

管理措施对三江源区“黑土滩”土壤肥力及土壤酶活性的影响

韩发¹, 李以康^{1,2}, 周华坤¹, 吴兵^{1,2}, 王学英^{1,2}, 冉飞^{1,2}, 包苏科^{1,2}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:对三江源区典型退化草地“黑土滩”采取施肥及种植垂穗披碱草的恢复措施,结果表明,土壤中的全氮与有机质的相关性显著,全磷与有机质的相关性较明显,变化趋势相一致。短期的恢复措施造成了恢复样地 20~30 cm 土层中有机质、全氮和全磷含量的下降,长期的恢复措施使恢复样地中的这 3 种营养物质的含量得到了上升;人工种植措施使土壤中的全钾含量显著下降 ($P < 0.05$)。此外,速效养分的变化不一致,其中速效氮的含量表现为先降低后升高,速效磷和速效钾的含量变化表现出升高趋势。植被恢复对土壤脲酶活性有促进作用,但蔗糖酶活性没表现出规律性变化;这 2 种酶的活性与速效养分的含量表现出较强的正相关,而与有机质和全价养分的含量相关性不显著。

关键词: 植被恢复; “黑土滩”退化草地; 土壤肥力; 土壤酶

中图分类号: S158 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2007)03-0001-08

生态系统恢复是一个系统的复杂工程,不仅包括植被的恢复、生物多样性的恢复,更重要的是土壤功能的恢复。土壤是陆地生态系统的基本组成部分,土壤恢复是生态系统恢复的至关重要的基础,但是却经常被忽视^[1]。土壤为植物生长提供所需的各种营养成分,而这些能被植物利用的营养成分是通过分解、矿化等生化过程进行的。土壤中的一切生物化学反应,实际上都是在酶的参与下进行的。土壤酶的活性反映了土壤中进行各种生物化学过程的强度和方向,是土壤的本质属性之一^[2]。研究认为土壤酶活性可以作为评价土壤肥力水平的指标^[3]。因此,近些年来生态学工作者在对生态系统过程和功能的研究中也对土壤酶给予了高度重视^[3~5]。土壤酶在农田^[6,7]、森林^[8]、湿地^[9]等生态系统中的作用已经有了大量的研究,在草原生态系统群落演替、生态系统退化及土壤养分有效性等关键生态系统过程中的变化也进行了一些研究^[5,10,11],但是对于高寒草甸的类似研究相对较少,对于高寒草甸“黑土滩”生态恢复过程中的土壤酶活性和土壤营养成分关系的研究还未见报道。所以,本研究以三江源自然保护区中的次生裸地“黑土滩”为对象,在青南高原果洛藏族自治州选择了不同恢复治理措施下的“黑土滩”草地——原生(自然状态)、施肥处理和播种垂穗披碱草(*Elymus nutans*)的人工草地为研究对象,探讨不同植被恢复措施对三江源区严重退化草地“黑土滩”的土壤酶活性和营养物质积累的影响,为三江源区人工草地的建植、管理、演替机制及三江源区典型退化草地“黑土滩”的人工恢复治理提供基础资料和理论依据。

1 材料与方法

1.1 样地自然概况

研究的中心地点位于三江源区的青海省果洛藏族自治州玛沁县境内军牧场地区。地处东经 98°48' ~ 100°55', 北纬 33°43' ~ 35°16', 平均海拔 4 000 m 以上。该县属高寒半湿润气候,只有冷暖两季,没有四季之分,日照充足,历年日照平均值在 2 500 h 以上,年总辐射量 623.8 ~ 629.9 kJ/cm²。冷季持续时间长达 7~8 个月,且风大雪多;暖季湿润,长达 4~5 个月。平均气温在 0℃ 以下,全年无绝对无霜期。年降水量 420~560 mm,多集中在 5-10 月份^[12]。草地类型主要以高寒草甸为主,土壤类型以高山草甸土为主。近些年来由于自然因素和人类

