construction Bureau of Huaxi District, Guiyang 550025, China)

Abstract: By means of fields investigation and lab experiments, based on the planted grassland, the nature grassland and the slope farmland of the small Ronglei river watershed in Changshun, we have examined soil total nitrogen and alkaline hydrolysis nitrogen, total phosphorus and available phosphorus, total potassium, available potassium, pH and the organic matter, revealed the influence of the grassland mode on the soil fertility, and comprehensively evaluated the soil fertility by analytic hierarchy process (AHP) in the small Ronglei river watershed in Changshun. The result showed that: after the artificial grass measures had been carried out, soil's total nitrogen content of farmland relatively increased by 42.64%, alkali solution nitrogen increased by 50.86%, the improvement of alkali-hydrolysable nitrogen in the subsoil layer(20—30 cm) was the most obvious. The content of soil total phosphorus relatively increased 45.24%, available phosphorus increased by 23.58%, the contents of total phosphorus in the farmlands are relatively deficient if compared to grassland, but the level of available P used by crops was higher than that of artificial grassland; soil total potassium and available potassium contents of farmland decreased, pH values presented no significant change; the content of total potassium relatively decreased by 43.28%, available potassium decreased by 37.32%; the content of soil organic matter relatively increased by 77.24%, the contents of soil organic matter in topsoil (0—10 cm), middle, and the deep layers increased by 48.06%, 85.58% and 107.78%, respectively,

收稿日期:2014-11-07

修回日期:2014-11-19

资助项目:草海流域受损生态系统治理技术与示范(2011BAC02B0203-03);贵州省喀斯特生态与环境专业学位研究生工作站;贵州省水利厅水利科技经费项目(KT201311);贵州省水利厅水利科技经费项目(KT201202)

第一作者:罗忠志(1987—),男,贵州大方县人,硕士,主要研究方向:区域土壤侵蚀与评价。E-mail:1340376436@qq.com

通信作者:高华端(1965—),男,贵州省织金县人,教授,博士,硕士研究生导师,主要研究方向:区域水土保持与环境。E-mail:399965122@qq.com

there was great improvement in the levels of soil organic matter in middle and deep layers. The Integrated fertility index of natural grassland is the maximum and the slope farmland is the minimum. Fertility index of natural grassland is 1.09 times of the artificial grassland, fertility index of natural grassland is 1.14 times of the farmland artificial grass. Fertility index of farmland artificial grass is 1.05 times of the slope farmland. The overall level of soil fertility was improved.

Keywords:soil fertility evaluation; grassland mode; analytic hierarchy proces(AHP); evaluation

贵州省政府于 2000 年发布的水土流失公告以来,说明了贵州省主要以水力侵蚀为主^[1-3],同时是喀斯特发育的严重石漠化地区^[4-6]。在水土保持措施统计方面,水利行政部门进行了一些初步的统计和汇总,但是没有进行规划区之间防治模式的分析,特别是在效益分析评价方面^[7];在小流域防治模式研究方面,只设计在小流域设计中进行防治模式布设,水利行政单位对其审批,验收以及初步统计。而对于小流域防治模式实施后对水土流失防治效果,土壤理化性质的影响及效益分析评价缺乏深入研究^[8]。本文综合国内外近期研究结果,以贵州省长顺县冗雷河小流域草地治理模式为研究对象,应用“空间代替时间”的方法,选取坡耕地、人工草地和天然草地为研究对象,对通过全氮和碱解氮含量、全磷和有效磷、全钾和有效钾、酸碱度、有机质 8 个土壤肥力指标进行分析,探索草地治理模式下土壤肥力的演变^[9-10],以期为贵州省水土流失中防治模式研究提供基础性依据。

1 研究区概况

冗雷河小流域地处岩溶中低山区,国土总面积 4 864.56 hm²,属低中山和中中山地貌,平均海拔 1 300 m。气候为中亚热带季风性湿润气候区,年平均气温 13.5~18.5℃,年平均日照时数为 1 202 h,年平均降雨量为 1 399.9 mm。土壤主要以碳酸岩发育而成的石灰土为主,另有黄壤等。长顺县冗雷河小流域是 2008 年石漠化综合治理试点工程。石漠化治理

