

# 放牧对羊草草原土壤氮素循环的影响<sup>①</sup>

高雪峰<sup>1</sup>, 韩国栋<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup> 内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 呼和浩特 010022; <sup>2</sup> 内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010018)

**摘要:** 研究了放牧对内蒙古羊草草原土壤中 N 素分解细菌以及固 N 作用、氨化作用和硝化作用的影响, 结果表明, 轻度放牧使土壤中 4 类 N 素转化细菌的数量显著增加, 也显著加强了土壤中的固 N 作用、氨化作用和硝化作用。促进了土壤中的 N 素循环; 随放牧强度的增加, 重度放牧则导致草原土壤中 4 类 N 素转化细菌数量均显著降低。显著抑制土壤中的固 N 作用和氨化作用, 会阻碍土壤中的 N 循环的进程。放牧强度对 N 素转化细菌以及 N 循环中的固 N 作用、氨化作用和硝化作用的季节性变化规律无明显影响。

**关键词:** 放牧; 草原土壤; 氮循环

**中图分类号:** S154.31

土壤 N 素生物地球化学循环是土壤物质循环的重要组成部分, 不仅影响土壤质量以及草地等生态系统的生产力和可持续性, 还会影响全球环境变化。土壤微生物在陆地生态系统中大量存在, 广泛分布, 在土壤 N 循环中起着不可替代的作用<sup>[1-2]</sup>。羊草草原不仅是温带典型草原中最具代表性的群落, 也是内蒙古草原区经济价值最高的天然草场, 放牧是其主要的土地利用方式<sup>[3]</sup>。放牧作为人类管理利用草地生态系统的最主要的途径, 是影响草地生态系统碳循环过程的重要人类活动因素<sup>[4]</sup>。本文研究了放牧对草原土壤中参与 N 素转化的细菌以及硝化强度、固 N 强度和氨化强度的影响以及它们之间的相关关系, 试图分析放牧对土壤 N 循环的影响。为解释退化草地的恢复过程提供一定的理论参考。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区是在内蒙古自治区克什克腾旗西部, 达里诺尔自然保护区境内。该地地处内蒙古高原, 位于 43°32'N, 116°33'E。年平均气温为 1°C ~ 2°C, 年降水量 350 ~ 400 mm, 气候干燥<sup>[5]</sup>。草地类型为羊草+大针茅+糙隐子草的典型草原, 植物种类丰富, 建群种为羊草 (*Leymus chinensis*), 优势种为大针茅 (*Stipa grandis*)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*), 主要伴生种为冷蒿 (*Artemisia frigida*) 等。土壤类型为暗栗钙土, 草甸土。放牧家畜为绵羊, 放牧季节为 5—10 月。

### 1.2 试验设计及方法

草原群落随放牧强度的变化, 最明显地表现为以居民点或家畜引水点周围相继分布的环带状变化上, 即由此向外辐射, 沿半径方向构成草原群落的放牧梯度。因此, 我们在试验区以居民点为起点沿草原群落变化的方向设置 4 个样地, 即重度放牧区 (HG)、中度放牧区 (MG)、轻度放牧区 (LG) 和围栏内的未放牧区即对照区 (CK)。在不同放牧样地内设置 3 个围笼作为确定每次采集土样时的参照物。分别于 2007 年 3 月、5 月、8 月、10 月进行了 4 次土样采集, 在每个样区分别选取 3 个样点, 在每个样点 (1.5 m × 1.5 m) 用土钻按五点取样法取 0 ~ 20 cm 层的土样。装密封袋带回实验室待用。

氨化细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基, 好气性自生固氮菌用改良瓦克斯曼 77 号培养基, 硝化细菌用改良的斯蒂芬逊培养基, 反硝化细菌采用稀释培养法培养<sup>[5]</sup>。土壤固 N 强度、氨化强度和硝化强度采用悬液培养法测定, 有机质用重铬酸钾氧化-外加加热法测定, 全 N 采用 HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消化法测定, 速效 N 用碱解蒸馏法测定<sup>[6]</sup>。数据的显著性检验及相关性分析采用 SPSS 13.0 软件分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同放牧区土壤的理化性状