* 收稿日期:2006-07-30

基金项目:国家科技攻关计划项目(2005BA901A20),中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(cjc050175)和青海省重点科技攻关项目(2005-N-117)资助。

作者简介:韩发(1953-),男,青海西宁市人,研究员,博士生导师。E-mail: hanfa@mail.nwipb.ac.cn

活动的影响,出现了大面积的草地退化,退化严重的草地已经变成了没有利用价值的“黑土滩”。草地退化加剧,退化面积不断扩大,不仅严重影响了牧民的生产生活和当地畜牧业的发展,而且导致了三江源区草、畜、生态的平衡严重失调和生态环境的恶化。“黑土滩”上的植被盖度最低,主要生长着一些毒杂草,以匍匐茎杂类草为优势种,主要代表植物有细叶亚菊(*Ajania tenuifolia*)、甘肃马先蒿(*Pedicularis kansuensis*)和西伯利亚蓼(*Polygonum sibiricum*)等。种植垂穗披碱草的“黑土滩”植被盖度明显增大,垂穗披碱草生长茂密,基本没有毒杂草的存在。

1.2 研究方法

根据多年来在三江源区“黑土滩”上所进行的不同实验处理及其效果的基础上,本研究分别选取1999年(已生长7年,用CQ表示)、2002年(已生长4年,用CS表示)和2005年种植垂穗披碱草的样地(已生长1年,用CY表示)和2005年施肥的“黑土滩”作为处理样地(用ZS表示),以未作任何处理的“黑土滩”为对照样地(用CK表示)。处理方法:1)“黑土滩”在返青后期施尿素75 kg/hm²,磷酸二铵37.5 kg/hm²;2)采用“翻耕+耙耱+撒播+轻耙+镇压”的农艺措施,以150 kg/hm²磷酸二铵作基肥,选用垂穗披碱草草种播种,播种量为37.5 kg/hm²。

于2005年9月中旬,在多样地选取地势平坦、植被及土壤基本一致的地段,采用随机步程法,每3 m设一取样点,每个样地设6个取样点,取0~30 cm的土样,分层取样,每层10 cm。取样用具严格消毒,土样带回实验室后,自然阴干,过1 mm筛,以备测定土壤酶活性和土壤营养成分的含量。

全氮和速效氮含量的测定采用凯氏定氮法和康维皿法,全磷含量的测定用钼锑抗比色法,速效磷含量的测定采用碳酸氢钠法,全钾含量的测定采用氢氧化钠熔融法,速效钾含量的测定采用火焰光度法,有机质含量的测定采用重铬酸钾硫酸溶液氧化法^[13]。

脲酶活性的测定采用文献[14]的方法;土壤蔗糖酶的测定采用文献[15]的方法。

1.3 数据分析

用Microsoft Excel和SPSS11.0对数据进行图形处理和数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同样地土壤养分变化

2.1.1 土壤有机质含量变化 三江源区典型退化草地采取恢复措施后,施肥和种植垂穗披碱草的黑土滩0~10 cm土层有机质的含量缓慢增加,到CQ时,有机质含量的恢复最明显,比CK高出23.7%,其含量显著提高($P < 0.05$) (表1);10~20和20~30 cm土层有机质的含量变化趋势相似,在采取恢复措施后,ZS和CY的“黑土滩”有机质含量都出现下降,随种植年限的增加含量升高,到7年后基本达到最高值。说明采取上述恢复措施后,有机质的含量得到了恢复,但是恢复速度较慢。

2.1.2 土壤全价养分含量变化 土壤全氮是土壤肥力的基础。多样地的上层和中层土壤全氮的含量都显著高于20~30 cm土层的含量($P < 0.05$) (表2)。CK到CQ 0~10和10~20 cm土层的全氮含量缓慢升高,20~30 cm土层的全氮含量变化表现为先降低后升高的趋势,到CQ其含量稍高于CK的含量。说明施肥(CS)及单播措