工程旨在通过调整农业产业结构,在部分坡耕地上集中建设人工草地,保护天然荒草地,发展以草地治理为主生态畜牧业为核心的治理模式,提高农民经济收入。

2 研究方法

2.1 研究方法 及 指标测定

2013 年 10 月初至 11 月底在研究区进行野外调查。采样选用典型样地取样法,调查坡耕地、人工草地和天然草地三个治理类型,调查长顺冗雷河小流域内人工草地、荒草地及坡耕地分布情况,记录海拔、坡度、坡位、植被盖度、土壤类型等参数,其中坡耕地面积为 987.9 hm²,人工草地 846.4 hm²,种植 6 a,天然草地面积为 1 238.3 hm²,封育 6 a,本试验分别选取 3 个人工草地,天然草地长势和保存完好的典型样地,再选取 3 个未种草的坡耕地样地,共计 9 个样地(表 1)。

具体步骤:① 每个样点按 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm 三个土层深度开挖;② 记录采样地点土地利用类型、岩性、坡度、坡位、坡向、高程、天气状况等;③ 用土壤刀削取 10 cm×10 cm×10 cm 原状土,拿回后再削取标准 5 cm×5 cm×5 cm 的原状土用于土壤肥力指标试验。

土壤有机质、pH 值、全 N、土壤碱解 N、全 P、速效 P、全 K、速效 K 等土壤化学性质指标测定依据中国科学院南京土壤研究所编制的《土壤理化分析》和《土壤物理性质测定法》。

表 1 样地基本情况调查表

样地编号	调查地点	坡度/(°)	坡位	岩性	地类	土壤类型	植被覆盖度/%	植被种类
CR-1	长顺县冗雷河	12	上	石灰岩	人工草地	黄壤	40	黑麦草
CR-2	长顺县冗雷河	10	上	石灰岩	人工草地	黄壤	25	黑麦草
CR-3	长顺县冗雷河	6	上	石灰岩	人工草地	黄壤	50	黑麦草
CT-1	长顺县冗雷河	16	下	石灰岩	天然草地	黄壤	95	蕨类、白茅
CT-2	长顺县冗雷河	16	中	石灰岩	天然草地	黄壤	95	三叶草
CT-3	长顺县冗雷河	21	下	石灰岩	天然草地	黄壤	95	白茅
CP-1	长顺县冗雷河	18	中	石灰岩	坡耕地	黄壤	40	玉米
CP-2	长顺县冗雷河	16	中	石灰岩	坡耕地	黄壤	40	玉米
CP-3	长顺县冗雷河	16	中	石灰岩	坡耕地	黄壤	40	玉米

2.2 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 进行处理,采用 SPSS 软件进行统计分析,计算样地测定值的平均值及标准差,对测定值进行多重比较(LSD 法)及显著性检验。

3 结果与分析

3.1 土壤全氮和碱解氮含量

天然草地全氮含量最高,达到了 2.31 g/kg,是坡耕地全氮含量的 1.70 倍。天然草地与坡耕地全氮含量差异性极显著($p=0.000<0.01$),而人工草地与天然草地($p=0.110>0.05$)、人工草地与坡耕地氮素含量($p=0.210>0.05$)之间差异性均不明显。天然草地具有相对较为稳定的植物种群和群落系统,草本植物物种丰富多样,土壤长期受草本植物根系影响,氮素积累较大,供氮潜力大,而在坡耕地上实施人工种草后,

土壤全氮含量虽有所提高,但相比天然草地还存在一定差距。综合来看,土壤全氮含量大小排序为:天然草地 $[(2.31\pm0.21)\text{g/kg}]>$ 人工草地 $[(1.94\pm0.15)\text{g/kg}]>$ 坡耕地 $[(1.36\pm0.11)\text{g/kg}]$ 。

天然草地土壤碱解氮含量最高,为 167.16 mg/kg,是坡耕地的 1.60 倍,人工草地土壤碱解氮含量是坡耕地的 1.51 倍。天然草地与坡耕地土壤碱解氮含量之间呈显著差异($p=0.010<0.05$),人工草地与坡耕地土壤碱解氮含量之间呈显著差异($p=0.029<0.05$),而天然草地与人工草地土壤碱解氮含量之间差异不明显。这表明在坡耕地上实施人工种草可有效提高土壤碱解氮含量,增加植被吸收氮素的含量,促进植被生长。土壤碱解氮含量大小排序为:天然草地 $[(167.16\pm16.74)\text{mg/kg}]>$ 人工草地 $[(157.62\pm18.40)\text{mg/kg}]>$ 坡耕地 $[(104.48\pm11.88)\text{mg/kg}]$,详见表 1。

