

微生物菌肥对高寒草甸土壤养分的影响

林 丽^{1,2}, 张德罡¹, 曹广民², 欧阳经政², 刘淑丽²,
张法伟², 李以康², 郭小伟²

(1. 甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008)

摘要:采用纤维素分解菌肥、联合固氮菌肥、EM 混合菌肥 3 种微生物菌肥配以水分添加和划破草皮等方法对退化高寒小嵩草草甸进行土壤养分改良,以土壤中速效养分含量及 pH 变化评价改良状况。结果表明,退化高寒小嵩草草甸土壤中添加微生物菌肥+划破草皮处理与对照相比,没有明显改变 0~20 cm 土层速效磷含量、速效钾含量和 pH 剖面分布特征;不同微生物菌肥+划破草皮处理明显改变土壤中速效氮含量的分布特征,其中,EM 处理明显提高土壤表层硝态氮含量,CD 处理明显提高土壤中表层氨态氮含量,CD 和 EM 处理可以显著提高土壤表层速效氮(硝态氮+氨态氮)含量,但单纯划破草皮 G 处理只能改变不同形式的速效氮在土壤垂直剖面中的分布格局,没有明显提高土壤中速效养分含量。因此,采用 EM 和 CD 处理均可以改善土壤中速效氮缺乏的现状,但作用微弱,可能同选用的微生物菌肥在青藏高原高寒恶劣气候条件下活性变弱有关。筛选或分离适应高寒草甸生态系统生存的微生物菌肥再配以适宜的施用方法可改善退化草地土壤养分状况。

关键词:退化草地改良;草毡表层破解;土壤速效养分;微生物菌肥

中图分类号:S 812;S 144 文献标识码:A 文章编号:1009-5500(2015)04-0012-05

DOI:10.13817/j.cnki.cyyep.2015.04.003

微生物肥料是经过特殊工艺制成的含有活菌并作用于植物或土壤的生物制剂或活菌制剂的生物性肥料,其优点是无毒害、无污染^[1-3]、具有增加土壤肥力、增强植物对养分的吸收、提高植物的抗病能力等多种功能^[4],因此,在可持续发展农业生产中具有重要作用。由于微生物菌肥主要是由活菌组成,其对植物—土壤系统的改善能力受到包括土壤物理化学性质(土壤 pH、有机质成分、土壤质地、无机养料含量及比例等)^[5-8]、植物组成结构及生长特性(植物物候期,微生

物作用的底物形态、养分含量和比例等)^[9-10]、环境特征(温度、湿度、光照强度及波长)^[11-12]、微生物菌肥自身特点(活性组分、环境适应性)、人为干扰强度和管理措施等^[13-14]多种因素的影响。高寒草甸在世界广泛分布,北至北欧、北美洲的苔原带,南至南极洲诸岛,在亚洲主要分布在青藏高原地区,是由青藏高原隆起而形成的特殊地理气候造就,以寒冷湿中生莎草科植物为优势种。受到环境变迁和人类活动的影响,高寒草甸已经发生不同程度的退化,严重威胁了当地牧民的生产生活以及周边地区的生态安全^[15]。高寒草甸的退化,是土壤和植物的协同退化,对退化草地的治理既是植被的恢复也是土壤的恢复^[16],而土壤的恢复则是评价治理成效是否具有可持续性的基础。目前,对天然草地土壤养分改良的主要措施是施肥。天然草地生态系统植物群落组成结构复杂,既使量土施肥,也容易造成植物群落、土壤结构的改变,不利于青藏高原生态系统的可持续发展,甚至造成生态环境不可逆转的恶化。因此,对青藏高原高寒草甸退化生态系统土壤养分的改善的研究开始着眼于应用微生物菌肥,以尽量

收稿日期:2015-01-12; 修回日期:2015-03-16

基金项目:青海省 2013 基本科技计划项目(2013-N-540);
国家自然科学基金面上项目(31270576);国家
公益性行业(农业)科研专项(210203006);国家
牧草产业技术体系岗位科学家基金项目
(CAR35)资助