表1 管理措施对有机质含量的影响

Table 1 Changes of soil organic matter under different managerial measures

土层 Layer	CK	ZS	CY	CS	CQ	%
0~10 cm	5.723 ±0.090 cA	5.747 ±0.080 cA	6.298 ±0.140 bA	5.850 ±0.070 cB	7.086 ±0.120 aA	
10~20 cm	5.601 ±0.190 bA	5.580 ±0.080 bA	5.055 ±0.042 cB	6.143 ±0.106 aA	5.680 ±0.406 bB	
20~30 cm	4.558 ±0.113 bB	3.343 ±0.148 cB	3.336 ±0.122 cC	4.463 ±0.970 bC	5.173 ±0.372 aB	

注:同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),同列不同大写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同。

Note: Different lower-case letters in the same line mean significant difference at $P < 0.05$, different capital letters in the same row mean significant difference at $P < 0.05$, the same below.

表 2 管理措施对全氮含量的影响

Table 2 Changes of soil total N under different managerial measures

土层 Layer	CK	ZS	CY	CS	CQ	%
0~10 cm	0.285 ±0.010 bA	0.324 ±0.020 aA	0.318 ±0.014 aA	0.330 ±0.012 aA	0.336 ±0.010 aA	
10~20 cm	0.290 ±0.007 bcA	0.293 ±0.020 bcA	0.283 ±0.120 cB	0.313 ±0.020 abA	0.323 ±0.020 aAB	
20~30 cm	0.260 ±0.155 aB	0.183 ±0.080 bB	0.206 ±0.230 bC	0.262 ±0.014 aB	0.293 ±0.030 aB	

施(CY)都促进了上层和上层全氮含量的升高,但是导致 20~30 cm 土层土壤全氮含量的降低,随时间的延长其含量亦升高,与有机质含量的变化相一致。相关性分析表明:土壤全氮含量与土壤有机质含量呈显著正相关($r=0.9551$, $P<0.05$),这一结果与王长庭等^[16]对高寒草甸不同海拔梯度土壤有机质氮磷的分布研究结果相近。植被恢复措施促进了高寒草甸全氮含量的升高,恢复时间越长效果越明显。

磷是植物生长必需的大量元素之一。ZS 土壤全磷的含量稍微低于 CK 的全磷含量(表 3),其他 3 个样地随着种植垂穗披碱草时间的延长,全磷的含量显著高于 CK($P<0.05$),到 CQ 全磷的含量达到了最高值。说明植被恢复措施不仅提高了“黑土滩”全磷的含量,并且随着植被恢复时间的延长,全磷的含量不断升高。试验表明,在同一样地不同土层,都表现为上层和中层的全磷含量显著大于下层的内容。有研究认为土壤全磷是土壤较为稳定的一类指标,它的含量主要取决于土壤的类型及质地,但其含量也与土壤有机磷的净矿化作用、土壤磷素的微生物和非生物固定有关^[17]。

不同样地间全钾的含量变化不同(表 4),ZS 含量最高,随着种植年限的增加,全钾含量稍有下降趋势。同一样地土壤剖面中的全钾分布均匀,不同土层间变化不大,除了 CS 外,其他 4 个样地之间没有表现出显著的土体层次性差异。说明人工种植垂穗披碱草造成了全钾含量的降低,这可能是人工草地植被生长茂密,对营养物质的需求大,从而导致了土壤全钾含量的降低。

表 3 管理措施对全磷含量的影响

Table 3 Changes of soil total P under different managerial measures

土层 Layer	CK	ZS	CY	CS	CQ	%
0~10 cm	0.0680 ±0.012 bA	0.0663 ±0.030 bA	0.0745 ±0.050 aA	0.0774 ±0.080 aA	0.0771 ±0.040 aA	
10~20 cm	0.0700 ±0.006 bA	0.0670 ±0.020 cA	0.0729 ±0.020 abA	0.0705 ±0.020 bB	0.0748 ±0.030 aAB	
20~30 cm	0.0630 ±0.030 aB	0.0486 ±0.013 bB	0.0655 ±0.020 aB	0.0673 ±0.035 aB	0.0678 ±0.060 aB	