表 2 不同草地类型土壤化学指标总体平均值

土地利用方式	天然草地	人工草地	坡耕地
全氮/(g·kg ⁻¹)	2.31±0.21	1.94±0.15	1.36±0.11
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	167.16±16.74	157.62±18.40	104.48±11.88
全磷/(g·kg ⁻¹)	0.55±0.03	0.61±0.02	0.42±0.02
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	4.24±0.28	4.49±0.38	6.28±1.04
全钾/(g·kg ⁻¹)	10.35±0.55	7.39±0.91	13.03±1.27
有效钾/(mg·kg ⁻¹)	119.03±18.72	62.26±5.60	99.32±8.28
pH 值	5.14±0.17	5.32±0.20	5.42±0.20
有机质/(g·kg ⁻¹)	55.30±5.77	47.66±3.65	26.89±2.38

注:指标平均值±标准误。

从全氮和碱解氮垂直分布状况看(图 1),天然草地、人工草地和坡耕地土壤全氮和碱解氮整体上随土层深度增加而不断减少。通过对比,在坡耕地实施人工种草后,可改善整个 0—30 cm 土层土壤全氮和碱解氮含量,表层(0—10 cm)、中层(10—20 cm)和下层(20—30 cm)土壤全氮含量分别增加了 17.95%, 53.73%和 60.50%,中层和下层土壤全氮改善幅度较大。表层、中层和下层土壤碱解氮含量分别增加了

42.37%,40.03%和 74.73%,三层土壤碱解氮含量改善幅度都较大,均达到了 40%以上,下层土壤全氮改善幅度最大。通过相关性分析(Pearson, 2-tailed),土壤全氮和碱解氮呈极显著正相关($p=0.000<0.01$),相关性系数为 0.855。说明三种土地利用方式下土壤全氮含量一定程度上影响着碱解氮的含量,植物吸收所需要的碱解氮含量多少依赖于土壤全氮含量的多少。

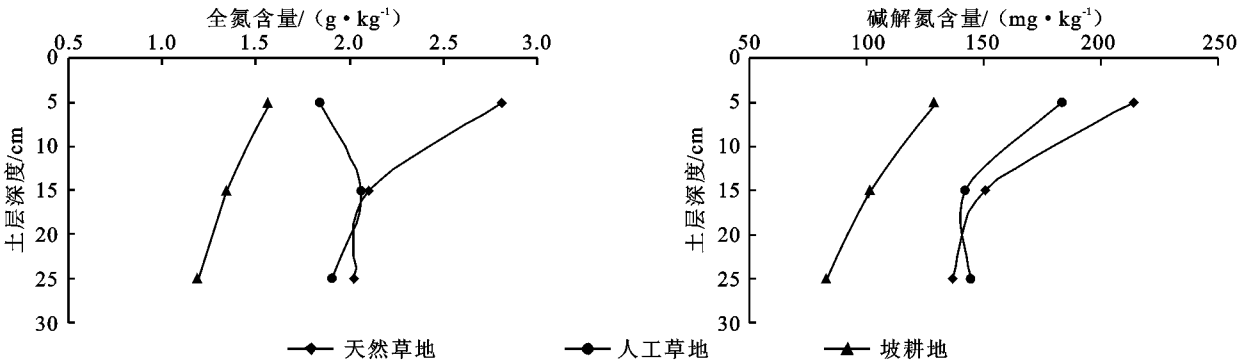


图 1 不同土层深度土壤全氮和碱解氮变化特征

3.2 土壤全磷和有效磷含量

人工草地土壤全磷含量最高,为 0.61 g/kg ,是坡耕地的 1.45 倍,天然草地土壤全磷含量是坡耕地的 1.31 倍。通过差异性检验,人工草地与坡耕地土壤全磷含量之间呈极显著差异 ($p=0.000<0.01$),天然草地与坡耕地土壤全磷含量之间呈极显著差异 ($p=0.001<0.01$),而天然草地与人工草地土壤全磷含量之间差异不明显。土壤全磷含量大小排序为:人工草地 [$(0.61\pm0.02)\text{g/kg}$] > 天然草地 [$(0.55\pm0.03)\text{g/kg}$] > 坡耕地 [$(0.42\pm0.02)\text{g/kg}$]。但总体上看,土壤全磷含量偏低(均低于 0.03%),在一定程度上影响有效磷含量。