作者简介:林丽(1980-),女,辽宁抚顺人,工程师,博士生。

E-mail:hanxiao_2000_00@126.com

张德罡为通讯作者。

降低施用方法不当而带来巨大的负面影响。

以退化高寒小嵩草草甸为研究对象,施用不同微生物菌肥,探讨微生物菌肥对退化高寒小嵩草草甸土壤养分的改良作用。

1 材料和方法

1.1 研究区域

于 2005 年在中国科学院海北高寒草甸生态系统开放试验站进行。试验站位于青藏高原东北隅的祁连山南坡谷地, N 37°29′~37°45′, E 101°12′~101°23′, 海拔 2 900~3 500 m, 属高原大陆性气候, 无明显四季之分, 仅有冷暖二季, 暖季短暂而凉爽, 冷季寒冷而漫长。年平均气温 -1.7 °C, 年降水量约 426~860 mm, 80% 的降水集中于生长季 5~9 月, 蒸发量 1 160.3

mm, 无绝对无霜期。土壤类型为高山草甸土, 土壤有机质及全量养分丰富而速效养分贫乏。植被类型为青藏高原典型的地带性植被, 植物群落结构简单, 生长期短, 生产力较低^[17]。

1.2 施肥方法

试验采用的处理分别为 G 划破草皮、W 划破草皮+水、EM 划破草皮+水+混合菌肥、FN 划破草皮+水+联合固氮菌肥、CD 划破草皮+水+纤维素分解菌, 以自由放牧草地为对照。纤维素分解菌和联合固氮菌购于北京华夏康源科技有限公司金宝贝 I 型发酵剂和金宝贝颗粒菌肥; 混合菌肥购于康源绿洲公司 EM-1 号。2013 年 6 月采用随机区组设计, 3 个重复, 小区面积为 4 m², 草毡表层划破的深度为 5 cm。2013 年 7 月初和 7 月中旬施肥, 共 2 次(表 1)。

表 1 草地施肥处理

Table 1 Treatment of fertilizer on alpine meadow

代号	处理	施肥量
CK	对照	水分添加量=0, 施肥量=0
G	划破草皮	水分添加量=0, 施肥量=0
W	划破草皮+水	水分添加量=1 L/m ²
EM	划破草皮+水+EM 菌肥	水分添加量=1 L/m ² , 施肥量=15 mL/m ²
CD	划破草皮+水+纤维素分解菌肥	水分添加量=1 L/m ² , 施肥量=1.5 g/m ²
FN	划破草皮+水+联合固氮菌肥	水分添加量=1 L/m ² , 施肥量=1.5 g/m ²

1.3 采样方法及测定

2013 年 9 月 1~4 日对不同处理条件下的小区土壤进行分层采样, 采样深度为 0~5, 5~10 和 10~20 cm, 样点按照“S”型取样, 每 5 钻合为 1 钻, 每小区 3 次重复。土样采集后过 2 mm 土壤分析筛, 4 °C 冰箱保存备用。

硝态氮(氯化钾浸提-酚二磺酸比色法)、氨态氮(氯化钾浸提-靛酚兰比色法)、速效磷(碳酸氢钠浸提-分光光度法)、速效钾(醋酸铵浸提-分光光度法)、pH(水土比 2.5:1), 参照文献[18]的方法进行测定。

2 结果与分析

2.1 不同试验处理对土壤速效磷、速效钾含量和 pH 值的影响

土壤养分含量垂直分布特征表明, 土壤速效磷和速效钾含量均随着土层的加深而逐渐减少, 最高值出现在 0~5 cm(9.5~15.5 mg/kg), 最低值出现在 10~20 cm(5.0~8.9 mg/kg), 划破草皮、施用微生物菌肥

和水分添加处理都没有明显改变草地土壤中速效磷和速效钾含量的垂直分布特征。从试验各处理水平看, 划破草皮、添加水分和微生物菌肥等处理对相同土壤层次速效磷和速效钾含量没有显著的增加作用($P > 0.05$)。