表 4 管理措施对全钾含量的影响

Table 4 Changes of soil total K under different managerial measures

土层 Layer	CK	ZS	CY	CS	CQ	%
0~10 cm	2.087 ±0.08 bA	2.266 ±0.07 aA	1.885 ±0.04 cA	2.058 ±0.01 bA	1.613 ±0.13 dA	
10~20 cm	2.162 ±0.05 aA	2.238 ±0.10 aA	1.936 ±0.08 bA	1.920 ±0.09 bB	1.883 ±0.11 bA	
20~30 cm	2.056 ±0.05 abA	2.249 ±0.09 aA	1.747 ±0.03 bA	1.747 ±0.07 bC	1.947 ±0.37 abA	

2.1.3 土壤速效养分含量变化 土壤速效氮是指能够被植物直接吸收利用的氮,速效氮通常是限制植物生长的基本要素^[18,19]。采取恢复管理措施后,0~10 和 10~20 cm 土层的速效氮含量一直呈下降趋势,到 CS 阶段降到最低(表 5)。种植 7 年(CQ)后,这 2 层土速效氮的含量上升到接近“黑土滩”的含量。20~30 cm 土层速效氮的含量一直呈上升趋势,到种植 7 年后达到最高值,明显高于 0~20 cm 土层的含氮量。可见,短期内的施肥和单播导致了上层土(0~20 cm)速效氮含量的降低,但经过长期(CQ)的恢复,能使速效氮的含量得到恢复,尤其对于

表 5 管理措施对速效氮含量的影响

Table 5 Changes of available N under different managerial measures

mg/ kg

土层 Layer	CK	ZS	CY	CS	CQ
0 ~ 10 cm	36.033 ±0.46 aA	27.660 ±1.03 cA	21.387 ±0.65 dA	18.441 ±0.14 eB	33.410 ±0.12 bB
10 ~ 20 cm	27.332 ±1.01 bB	20.928 ±0.39 cB	21.176 ±0.57 cA	16.687 ±0.23 dC	30.370 ±0.87 aC
20 ~ 30 cm	20.466 ±0.83 cC	20.566 ±0.46 cB	21.106 ±0.88 cA	25.110 ±0.13 bA	40.110 ±1.20 aA

底层土的效果最明显。

施肥处理对于速效磷的含量影响不明显(表 6),而单播显著的提高了土壤中速效磷的含量,特别是 CY 含量最高,这可能与采取人工种植恢复措施的翻耕土壤有关,翻耕改善了土壤的通气状况,使有机磷分解加快,为土壤提供了大量的有机磷。随着植被恢复时间的延长,其含量逐渐降低,但是仍显著高于“黑土滩”的含量。可见除了施肥之外,人工恢复措施都能显著提高“黑土滩”速效磷的含量,特别对表层土的影响最大。土壤中大部分磷是有机态的,很难被植物利用,鲍新奎等^[20]对高寒草甸的研究发现,高山土壤全磷含量较高,而有效磷含量较低是限制植物生长的主要因素之一。所以,速效磷含量的增加对于植物的生长具有十分重要的意义。

表 6 管理措施对速效磷含量的影响

Table 6 Changes of available P under different managerial measures

mg/ kg

土层 Layer	CK	ZS	CY	CS	CQ
0 ~ 10 cm	3.267 ±0.06 dA	3.393 ±0.05 dA	18.862 ±0.71 aA	11.876 ±0.06 bA	7.977 ±0.18 cA
10 ~ 20 cm	2.081 ±0.03 cB	1.736 ±0.08 dB	5.970 ±0.05 aB	3.450 ±0.13 bB	3.490 ±0.18 bC
20 ~ 30 cm	1.380 ±0.04 dC	1.140 ±0.06 eC	2.495 ±0.04 cC	2.993 ±0.12 bC	4.037 ±0.26 aB