通过对比分析土壤有效磷含量,土壤有效磷含量大小排序为:坡耕地 [$(6.28\pm1.04)\text{mg/kg}$] > 人工草地 [$(4.49\pm0.38)\text{mg/kg}$] > 天然草地 [$(4.24\pm0.28)\text{mg/kg}$]。通过 LSD 检验,人工草地与坡耕地土壤有效磷含量之间呈显著差异 ($p=0.049<0.05$),天然草地与坡耕地土壤有效磷含量之间呈显著差异 ($p=0.024<0.05$),而天然草地与人工草地土壤有效磷含量之间差异不明显 ($p=0.076>0.05$)。坡耕地土壤

表现出低的全磷含量,相对较高的供磷能力,有效磷含量是天然草地的 1.48 倍,是人工草地的 1.40 倍。说明与坡耕地相比草地在土壤全磷含量上相对较为匮乏,但用于作物吸收的磷素高于草地,这可能与坡耕地地表径流冲刷及作物磷素吸收有关系。地表径流冲刷导致坡耕地土壤全磷含量明显低于天然草地和人工草地,而坡耕地种植的作物可以改善磷素的转换,增加有效磷的转换速率,导致坡耕地土壤有效磷含量明显高于天然草地和人工草地。

如图 2 所示,从垂直角度看,人工草地表层、中层和下层土壤全磷含量均高于天然草地和坡耕地。但表层、中层和下层土壤有效磷含量变化却较为复杂,坡耕地表层和下层土壤有效磷含量明显高于天然草地和人工草地,而中层土壤有效磷含量却低于人工草地。对比人工草地和坡耕地土壤全磷和有效磷含量,通过相关性分析,土壤全磷和有效磷呈负相关关系,但相关性不显著 ($p=0.215>0.05$),相关系数为 -0.179 。说明土壤有效磷的转化不完全依赖于土壤全磷含量,而与植被生长等因子有关系。

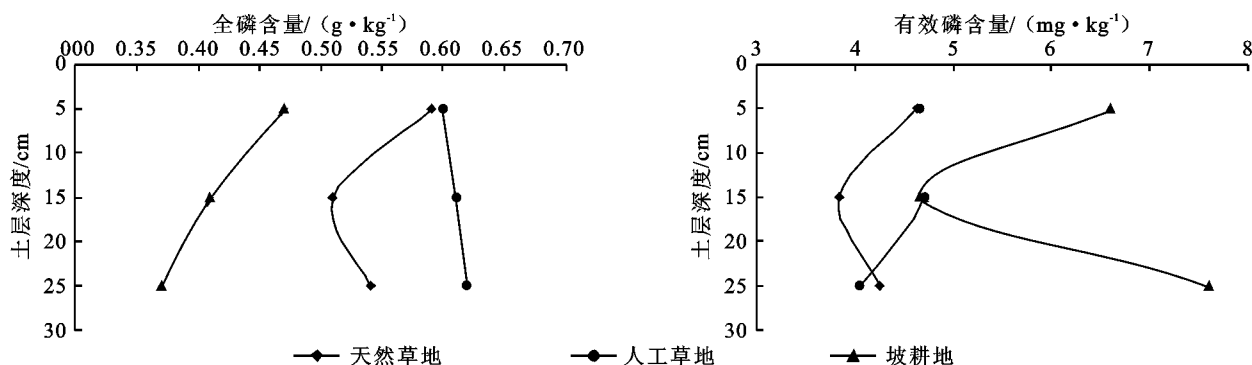


图 2 不同土层深度土壤全磷和有效磷变化特征

3.3 土壤全钾和有效钾含量

坡耕地土壤全钾含量最高,为 13.03 g/kg ,是天然草地的 1.26 倍,是人工草地的 1.76 倍。LSD 检验结果表明:人工草地与坡耕地土壤全钾含量之间呈极显著差异 ($p=0.000<0.01$),天然草地与坡耕地土壤全钾含量之间呈显著差异 ($p=0.046<0.05$),天然草地与人工草地土壤全钾含量之间呈显著差异 ($p=0.023<0.05$)。土壤全钾含量大小排序为:坡耕地 [$(13.03\pm1.27)\text{g/kg}$] > 天然草地 [$(10.35\pm0.55)\text{g/kg}$] > 人工草地 [$(7.39\pm0.91)\text{g/kg}$]。