测定了不同放牧强度下土壤的一些理化性状, 结果见表 1。

<sup>①</sup>基金项目: 国家自然科学基金项目 (30360022) 资助。

\* 通讯作者 (nmghangd @ yahoo.com)

作者简介: 高雪峰 (1975—), 女, 内蒙古人, 硕士, 讲师, 主要从事应用微生物学研究。E-mail: gaoxuefeng@imnu.edu.cn

表 1 放牧对草原土壤理化性状的影响

Table 1 Grazing impact on grassland soil physical and chemical properties

时间	样区	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	速效 N (g/kg)	含水量 (g/kg)	pH
3 月	CK	2.77 ± 0.08 b	0.10 ± 0.07 b	0.12 ± 0.02 B	167.5 ± 36.3 a	6.99
	LG	3.29 ± 0.64 a	0.17 ± 0.01 a	0.16 ± 0.01 A	160.8 ± 49.0 a	6.95
	MG	2.84 ± 0.01 b	0.12 ± 0.07 a	0.10 ± 0.01 B	140.6 ± 27.0 b	6.91
	HG	2.70 ± 0.67 b	0.13 ± 0.02 a	0.09 ± 0.03 C	88.6 ± 3.2 c	7.21
5 月	CK	2.58 ± 0.83 a	0.15 ± 0.03 b	0.14 ± 0.01 A	88.1 ± 23.2 aA	6.74
	LG	2.83 ± 0.47 a	0.19 ± 0.01 a	0.14 ± 0.03 A	73.2 ± 26.8 bA	6.64
	MG	2.57 ± 0.91 a	0.14 ± 0.01 b	0.10 ± 0.01 B	49.3 ± 0.8 cB	6.87
	HG	2.59 ± 0.44 a	0.12 ± 0.06 b	0.08 ± 0.03 C	47.1 ± 6.1 cB	7.31
8 月	CK	2.28 ± 0.64 a	0.19 ± 0.04 a	0.14 ± 0.05 A	114.3 ± 50.7 b	6.39
	LG	2.26 ± 0.62 a	0.22 ± 0.01 a	0.11 ± 0.02 B	130.9 ± 20.3 a	6.52
	MG	1.82 ± 0.10 b	0.17 ± 0.04 a	0.06 ± 0.02 C	104.5 ± 8.6 b	6.77
	HG	1.57 ± 0.46 b	0.13 ± 0.06 b	0.02 ± 0.01 D	99.8 ± 13.3 b	6.92
10 月	CK	2.54 ± 0.90 b	0.14 ± 0.03 b	0.10 ± 0.02 B	93.6 ± 20.2 B	6.41
	LG	2.94 ± 0.82 a	0.19 ± 0.06 a	0.11 ± 0.01 A	205.6 ± 41.6 A	6.72
	MG	2.68 ± 0.14 b	0.15 ± 0.05 b	0.04 ± 0.01 C	86.6 ± 11.8 B	6.86
	HG	2.36 ± 0.83 b	0.13 ± 0.04 b	0.03 ± 0.01 C	81.3 ± 3.9 B	7.28

注:  $n=9$ , 同一月份数据小写字母不同表示不同样区差异达到 ( $p<0.05$ ) 显著水平, 大写字母不同表示差异达到 ( $p<0.01$ ) 显著水平, 下同。

由表 1 看出, 试验区土壤呈中性。与 CK 相比较, 有机质含量在 LG 内 3 月和 10 月显著增加, 5 月和 8 月变化不显著, MG 内仅 8 月份显著降低, 其他时间无显著变化, 在 HG 内均无明显变化。全 N 含量在 LG 内增加显著, MG 和 HG 内无显著变化。速效 N 含量在 LG 内 3 月和 10 月增加极显著, 8 月则极显著降低, 5 月无显著变化。在 MG 和 HG 内降低极显著。分析得出, 轻度放牧在一定程度上会增加土壤的有机质含量和全 N 含量, 有利于土壤基础肥力的提高, 但对土壤的有效 N 含量在植物的不同生长季节影响不同, 中度和重度放牧对其影响不显著, 但极显著地降低土壤中的有效 N 含量。