土壤 pH 垂直分布特征为 pH 自表层向下逐渐增高, 最低值出现在表层 0~5 cm(7.6~8.2), 最高值出现在 10~20 cm(8.5~8.6), 划破草皮、添加微生物菌肥和添加水分等处理没有改变土壤中 pH 值的垂直分布规律(图 1)。试验各处理, 以微生物菌肥添加处理显著改变了土壤 pH。0~5 cm 土层 CD 处理 pH 最低, 显著低于 G, W 和 CK 处理($P < 0.05$), 但同 EM 和 NF 处理差异不显著($P > 0.05$); 5~10 cm 土层 CD 处理 pH 最低, 显著低于其他所有处理($P < 0.05$), 而 CK, W, G, EM, NF 处理之间差异不显著($P > 0.05$)。10~20 cm pH 在处理之间差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 不同处理对土壤硝态氮和氨态氮含量的影响

划破草皮、微生物菌肥添加和水分添加试验明显

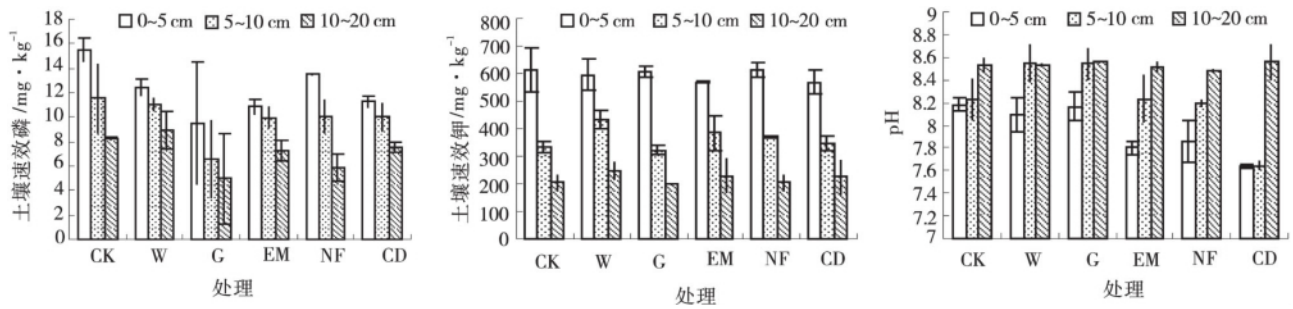


图1 不同处理下退化高寒小嵩草甸土壤速效钾、速效磷含量及 pH

Fig. 1 variability of available phosphorus, available potassium and pH value in meadow soil under different treatments

改变了土壤中硝态氮含量。0~5 cm 土层中硝态氮含量最高值出现在 EM 处理,显著高于其他处理和空白 ($P < 0.05$);最低值出现 CK,其含量同 NF 和 CD 处理差异不显著 ($P > 0.05$),但显著低于 W, G 和 EM 处理 ($P < 0.05$)。5~10 cm 土层硝态氮含量在各处理之间差异不显著 ($P > 0.05$)。10~20 cm 土层硝态氮含量最高出现在 G 处理,显著高于 NF 和 CD 处理 ($P < 0.05$),但同其他处理差异不显著(图 2)。

划破草皮、微生物菌肥添加和水分添加试验明显改变了土壤中氨态氮含量。0~5 cm 土层氨态氮含量最高值出现在 CD 处理,其含量显著高于 NF 和 G 处理 ($P < 0.05$),同其他处理之间差异不显著 ($P > 0.05$)。5~10 cm 土层氨态氮含量最高值出现在 W 处理,显著高于 CK 和 NF 处理 ($P < 0.05$),但同其他处理之间差异不显著 ($P > 0.05$);最低值出现在 NF 处理,显著低于 W, G 和 CD 处理 ($P < 0.05$)。10~20

cm 土层氨态氮含量最高值出现在 CK 处理,显著高于 NF 处理 ($P < 0.05$),同其他处理之间差异不显著 ($P > 0.05$);最低值出现在 NF 处理,它显著低于 CK 处理 ($P < 0.05$),但同其他处理差异不显著 ($P > 0.05$) (图 2)。