天然草地土壤有效钾含量最高,为 119.03 g/kg ,是坡耕地的 1.20 倍,是人工草地的 1.91 倍。LSD 检验结果表明:人工草地与坡耕地土壤有效钾含量之间呈显著差异 ($p=0.020<0.05$),天然草地与人工草地土壤有效钾含量之间呈极显著差异 ($p=0.003$)。

而天然草地与坡耕地土壤有效钾含量之间差异不明显 ($p=0.528>0.05$)。土壤有效钾含量大小排序为:天然草地 [$(119.03\pm18.72)\text{mg/kg}$] > 坡耕地 [$(99.32\pm8.28)\text{mg/kg}$] > 人工草地 [$(62.26\pm5.60)\text{mg/kg}$]。当坡耕地实施人工种草后,在不施入或者少量施入农家肥的情况下,土壤有效钾含量明显降低。由于天然草地植被地表枝叶枯落后导致钾素回归土壤,减少了钾素的流失,导致天然草地土壤有效钾含量明显高于坡耕地和人工草地。人工种草初期,土壤中有效钾被草本植物吸收,植物地表部分作为饲料进而进入动物体内,带离原地块,导致钾素不能回归于原土壤,致使钾素含量低于天然草地和坡耕地。

如图 3 所示,从垂直角度看,坡耕地 $0-30 \text{ cm}$ 土层土壤全钾含量均高于人工草地和天然草地,但在土

壤有效钾含量上,却低于天然草地,高于人工草地。在垂直方向上,土壤全钾含量变化不大,但天然草地和坡耕地有效钾含量随土层深度增加呈减小趋势。坡耕地表层、中层和下层土壤全钾含量分别是天然草地的 1.26 倍,1.29 倍和 1.23 倍,但有效钾含量却只有天然草地表层、中层和下层土壤的 85.97%,

95.51%和 90.89%。受人工耕作管理等影响,坡耕地土壤全钾含量虽然高,但有效钾含量却不及天然草地。说明植物种群长期稳定的天然草地可以有效改善土壤有效钾含量。另外,人工草地土壤全钾和有效钾含量均低于坡耕地,因此,在建植人工草地时,应该适当加强水肥管理,特别是钾肥。

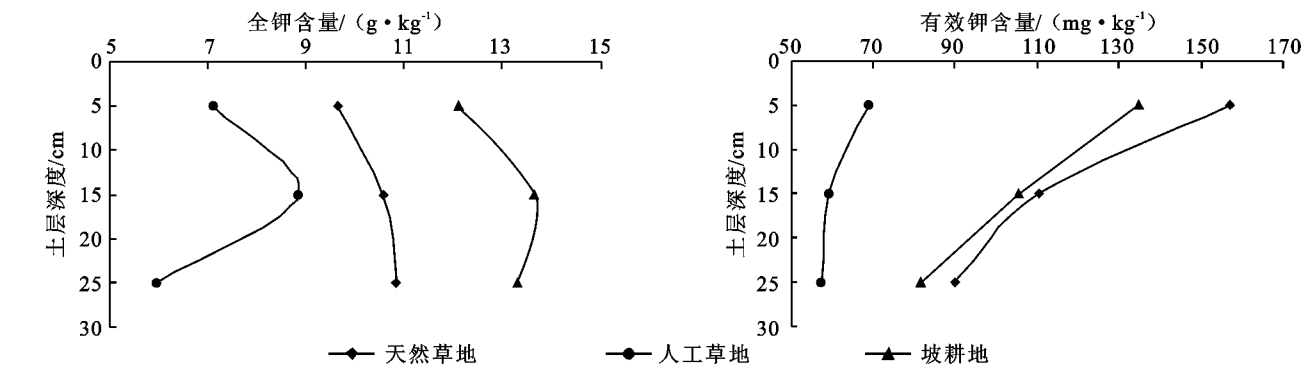


图 3 不同土层深度土壤全钾和有效钾变化特征

3.4 土壤 pH 值

土壤受土壤自身特性影响,在同一土类上变化不大。通过分析,土壤 pH 均小于 7.0,呈酸性。土壤具有强大的缓冲能力,人为耕作等活动对土壤 pH 影响不明显,通过 LSD 检验,三者之间无明显差异。如图 4 所示,随着土层深度的增加,土壤 pH 值逐渐增加,表层土壤比中层和下层土壤偏酸。