CQ 各土层速效钾的含量都显著增高,高于其他样地(表 7),表层土速效钾的含量比对照高出 43.6%;中层土的速效钾含量变化大,呈现降 - 升 - 降 - 升的变化趋势,CY 样地的含量最高,7 年后(CQ)速效钾的含量明显高于 CK 的含量。说明短期的上述植被恢复措施对于三江源区典型退化草地土壤速效钾的含量影响不大,长期的恢复措施可以促进其速效钾含量的升高。而中层土速效钾含量的异常变化有待进一步的研究。

表 7 管理措施对速效钾含量的影响

Table 7 Changes of available K under different managerial measures

mg/ kg

土层 Layer	CK	ZS	CY	CS	CQ
0 ~ 10 cm	193.24 ±1.86 bA	187.59 ±0.45 cA	179.70 ±0.57 dB	188.25 ±3.74 cA	277.03 ±1.67 aA
10 ~ 20 cm	133.82 ±3.37 cB	90.82 ±0.16 eC	247.34 ±0.54 aA	109.74 ±0.39 dB	154.31 ±2.87 bB
20 ~ 30 cm	103.62 ±0.91 bC	93.04 ±1.74 cB	102.74 ±2.43 bC	91.65 ±1.35 cC	126.17 ±1.66 aC

2.2 不同样地土壤酶活性变化

土壤脲酶和蔗糖酶的活性变化差别较大。在三江源区典型退化草地采取不同的植被恢复措施后,除了 CS 的脲酶活性略微低于 CK 外,其他措施都促进了土壤脲酶活性的提高(表 8)。其中 CY 样地酶的活性最高,方差分析显示,酶活性显著高于其他样地,4 年(CS)的土壤酶活性稍微低于 CK 的活性,7 年之后(CQ)其酶活性普遍有所提高。试验表明,当年施肥(ZS)促进了表层土壤酶活性的微量增加,这说明植被恢复措施有助于土壤脲酶活性的提高。同时,脲酶的活性在 CK 和 CS 的样地没有表现出显著的土体层次性差异,其他 3 个样地表层和下层土壤脲酶活性出现显著性差异。

CY 样地蔗糖酶活性显著低于其他样地,其他样地之间差异不大(表 9);同一样地不同土层之间,蔗糖酶活性的变化没有表现出随土层加深其活性降低或增加的趋势。周瑞莲等^[21]研究认为蔗糖酶是源于植物根、微生物的胞外酶,它在土壤中很少受土壤微生物增殖的影响,并以稳定的形式存在。

表 8 管理措施对脲酶活性的影响

Table 8 Effects of managerial measures on changes of soil Urease activity mg/ (g · 3h)

土层 Layer	CK	ZS	CY	CS	CQ
0~10 cm	1.318 6 ±0.040 Abc	1.736 0 ±0.209 Abc	4.871 4 ±0.540 Aa	1.067 2 ±0.030 Ac	2.049 8 ±0.210 Ab
10~20 cm	1.347 8 ±0.063 Ab	1.205 2 ±0.039 ABb	5.145 6 ±0.336 Aa	1.046 0 ±0.040 Ab	1.541 0 ±0.203 ABb
20~30 cm	1.104 0 ±0.075 Ab	0.877 7 ±0.040 Bb	3.286 2 ±0.570 Ba	1.251 2 ±0.350 Ab	1.129 8 ±0.090 Bb

表 9 管理措施对蔗糖酶活性的影响

Table 9 Effects of managerial measures on changes of soil Urease activity mg/ (g · 3h)

土层 Layer	CK	ZS	CY	CS	CQ
0~10 cm	0.224 1 ±0.03 aA	0.195 1 ±0.08 Aab	0.178 3 ±0.04 Ab	0.229 3 ±0.02 aA	0.205 9 ±0.02 aA
10~20 cm	0.220 1 ±0.01 aA	0.186 7 ±0.04 Aab	0.180 3 ±0.01 Ab	0.213 8 ±0.02 Aab	0.192 6 ±0.03 Aab
20~30 cm	0.221 9 ±0.02 aA	0.185 3 ±0.07 Aabc	0.177 3 ±0.03 Abc	0.155 5 ±0.09 Bc	0.201 3 ±0.05 Aab