另外, 放牧干扰基本上没有改变土壤中全 N 和有机质含量的季节变化趋势, 全 N 含量的年季变化均为 3—8 月增加, 8 月达峰值, 8—10 月降低。有机质含量的年季变化为 3 月份含量最高, 3—8 月逐渐降低, 8—10 月增加。速效 N 含量则在放牧区和围栏区的季节变化趋势不同。在围栏区, 其变化趋势与全 N 类似, 为 3—8 月增加, 8 月达峰值, 8—10 月降低。而在放牧区为 3—8 月降低, 8 月达低谷, 8—10 月增加。表

明了放牧不仅影响土壤有效 N 的含量同时也影响到它的季节性变化。在同一时间内, 土壤的水分含量也不一样, 重牧区由于植被覆盖度小, 土壤的含水量低。

## 2.2 放牧对草原土壤中氮素转化细菌的影响

土壤微生物 N 素类群主要有土壤氨化细菌、硝化细菌、自生固 N 菌, 还有少量的反硝化细菌。它们直接或间接地参与土壤 N 元素的循环, 其数量和活性关系到土壤生态系统的维持和稳定<sup>[7]</sup>。其中, 土壤氨化细菌可以使动植物残体中含有的蛋白质氨化, 使土壤中不能被植物所利用的有机含 N 化合物转化为可利用态 N<sup>[8]</sup>。土壤中硝酸盐类的累积又主要是氨化作用所产生的氨通过硝化细菌的硝化作用氧化为硝酸, 再与土壤中的金属离子作用而形成; 自生固 N 菌则具有固定大气中 N 素的能力。土壤微生物的数量及分布除了受土壤本身性质影响外, 还受到许多外在因素的影响, 其中土地利用及耕作管理方式对其影响尤为突出<sup>[9]</sup>。本研究测定了内蒙古羊草草原不同放牧强度干扰下土壤中与 N 素转化相关的自生固 N 菌、氨化细菌、硝化细菌和反硝化细菌数量, 测定结果见表 2。

表2 不同放牧强度下几种N素转化菌的数量(cfu/g干土)

Table 2 Amounts of nitrogen cycle bacteria under different grazing intensity

时间	样区	自生固N细菌 ( $\times 10^6$ )	氨化细菌 ( $\times 10^6$ )	硝化细菌 ( $\times 10^4$ )	反硝化细菌 ( $\times 10^5$ )
3月	CK	1.89 ± 0.47 B	14.99 ± 2.44 B	2.43 ± 0.64 A	3.02 ± 0.87 a
	LG	2.39 ± 0.14A	19.12 ± 1.56 A	2.43 ± 1.86 A	3.14 ± 1.16 a
	MG	1.73 ± 0.43 B	5.72 ± 1.16 C	2.52 ± 0.47 A	3.18 ± 0.17 a
	HG	1.45 ± 0.35 C	2.89 ± 0.25 D	1.02 ± 0.03 B	2.05 ± 0.56 b
5月	CK	3.63 ± 0.61 b A	16.35 ± 4.53 a	3.94 ± 0.96 a	4.96 ± 0.51 b
	LG	4.29 ± 0.12 a A	17.33 ± 5.21 a	4.00 ± 0.51 a	5.77 ± 0.86 a
	MG	1.92 ± 0.78 c B	13.77 ± 3.05 b	3.12 ± 0.41 b	4.85 ± 0.23 b
	HG	1.45 ± 0.82 c B	6.21 ± 0.31 c	2.98 ± 0.71 b	3.65 ± 0.60 c
8月	CK	3.87 ± 0.05 A	18.25 ± 6.82 b	10.24 ± 3.54 b	8.66 ± 2.26 b
	LG	4.72 ± 0.39 A	22.00 ± 2.74 a	11.54 ± 3.65 a	9.63 ± 2.19 a
	MG	2.86 ± 0.52 B	17.25 ± 4.07 b	9.12 ± 1.17 c	8.24 ± 0.79 b
	HG	1.96 ± 0.49 C	11.33 ± 3.59 c	8.03 ± 2.99 a	7.34 ± 0.46 c
10月	CK	2.92 ± 0.57 b A	20.21 ± 5.70 aB	8.45 ± 2.93 B	7.66 ± 0.88 a
	LG	3.29 ± 0.56 a A	26.34 ± 7.35 A	10.87 ± 2.39 A	7.94 ± 3.21 a
	MG	2.33 ± 0.12 c B	18.97 ± 3.73 bA	7.89 ± 2.80 B	7.12 ± 1.15 a
	HG	1.79 ± 0.48 d C	3.19 ± 0.22 C	4.34 ± 0.98 C	5.88 ± 0.89 b