划破草皮、微生物菌肥添加和水分添加明显改变了土壤中速效氮(氨态氮和硝态氮之和)含量特征。0~5 cm 土层速效氮含量最大值出现在 EM 处理,显著高于 NF 处理 ($P < 0.05$),与其他处理差异不显著;最低值出现在 NF 处理 ($P > 0.05$),其含量显著低于 EM 处理 ($P < 0.05$),与其他处理差异不显著 ($P > 0.05$)。5~10 cm 土层速效氮含量最大值出现在 G 处理, G 处理与 W 处理差异不显著 ($P > 0.05$),显著高于 NF 处理 ($P < 0.05$);速效氮含量最低值出现在 NF 处理。10~20 cm 土层各处理速效氮含量之间差异不显著 ($P > 0.05$) (图 2)。

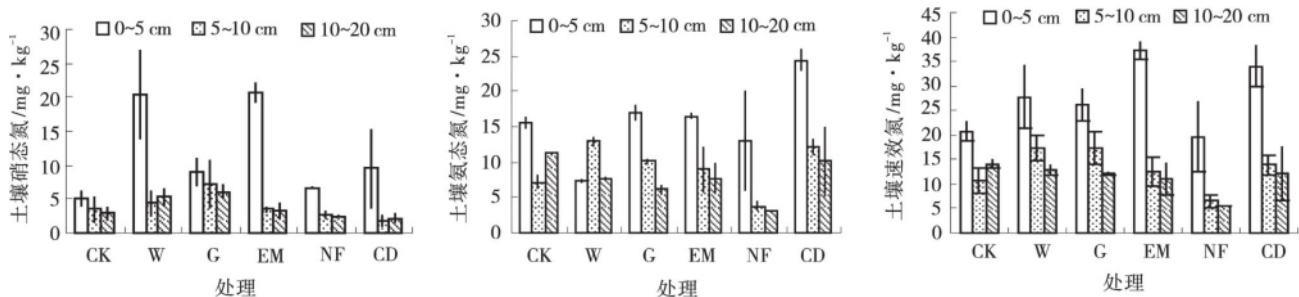


图2 不同处理下土壤速效氮含量

Fig. 2 variability of available nitrogen in meadow soil under different treatments

3 讨论

高寒草甸生态系统地理环境特殊、气候条件恶劣、植物群落多以短根茎莎草科植物为优势种,土壤中形成了一定程度的厌氧环境,造就了高寒草甸生态系统的特殊结构——草毡表层,它是由不同年龄的活根和保持原状的死根交织盘结而成草毡状复合体,是高寒

高草甸独有的诊断层,是土壤有机物质大量积存的植毡层和高寒草地植物根系的集结层次,由于该层次根系量约占土壤剖面植物根系总量的 65%,土壤有机质含量高达 10%,是土壤中缓效营养库的重要分布区^[19,20]。一定厚度的草毡表层可以抵抗一定强度的放牧压力^[21]、固持一定量的土壤养分,对高寒草甸生态系统意义重大。而过厚的草毡表层则将加剧草地的

厌氧环境,增加植物—土壤养分之间的供求失衡,严重阻碍植物的生长,加速草地的退化^[22]。微生物菌肥的添加对其增加土壤中有益微生物含量,增加土壤中速效养分含量,促进植物生长,加速植被恢复具有一定的促进作用^[23]。