2.3 土壤酶活性与土壤养分的相关关系

三江源区典型退化草地采取植被恢复措施后,通过对土壤肥力因子和酶活性进行相关性分析可知,土壤脲酶和蔗糖酶的活性与全价养分呈负相关,而与速效氮、速效磷和速效钾呈较强的正相关,特别是土壤脲酶和蔗糖酶的活性与速效钾呈显著相关($P < 0.05$) (表 10)。

3 讨论

3.1 管理措施对土壤养分的影响

土壤中的养分是植物生长的物质基础。对于重度退化的“黑土滩”采取人工恢复管理措施后,有机质含量和全氮、全磷的含量随着植被恢复时间的延长,都得到了提高,土壤全钾的含量稍微有些降低,说明植被恢复对于土

表 10 管理与恢复措施下土壤酶活性与土壤养分的相关关系

Table 10 Relationship of soil enzymic activity and soil fertility under managerial measures and restoration

项目 Item	速效氮 Available N	全氮 Total N	速效磷 Available P	全磷 Total P	速效钾 Available K	全钾 Total K	有机质 Organic matter
脲酶 Urase	0.490 4	- 0.101 4	0.762 7	0.505 8	0.977 6 *	- 0.611 3	- 0.151 8
蔗糖酶 Sucrase	0.447 1	- 0.117 3	0.759 4	0.470 7	0.958 1 *	- 0.588 0	- 0.190 2
有机质 Organic matter	- 0.451 4	0.955 1 *	0.449 5	0.775 8	0.009 2	- 0.678 7	1.000 0
全钾 Total K	0.100 2	- 0.718 3	- 0.952 1 *	- 0.983 6 *	- 0.704 2	1.000 0	
速效钾 Available K	0.526 4	0.012 3	0.795 4	0.630 8	1.000 0		
全磷 Total P	- 0.087 8	0.771 3	0.881 7	1.000 0			
速效磷 Available P	- 0.080 8	0.554 9	1.000 0				
全氮 Total N	- 0.642 0	1.000 0					
速效氮 Available N	1.000 0						

* : $P < 0.05$ 。

壤营养成分的提高具有重要的意义。从短期内的施肥和恢复措施效果看出,土壤中速效氮的含量有所下降,这可能与植被生长恢复初期过程中需要大量速效氮等养分有关,另外由于采样时是9月份,处于植物的枯黄期,所以经过一个生长季节的吸收利用,导致了植被恢复样地土壤速效氮的含量低于“黑土滩”土壤的含量。而人工种植7年后的样地,其速效氮的含量则远高于其他样地,说明三江源区典型退化草地经过多年人工种植植被恢复措施之后,已经改变了土壤的生境,微生物的类群得到恢复和发展,而异养微生物对有机质的矿化是产生植物有效性氮的基本机制^[22],所以使速效氮的含量得到了提高。

3.2 管理措施对土壤酶活性的影响

本研究表明,脲酶的活性在不同样地之间差别较大,并且上下层的活性相差明显;而蔗糖酶的活性不同样地之间差别不大(只有当年种植垂穗披碱草的土壤酶活性相对较小),并且基本上没有表现出显著的土体层次性差异,这可能与不同酶的性质有关。何跃军等^[4]对石灰岩退化生态系统不同恢复阶段土壤酶活性的研究结果也发现:石灰岩退化生态系统的过氧化氢酶、碱性磷酸酶和蛋白酶的活性在土壤剖面上无明显的递减规律。杨万勤等^[23]对群落演替过程中土壤酶活性的变化和分布特征及植物多样性对土壤酶活性影响的研究发现,土壤酶活性的变化规律不仅与群落的演替有关,而且与植物的种类组成和植物多样性有关。对退化生态系统的研究还发现,土壤酶活性的高低不仅与土壤生态系统的退化有关,而且与土壤类型、植被特征、土壤微生物和土壤动物类群、数量和多样性、土壤水分、温度、容重、pH值等以及酶类本身的性质有关^[4]。三江源区高寒草甸是迥异于其他生态系统的一类特殊的生态系统,出现这种现象是不是本身的特性有待于在以后的实验中作进一步的验证。