由表2可见, 4类N素转化的功能性细菌的数量关系为: 氨化细菌>自生固N菌>反硝化细菌>硝化细菌。与CK相比较, 自生固N菌在LG区数量均增加显著或极显著, MG区数量均减少显著或极显著, HG区数量均减少极显著。氨化细菌数量在LG区均较CK显著或极显著增加, 在HG区均较CK显著或极显著降低, MG区较CK降低或显著降低。硝化细菌的数量在LG区8月和10月较CK区显著增加, 3月和5月数量有增加, 但不显著。在HG区均显著低于CK。在MG区5月和8月较CK显著减少, 而3月和10月较CK无明显的变化。而反硝化细菌的数量在LG区内5月和8月显著增加, 3月和10月增加但不显著, 在HG区内数量均较CK显著降低, 在MG区则其数量变化不显著。

可见, 轻度放牧对土壤中4类N素转化细菌的生存和繁殖都是有利的, 导致它们的数量增加显著或极显著, 而且这种效应在放牧季节5—10月尤为显著。中度放牧使自身固N菌、氨化细菌和硝化细菌的数量显著减少, 重度放牧则导致草原土壤中4类N素转化细菌数量均显著或极显著降低。Patra等<sup>[10]</sup>也发现放牧等管理措施显著影响着土壤真细菌、固N细菌、硝酸盐还原细菌和氨化细菌4个种群的种群结构和数量。原因可能是轻度放牧在一定程度上消除了草地牧草的冗余程度, 有利于草原生态系统的物质循环, 土壤中

营养成分高而有利于N素转化细菌的繁殖, 所以数量增加, 而随放牧强度的增加甚至过度放牧, 放牧家畜的踩踏作用更加显著, 改变了土壤的理化性状和结构, 使得土壤紧实、植被减少, 土壤肥力下降, 从而会抑制土壤中N素转化细菌的繁殖, 数量也随放牧强度的增加而显著降低。

从季节动态看, 自生固N菌、硝化细菌和反硝化细菌的数量随季节变化呈现明显的变化规律, 且三者的变化规律基本一致。均为3月份数量最低, 3—8月数量增加, 8月达峰值, 8—10月数量减少。表明放牧对此3类功能性细菌的季节性变化规律无明显影响。而氨化细菌的季节性变化在各试验区内规律不完全一致。

### 2.3 放牧对草原土壤中主要氮循环过程的影响

土壤全N中绝大部分为有机态N(约99.5%), 有机态N只有转变为有效态N才能够被植物吸收利用, N循环的4个主要过程有固N作用、氨化作用、硝化作用和反硝化作用<sup>[11]</sup>。草地生态系统中, 有机N化合物在土壤微生物作用下, 分解释放出植物可吸收利用的多种形态N素, 食草动物通过采食植物和向土壤归还有效性高的营养物质(粪和尿)。因此, 放牧是影响草地生态系统N循环正常运转的主要原因之一<sup>[12]</sup>。本文对不同放牧强度下羊草草原土壤中N素转化过程中的固N强度、氨化强度和硝化强度进行了测定, 结果见表3。

表 3 放牧对土壤 N 素的固 N、氨化和硝化强度的影响

Table 3 Grazing impacts on soil nitrogen fixation, ammonification and nitrification