减少水土流失,改变土壤结构状况,为植被生长营造一个更好的土壤环境,建立一个良好的土壤—植被代谢和循环系统,促进植被恢复,不同程度上改变石漠化发生程度,如图 5 所示,从垂直角度看,坡耕地表层、中层和下层土壤有机质含量明显低于天然草地和人工草地,且随着土层深度增加而不断减小。受地表植被枯落物的影响,人工草地和天然草地表层土壤有机质存在差异,但中层和下层差异不明显。当坡耕地实施人工种草后,表层、中层和下层土壤有机质含量分别提升 48.06%,85.58%和 107.78%,中层和下层土壤有机质含量改善幅度大,均达到了 80%以上。由此表明,在人工种草可有效改善坡耕地土壤有机质含量,提高土壤肥力。

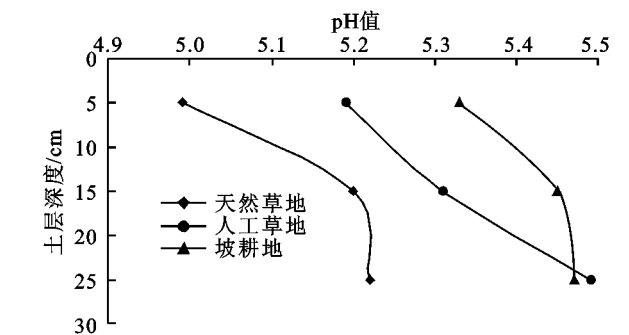


图 4 不同土层深度土壤 pH 值变化

3.5 土壤有机质含量

土壤有机质含量大小排序为:天然草地土壤有机质含量[(55.30±5.77)g/kg]>人工草地[(47.66±3.65)g/kg]>坡耕地[(26.89±2.38)g/kg]。天然草地的土壤有机质含量最高,是坡耕地的 2.06 倍,是人工草地的 1.16 倍。通过 LSD 检验,天然草地与坡耕地土壤有机质含量之间呈极显著差异($p=0.000<0.01$),人工草地与坡耕地之间呈极显著差异($p=0.002<0.01$),而天然草地与人工草地之间无明显差异($p=0.212>0.05$)。这表明坡耕地改变为人工草地,土壤有机质含量增加明显,当人工草地在无管护的状况下,逐渐演替为天然草地时,土壤有机质含量增加更为明显。有机质的增加提高了土壤抗蚀抗冲性能,

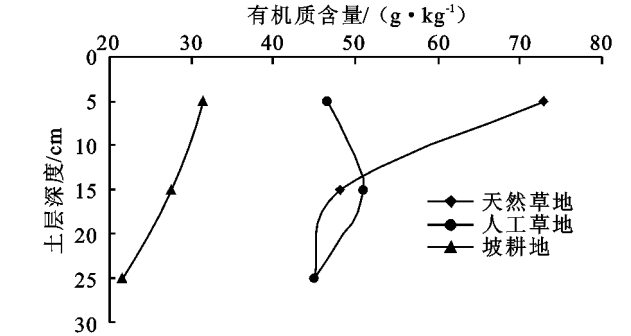


图 5 不同土层深度土壤有机质

3.6 土壤肥力综合评价

3.6.1 土壤肥力指标权重 通过分析,天然草地、人工草地和坡耕地土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾和有效钾等肥力指标变化各不相同,为有效评价草地治理模式下土壤肥力变化的综合情况,对土壤肥力进行综合评价,以此全面反映不同土地利用方式下土壤肥力差异状况。土壤肥力指标权重值采用层次分析法来确定。重要值采用 15 级分级法。

表 3 土壤肥力指标相对重要值矩阵

指标	有机质	全氮	碱解氮	全磷	有效磷	全钾	有效钾	权重值
有机质	1	0.5	0.3	0.5	0.4	0.3	0.2	0.064
全 氮	3	1	0.6	2	0.8	3	0.8	0.146
碱解氮	4	2	1	3	2	2	2	0.196
全 磷	0.9	0.5	0.2	1	0.5	2	0.8	0.081
有效磷	3	2	0.4	3	1	4	2	0.182
全 钾	2	0.8	0.3	0.9	0.5	1	0.6	0.085
有效钾	3	2	0.6	3	0.9	3	1	0.159