3.3 土壤酶活性与土壤养分的相关性分析

研究表明,蔗糖酶和脲酶的活性与土壤有机质及全价养分的含量相关性不大。对农田^[24]、森林^[4,25]、湿地^[26]、草原^[10,27]等的研究发现脲酶和蔗糖酶的活性与有机质及全价养分等呈显著相关,与本研究结果有所不同。这可能与三江源区高寒草甸本身的特点有关,三江源区草甸类型为高寒嵩草草甸,土层中根系多,形成厚厚的草毡层,导致有机质的含量较高。由于高寒低温等极端环境胁迫的影响,矿化速度慢,成土过程中的生物及化学作用弱,生物积累作用明显,微生物的分解活动弱,使植物生长所需要的速效养分的含量低,满足不了植物的生长需要,成为高寒草甸植物生长的限制因素^[19,28]。而这2种土壤酶活性与速效磷和速效钾呈现出比较强的正相关,这可能与高寒草甸土壤中速效养分的缺乏有关。

4 结论

4.1 对三江源区典型退化草地即“黑土滩”采取施肥及单播恢复措施,短期内对于土壤有机质及全价养分含量的影响不大。长期的恢复措施能使有机质、全氮和全磷的含量缓慢增加,全钾的含量降低。

4.2 当年施肥的“黑土滩”速效氮含量下降,对速效磷和速效钾的含量没有明显影响;种植垂穗披碱草使速效磷和速效钾的含量增加,速效氮的含量在短期内降低,而长期含量增加。

4.3 植被恢复措施有助于提高土壤脲酶的活性;蔗糖酶活性变化无明显的规律性,在同一样地中也没有表现出随土层加深酶活性降低的趋势。

4.4 土壤脲酶和蔗糖酶的活性与速效养分含量的变化表现出比较强的正相关,而与有机质和全价养分含量变化无明显的相关性。

参考文献:

- [1] 朱伟兴. 恢复及演替过程中的土壤生态学考虑[J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 479-486.
- [2] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [3] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1990.
- [4] 何跃军, 钟章成, 刘济明, 等. 石灰岩退化生态系统不同恢复阶段土壤酶活性研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1077-1081.