时间	样区	固 N 强度	氨化强度	硝化强度
		( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ mg/kg)	( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ mg/kg)	( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ mg/kg)
3 月	CK	2.52 ± 0.88 B	7.54 ± 1.46 b	2.83 ± 0.49 b
	LG	4.20 ± 0.74 A	8.29 ± 2.31 a	3.86 ± 0.52 a
	MG	2.91 ± 0.17 B	7.28 ± 4.82 b	3.01 ± 0.34 b
	HG	2.49 ± 0.43 B	3.71 ± 0.95 c	4.64 ± 0.56 a
5 月	CK	2.65 ± 0.53 b	8.61 ± 2.36 b A	3.04 ± 0.90 b
	LG	3.46 ± 0.62 a	9.32 ± 2.36 a A	3.83 ± 0.59 a
	MG	3.30 ± 0.32 a	5.32 ± 0.56 B	2.59 ± 0.45 b
	HG	2.37 ± 0.75 b	4.04 ± 0.79 C	4.12 ± 0.47 a
8 月	CK	4.89 ± 0.80 B	21.15 ± 6.49 b	13.41 ± 3.86 b
	LG	8.13 ± 2.40 A	23.97 ± 4.40 a	14.28 ± 3.84 b
	MG	3.62 ± 0.16 B	20.75 ± 5.41 b	15.27 ± 2.19 b
	HG	2.12 ± 0.29 C	13.21 ± 2.47 c	18.78 ± 4.05 a
10 月	CK	3.11 ± 0.86 b	9.38 ± 3.34 a	2.96 ± 0.01 b
	LG	4.78 ± 0.99 a	10.71 ± 2.19 a	5.20 ± 1.21 a
	MG	3.04 ± 0.86 b	6.32 ± 1.46 b	3.30 ± 0.77 b
	HG	1.72 ± 0.23 c	4.51 ± 1.26 c	4.44 ± 0.44 b

由表 3 可看出,与 CK 相比较,土壤的固 N 强度在 LG 区显著或极显著增加,在 MG 区内只有 5 月份显著增加,其他季节变化不显著,在 HG 区内 3 月和 5 月降低不明显,8 月和 10 月份降低显著或极显著。土壤的氨化强度在 LG 区内均增加或显著增加,在 MG 区内均降低,且 5 月和 10 月降低显著,在 HG 区内降低显著或极显著。土壤的硝化强度在 LG 区显著增加,在 MG 区内略有增加但不显著,在 HG 区内显著增加。总体上,放牧对草原土壤中的几个主要的 N 素转化过程有显著影响,轻度放牧显著或极显著加强了土壤中的固 N 作用、氨化作用和硝化作用,中度放牧对三者的影响不是很显著,重度放牧会显著抑制土壤中的固 N 作用和氨化作用,却显著加强了 N 素的硝化过程。究其原因,轻度放牧有利于整个草原生态系统向着良性的方向发展,同时也有利于土壤的 N 素循环过程。而重度放牧由于食草动物对优质牧草的择食而增加了劣质植物(较低的 N 含量或化学防御的有机化合物)的覆盖度,地上凋落物品质降低,分解速度变慢<sup>[13-14]</sup>从而抑制了固 N 和氨化作用,但是动物的排泄物较多,排泄物中的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  增多,激发了土壤的硝化过程。也有研究者认为放牧减缓了养分循环<sup>[15]</sup>。

另外,放牧对土壤中 N 素的固 N 作用、氨化作用和硝化作用的季节变化规律也没有显著影响。且三者的季节变化趋势也基本一致。3 月、5 月和 10 月

的作用强度相近,而 8 月则 3 种作用强度均明显加强,并达到峰值。由于在采样地 8 月份正值牧草生长最旺盛季节,土壤中的 N 素转化也以最快的速度循环着,以保证植物对 N 素养分的要求。

#### 2.4 各因子之间的相关关系分析

土壤 N 主要来自土壤有机碎屑,有机物通过微生物的降解,经过氨化、硝化等过程,形成用于蛋白质合成的 N 素。所以,土壤中各种生物与非生物因子对土壤 N 的循环影响非常复杂。不同因子的影响具有交互作用,分析了 N 循环过程中各因子之间的相关关系,结果见表 4。