3.6.2 土壤肥力指标分级评分 各土壤肥力指标测定原始数据采用分级打分法进行无量纲化,各指标分级标准如表 4 所示。

表 4 土壤肥力指标分级标准及评分

指标	优(5 分)	良(4 分)	中(3 分)	差(2 分)
有机质/(g·kg ⁻¹)	>60	40~60	20~40	<20
全 氮/(g·kg ⁻¹)	>2	1~2	0.5~1	<0.5
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	>150	100~150	50~100	<50
全 磷/(g·kg ⁻¹)	>0.6	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	>9	6~9	3~6	<3
全 钾/(g·kg ⁻¹)	>20	15~20	10~15	<10
有效钾/(mg·kg ⁻¹)	>150	100~150	50~100	<50

3.6.3 土壤肥力综合评价 土壤肥力综合评价采用如下公式进行计算:

$$F_i=\sum_{i=1}^7K_i\times C_i$$

(1)

表 5 不同土地利用方式土壤肥力综合指数

土地利用	有机质	全氮	碱解氮	全磷	有效磷	全钾	有效钾	FI
天然草地	0.256	0.730	0.980	0.324	0.546	0.255	0.636	3.727
人工草地	0.256	0.584	0.980	0.405	0.546	0.170	0.477	3.418
坡耕地	0.192	0.584	0.784	0.243	0.728	0.255	0.477	3.263

4 讨论与结论

4.1 讨论

本研究通过对长顺冗雷河小流域草地治理模式内人工草地、天然草地和坡耕地进行对比,分析三种地类的全氮和碱解氮,全磷和有效磷,全钾和有效钾,酸碱度,有机质进行研究,以层次分析法进行肥力综合评价,揭示冗雷河小流域草地治理模式对土壤肥力的影响。通过对比分析:

(1) 在坡耕地上实施人工种草后,土壤全氮含量虽有所提高,可有效提高土壤碱解氮含量,增加植被吸收氮素的含量,促进植被生长。但相比天然草地还存在一定差距。这与瓦庆荣等^[11]的天然草地具有相对较为稳定的植物种群和群落系统,草本植物物种丰

式中: F_i ——综合肥力指数; K_i ——该样品第 i 个指标的分值; C_i ——为该指标的权重值。

通过采用公式(1),对研究区天然草地、人工草地和坡耕地土壤肥力综合指数进行计算,如表 5 所示。

通过对天然草地、人工草地和坡耕地综合肥力指数进行计算,天然草地综合肥力指数最大,坡耕地最小,天然草地综合肥力指数是人工草地的 1.09 倍,是坡耕地的 1.14 倍,人工草地是坡耕地的 1.05 倍,三者大小排序为:天然草地(3.727)>人工草地(3.418)>坡耕地(3.263)。说明天然草地的综合肥力状况最佳,而坡耕地则相对较差,人工草地则介于两者之间。当在坡耕地上采取人工种草的措施,可有效提高土壤肥力水平,若人工草地逐渐演变为天然草地时,则土壤肥力有进一步的提高。综合来看,坡耕地实施人工种草后,土壤肥力改善效益明显。

富多样,土壤长期受草本植物根系影响,氮素积累较大,供氮潜力大相一致。

(2) 坡耕地与草地相比,在全磷含量上相对较为匮乏,但用于作物吸收的磷素高于草地,这可能与坡耕地地表径流冲刷及作物磷素吸收有关系。地表径流冲刷导致坡耕地土壤全磷含量明显低于天然草地和人工草地,而坡耕地种植的作物可以改善磷素的转换,增加有效磷的转换速率,导致坡耕地土壤有效磷含量明显高于天然草地和人工草地。这与高华端等^[12]土壤有效磷的转化不完全依赖于土壤全磷含量,而与植被生长等因子有关系相一致。

(3) 天然草地土壤有效钾含量明显高于坡耕地和人工草地。而人工草地钾素含量低于天然草地和坡耕地。这可能是在不施入或者少量施入农家肥的

情况下,土壤有效钾含量明显降低。由于天然草地植被地表枝叶枯落后导致钾素回归土壤,减少了钾素的流失,人工种草初期,土壤中有有效钾被草本植物吸收,植物地表部分作为饲料进而进入动物体内,带离原地块,导致钾素流失。这与刘世梁等^[13]植物种群长期稳定的天然草地可以有效改善土壤有效钾含量相一致。另外,人工草地土壤全钾和有效钾含量均低于坡耕地,与康冰等^[14]在建植人工草地时,应该适当加强水肥管理,特别是钾肥符合。