- [5] 安韶山,黄懿梅,李壁成,等. 云雾山自然保护区不同植物群落土壤酶活性特征研究[J]. 水土保持通报, 2004, 24(6): 14-17.
- [6] Roldan A, Salinas-Garcia J R, Alguaci M M, *et al.* Changes in soil enzyme activity, fertility, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field[J]. Applied Soil Ecology, 2005, 30: 11-20.
- [7] Deng S P, Tabatai M A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils : Glycosidases[J]. Biol. Fert. Soils, 1996, 22: 208-213.
- [8] Criquet S, Farnet A M, Tagger S, *et al.* Annual variations of phenoloxidase activities in an evergreen oak litter: Influence of certain biotic and abiotic factors[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32: 1505-1513.
- [9] 田应兵,熊明彪,宋光煜. 若而盖高原湿地生态恢复过程中土壤有机质的变化研究[J]. 湿地科学, 2004, 2(2): 88-93.
- [10] 郭继勋,姜世成,林海俊,等. 不同草原植被碱化草甸土的酶活性[J]. 应用生态学报, 1997, 8(4): 412-416.
- [11] Ajwa H A, Dell C J, Rice C W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31: 769-777.
- [12] 周华坤,赵新全,周立,等. 青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化特征研究[J]. 草业学报, 2005, 14(3): 31-40.
- [13] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社, 1999.
- [14] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京:科学出版社, 1987.
- [15] [苏] 哈兹耶夫. 土壤酶活性[M]. 郑洪元,周礼恺,张德生译. 北京:科学出版社, 1980.
- [16] 王长庭,龙瑞军,王启基,等. 高寒草甸不同海拔梯度土壤有机质氮磷的分布和生产力变化及其与环境因子的关系[J]. 草业学报, 2005, 14(4): 15-20.
- [17] 董全民,赵新全,李青云,等. 小嵩草高寒草甸的土壤养分因子及水分含量对牦牛放牧率的响应. 冬季草场土壤营养因子及水分含量的变化[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 493-500.
- [18] van Wijnen H J, van der Wal R, Bakker J P. The impact of herbivores on nitrogen mineralization rate: Consequences for salt-marsh succession[J]. Oecologia, 1999, 118: 225-231.
- [19] 张金霞,曹广民. 高寒草甸生态系统氮素循环[J]. 生态学报, 1999, 14(9): 509-512.
- [20] 鲍新奎,赵宝莲,曹广民. 高山土壤有机磷的净矿化作用[J]. 高寒草甸生态系统, 1991, (3): 227-236.
- [21] 周瑞莲,张普金,徐长林. 高寒山区火烧土壤对其养分含量和酶活性的影响及灰色关联分析[J]. 土壤学报, 1997, 34(1): 89-96.
- [22] Williams M A, Rice C W, Owensby C E. Nitrogen competition in a tallgrass ecosystem exposed to elevated carbon dioxide [J]. Soil Science of American Journal, 2001, 65: 340-346.
- [23] 杨万勤,钟章成,陶建平,等. 缙云山森林土壤酶活性与植物多样性的关系[J]. 林业科学, 2001, 37(4): 124-128.
- [24] 刘广深,徐冬梅,许中坚,等. 用通径分析法研究土壤水解酶活性与土壤性质的关系[J]. 土壤学报, 2003, 40(5): 756-762.
- [25] 胡斌,段昌群,王震洪,等. 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): 604-608.
- [26] 陆梅,田昆,陈玉惠,等. 高原湿地纳帕海退化土壤养分与酶活性研究[J]. 西南林学院学报, 2004, 24(1): 34-37.
- [27] 朱丽,郭继勋,鲁萍,等. 松嫩羊草草甸羊草、碱茅群落土壤酶活性比较研究[J]. 草业学报, 2002, 11(4): 28-34.
- [28] 曹广民,张金霞,鲍新奎,等. 高寒草甸生态系统磷素循环[J]. 生态学报, 1999, 14(9): 514-518.

**Effect of managerial measures on changes of soil enzyme and soil fertility
in "black soil bleach" degraded grassland**

HAN Fa¹ , LI Yi-kang^{1,2} , ZHOU Hua-kun¹ , WU Bing^{1,2} , WANG Xue-ying^{1,2} ,
RAN Fei^{1,2} , BAO Su-ke^{1,2}

- (1. Northwest Plateau Institute of Biology , Chinese Academy of Science , Xi 'ning 810008 ,China ;
2. Graduated Student of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100039 , China)

Abstract : The effect of managerial measures on changes of soil enzyme and soil fertility in "black soil bleach" degraded grassland showed that total N and P were closely related to soil organic matter. The variances in different soils and soil layers were nearly the same :the short term vegetation restoration caused a reduction in the soil organic matter and total N and P of the 20 - 30 cm layer while long term vegetation restoration caused the contents of the three nutrients to slowly increase although total K significantly ($P < 0.05$) decreased. The available N decreased at first then increased with time and the contents of available P and K also increased. Vegetation restoration promoted the activity of urease but the activity of sucrase was irregular. The activities of soil urease and sucrase had little correlation with soil organic matter and total N , P , and K , but had a strong positive correlation with available nutrient. This may be the reason alpine meadows lack available nutrients.

Key words : vegetation restoration ; "black soil bleach" degraded grassland ; soil fertility ; soil enzyme

www.cnki.net