试验选用的微生物菌肥有 3 种,分别为以纤维素分解菌为主的发酵菌肥、以固氮菌为主的固氮菌肥以及以纤维素分解菌、光合细菌等多种菌种复合而成的 EM 混合菌肥。研究发现,不同种类的微生物菌肥对土壤不同速效养分的影响不同。首先微生物菌肥的使用并没有改变速效养分在土壤剖面中的垂直分布规律,与植物生长密切相关的土壤速效磷、速效钾、硝态氮和氨态氮含量仍然表现为自表层向下逐渐降低,pH 逐渐升高。使用草毡表层破解方法+微生物菌肥也没有明显改变土壤中速效磷和速效钾的含量。对土壤速效养分的改变主要表现在速效氮上,首先划破草皮+微生物菌肥(混合菌)能够明显提高表层土壤中硝态氮的含量,而单纯划破草皮能够明显提高底层土壤硝态氮的含量,这可能是因为硝态氮是带负电荷的无机氮,在土壤中的流动性高于氨态氮,当以水为媒介配以划破草皮处理,可以增加土壤中较深土层的速效氮含量水平。混合菌在提高土壤中氮素含量中表现较为突出的原因是,混合菌肥微生物成分多种,其中的有一部分分解草毡表层中大量聚集的死亡根系,使得缓效养分库(有机质)产生一部分氮素被根系截留在土壤表层,而一部分被冲刷到了较低的土壤层次。纤维素分解菌加入土壤中对有效提高表层土壤 NH_4^+ 的含量具有重要意义,纤维素分解菌可以利用土壤中大量死亡根系作为碳源,加速土壤中死亡根系的腐解过程,同时产生大量的速效养分,其中氨态氮是易被带负电荷的土壤胶体而固定的速效氮,因此,纤维素分解菌的使用,在某种程度上可以改善表层土壤中的速效氮素含量^[24]。对于土壤中无机氮总体含量而言,EM 菌肥和纤维素分解菌肥在划破草皮条件下可以明显提高土壤中速效氮含量,尤其是在表层土壤中。

不同微生物菌肥由于对土壤养分改善的机制不同,导致其对土壤速效养分含量的改变程度的作用层次有所不同。微生物对土壤中全量养分的分解一部分可以被截留在表层土壤,而另一部分可以同水分运移转移到更深层次的土壤中。试验选取的微生物菌肥,EM 菌肥和纤维素分解对高寒草甸提高草毡表层土壤

速效养分尤其是速效氮含量的提高具有积极作用。但这种作用比较微弱,主要原因是目前市场中常用的微生物菌肥一般应用于农田生态系统,其定植环境优越于高寒草地生态系统,而高寒草甸生态系统的低温和高紫外线在一定程度上限制了微生物菌肥活性和改善土壤养分状况的能力,因此,分离适应高寒草甸这种较为恶劣环境的微生物菌株成为利用微生物菌肥改良高寒草甸生态系统土壤养分含量和结构的首要前提。

参考文献:

- [1] 梁如玉,傅淡如,李登煜. 水稻施用几种菌肥的根际效应和增产效果[J]. 土壤肥料,1994(3):31-33.
- [2] 朱永光,杨柳,张火云,等. 微生物菌剂的研究与开发现状[J]. 四川环境,2004,23(3):5-8.
- [3] 吴建峰,林先贵. 我国微生物肥料研究现状及发展趋势[J]. 土壤,2002(2):68-72.
- [4] 杨玉新,王纯立,谢志刚,等. 微生物肥对土壤微生物种群数量的影响[J]. 新疆农业科学,2008,45(1):169-171.
- [5] Vassilis Z, Anotnopoulos. Comparison of different models to simulate soil temperature and moisture effect on nitrogen mineralization in the soil[J]. J Plant Nutr and Soil Sci, 1999,162:667-675.
- [6] Stevenson F J, Cole M A. Cycles of soil: carbon nitrogen phosphorus sulfur micronutrients[M]. New York: John Wiley,1999:1-178.
- [7] 李菊梅,王朝辉,李生秀. 有机质、全氮和可矿化氮在反映土壤供氮能力方面的意义[J]. 土壤学报,2003,40(2):232-239.
- [8] 黄耀,刘世梁,沈其荣,等. 环境因子对土壤有机碳分解的影响[J]. 应用生态学报,2002,13(6):709-714.
- [9] Susan B. Cellulose degradation in anaerobic environments[J]. Annu Rev Microbiol,1995,49:399-426.
- [10] 周才平,欧阳华. 温度和湿度对暖温带落叶阔叶林土壤氮矿化的影响[J]. 植物生态学报,2001,25(2):204-209.
- [11] 巨晓棠,李生秀. 土壤氮素矿化的温度水分效应[J]. 植物营养和肥料学报,1998,4(1):37-42.
- [12] 王岩,沈其荣,史瑞和,等. 有机无机肥料施用后土壤生物量 C、N、P 的变化及氮素转化[J]. 土壤学报,1998,35(2):227-234.
- [13] Kirchner M J, Wollum A G, King L D. Soil microbial populations and activities input agroecosystems[J]. Soil Science Society of America Journal,1993,57(5):29-295.
- [14] Agren G I, Bosatta E. Theoretical analysis of the long-