(4) 坡耕地改变为人工草地,土壤有机质含量增加明显,但是比天然草地低,这与罗海波,代全厚等^[15-16]当人工草地在无管护的状况下,逐渐演替为天然草地时,土壤有机质含量增加更为明显。有机质的增加提高了土壤抗蚀抗冲性能,减少水土流失,改变土壤结构状况,为植被生长营造一个更好的土壤环境,建立一个良好的土壤—植被代谢和循环系统,促进植被恢复,不同程度上改变石漠化发生程度相一致。

4.2 结论

(1) 研究区天然草地、人工草地和坡耕地土壤全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、有效钾、pH 值和有机质等化学指标分析结果显示,坡耕地实施人工种草措施后,土壤全氮含量相对增加 42.64%,碱解氮增加 50.86%,中层和下层(20—30 cm)土壤碱解氮改善最为明显;土壤全磷含量相对增加 45.24%,有效磷降低 23.58%,坡耕地相比草地在全磷含量上相对较为匮乏,但用于作物吸收的有效磷素却高于人工草地;坡耕地实施人工种草措施后,土壤全钾和有效钾含量降低,pH 值无变化,其中全钾含量相对降低 43.28%,有效钾降低 37.32%;坡耕地实施人工种草措施后,土壤有机质含量相对增加 77.24%,其中表层(0—10 cm)、中层和下层土壤有机质含量分别提升 48.06%,85.58%和 107.78%,中层和下层土壤有机质含量改善幅度大。

(2) 研究区土壤肥力综合评价结果显示,天然草地综合肥力指数最大,坡耕地最小,天然草地综合肥力指数是人工草地的 1.09 倍,是坡耕地的 1.14 倍,人工草地是坡耕地的 1.05 倍,其三者大小排序为:天然草地(3.727) > 人工草地(3.418) > 坡耕地

(3.263)。说明当坡耕地实施人工种草后,土壤肥力整体水平上得到提升。

参考文献:

- [1] 刘震. 全国水土保持普查及成果运用[J]. 中国水利, 2013, 37(7): 55-57.
- [2] 王念忠, 李建伟, 张峰. 松花江流域侵蚀环境及水土流失防治对策[J]. 东北水利水电, 2013, 25(5): 10-14, 24.
- [3] Middleton B. Wetland Restoration, Flood Pulsing, and Disturbance Dynamics[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1999.
- [4] 黎家作. 淮河流域综合规划水土流失解读[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2013.
- [5] 李珂, 杨永兴, 杨杨, 等. 头屯河流域低山丘陵区水土流失防治对策[J]. 安徽农业学, 2013, 39(11): 6714-6716, 6719.
- [6] 白军红, 欧阳华, 崔保山, 等. 水土流失防治对策探析[J]. 生态学报, 2013, 33(5): 2246-2252.
- [7] 刘红玉, 白云芳. 若尔盖水土流失防治变化过程与机制分析[J]. 自然资源学报, 2006, 21(5): 810-818.
- [8] 雍国玮, 石承苍, 邱鹏飞. 浅议水土流失防治[J]. 山地学报, 2013, 21(6): 758-762.
- [9] 曾馥平, 王克林. 桂西北喀斯特地区 6 种退耕还林(草)模式的效应[J]. 农村生态环境 2005, 21(2): 18-22.
- [10] 吴佳海, 牟琼, 唐成斌, 等. 石漠化山区种草养羊技术开发[J]. 草业科学, 2009, 26(1): 126-128.
- [11] 瓦庆荣. 加快石漠化地区草地植被恢复促进喀斯特地区生态环境建设[J]. 草业科学, 2008, 25(3): 18-21.
- [12] 高华端, 孙泉忠, 袁勇. 喀斯特地区不同土地利用类型土壤侵蚀特征研究[J]. 水土保持通报, 2010, 30(2): 92-96.
- [13] 刘世梁, 傅伯杰, 马克明, 等. 岷江上游高原植被类型与景观特征对土壤性质的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(1): 26-30.
- [14] 康冰, 刘世荣, 蔡道雄, 等. 南亚热带不同植被恢复模式下土壤理化性质[J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2479-2486.
- [15] 罗海波, 钱晓刚, 刘方, 等. 喀斯特山区退耕还林(草)保持水土生态效益研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 31-34, 41.
- [16] 代全厚, 张力, 刘艳军, 等. 嫩江大堤植物根系固土护堤功能研究[J]. 水土保持通报, 1998, 18(6): 8-11.