- term dynamics of carbon and nitrogen in soil[J]. *Ecology*, 1987, 68: 1181–1189.
- [15] 林丽, 曹广民, 李以康, 等. 人类活动对青藏高原高寒矮嵩草草甸碳过程的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(15): 4012–4018.
- [16] 杨青, 何贵永, 孙浩智, 等. 青藏高原高寒草甸土壤理化性质及微生物量对放牧强度的响应[J]. *甘肃农业大学学报*, 2013, 48(4): 76–81.
- [17] 王启兰, 曹广民, 王长庭. 放牧对小嵩草草甸土壤酶活性及土壤环境因素的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(5): 856–864.
- [18] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [19] 鲍新奎, 高以信. 中国土壤系统分类新论(草毡表层主要特征及鉴别指标)[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 302–309.
- [20] 王国荣, 陈秀蓉, 韩玉竹, 等. 东祁连山高寒灌丛土壤微生物的分布特征[J]. *草原与草坪*, 2006(3): 27–34.
- [21] 林慧龙, 侯扶江, 李飞. 家畜践踏对环县草原地下生物量的影响[J]. *草业学报*, 2008, 16(2): 186–190.
- [22] 李以康, 林丽, 张法伟, 等. 嵩草草甸退化和恢复过程中主要牧草演替和地表特征变化[J]. *草业学报*, 2010, 19(5): 179–185.
- [23] 马丽萍, 张德罡, 姚拓. 高寒草地不同扰动生境纤维素分解菌数量动态研究[J]. *草原与草坪*, 2009(1): 29–33.
- [24] 谈嫣蓉, 蒲小鹏, 张德罡, 等. 不同退化程度高寒草地土壤酶活性的研究[J]. *草原与草坪*, 2006(3): 20–22.

Soil nutrient variation at using microbial fertilizer on alpine meadow in Qing-Tibet plateau

LIN Li^{1,2}, ZHANG Deng-gang¹, CAO Guang-min², OUYANG Jing-zheng²,
LIU Shu-li², ZHANG Fa-wei², LI Yi-kang², GUO Xiao-wei²

(1. *Pratacultural College of Gansu Agricultural University, Lanzhou, 730070, China*; 2. *Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Science, Xining, 810008, China*)

Abstract: Utilizing cellulose decomposition, nitrogen fixation and EM microbial fertilizer and other alpine meadow soil improvement methods such as water addition and cut the matic epipedon to investigate how the degradation alpine meadow soil nutrient dealt with those improvements, the results showed that: microbial fertilizer and other alpine meadow soil nutrients improvements methods did no effects on ameliorating available phosphorus, available potassium and pH value condition in 0~20 cm soil layer. While there were some effects on available nitrogen. EM microbial fertilizer + cut matic epipedon treatment could enhance the nitrate content, cellulose decomposition microbial fertilizer + cut matic epipedon treatment could increase the ammonia content in 0~5 cm soil layer. And cellulose decomposition microbial fertilizer + cut matic epipedon treatment and EM microbial fertilizer + cut matic epipedon treatment could raise the available nitrogen including the sum of ammonia and nitrate content. And cut matic epipedon treat could not enhance the nitrogen in the 0~20 cm soil layer, but could change the distribution on different soil layer. So using microbial fertilizer on soil and using the cut matic epipedon method could improve the degradation alpine soil nutrient, but the effects were so little, maybe it was decreased the active of the microbial fertilizer in alpine meadow environment, because the environment was so bad, and the most of microbial could not live in those environment. So in the next research, to choose the microbial fertilizer which can adapt alpine meadow environment is the most important study both in improving soil nutrient condition, and in restoring the degradation alpine meadows.

Key words: degraded grassland improvement; matic epipedon ameliorate; soil available nutrients; microbial fertilizer