经相关分析表明,参与土壤 N 素循环的 4 类微生物相互之间均有着极显著的正相关关系;固 N 强度和氨化强度与 4 类微生物之间都呈极显著或显著的正相关关系,而硝化强度只与硝化细菌和反硝化细菌呈极显著的正相关关系。

固 N 强度与氨化强度呈极显著正相关,氨化强度与硝化强度呈极显著正相关,而固 N 强度与硝化强度之间无显著相关,可见,在 N 循环过程中相邻环节之间关系紧密。

土壤有机质含量与其他各因子之间呈负相关关系,其中与氨化强度、硝化强度呈极显著的负相关关系,可见,有机质是 N 素的直接来源。土壤全 N 含量与 4 类微生物之间均呈极显著的正相关关系,与固 N

表 4 各因子之间的相关关系

Table 4 Correlation coefficients among different factors

	固 N 菌	氨化菌	硝化菌	反硝化菌	氨化强度	硝化强度	固 N 强度	有机质	全 N
固 N 菌	1								
氨化菌	0.719**	1							
硝化菌	0.609*	0.657**	1						
反硝化菌	0.666**	0.621*	0.956**	1					
氨化强度	0.700**	0.533*	0.777**	0.768**	1				
硝化强度	0.285	0.148	0.634**	0.624**	0.795**	1			
固 N 强度	0.736**	0.647**	0.624**	0.568*	0.739**	0.344	1		
有机质	-0.354	-0.052	-0.593*	-0.662**	-0.718**	-0.718**	-0.408	1	
全 N	0.863*	0.705**	0.673**	0.693**	0.678**	0.358	0.820**	-0.305	1
速效 N	0.462	0.396	-0.192	-0.226	0.080	-0.363	0.383	0.412	0.315

注:  $R_{0.05} = 0.497$ ,  $R_{0.01} = 0.623$ , \* 表示相关性显著 ( $p < 0.05$ ), \*\* 表示相关性极显著 ( $p < 0.01$ ).

强度和氨化强度也呈极显著的正相关关系, 表明了 N 循环相关的微生物的数量以及固 N 强度和氨化强度可以作为评价土壤基础肥力的指标之一。而速效 N 与其他因子之间无显著的相关关系。

### 3 小结

(1) 轻度放牧使土壤中 4 类 N 素转化细菌的数量增加显著或极显著, 也显著或极显著加强了土壤中的固 N 作用、氨化作用和硝化作用, 同时增加土壤的有机质含量和全 N 含量, 促进了土壤中的 N 素循环, 有利于土壤基础肥力的提高和永续利用。

(2) 重度放牧导致草原土壤中 4 类 N 素转化细菌数量均显著或极显著降低, 显著抑制了土壤中的固 N 作用和氨化作用, 降低了土壤的有机质和全 N 含量, 极显著地降低土壤中的有效 N 含量, 从而抑制土壤中的氮循环的进程。

(3) 放牧强度对 N 素转化细菌以及 N 循环中的固 N 作用、氨化作用和硝化作用的季节性变化规律无明显影响。

### 参考文献:

- [1] Yergeau E, Kang S, He Z, Zhou J, Kowalchuk GA. Functional microarray analysis of nitrogen and carbon cycling genes across an Antarctic latitudinal transect. *The ISME Journal*, 2007, 1: 163-179
- [2] Philippot L, Germon JC. Contribution of Bacteria to Initial Input and Cycling of Nitrogen in Soils Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 159-172
- [3] 李博, 雍世鹏, 李忠厚. 锡林河流域植被及其利用//中国科学

院内蒙古草原生态系统定位站. 草原生态系统研究. 北京: 科学出版社, 1988: 84-183

- [4] 马涛, 董云社, 齐玉春, 徐福利, 彭琴, 金钊. 放牧对内蒙古羊草群落土壤呼吸的影响. *地理研究*, 2009, 28(4): 1 040-1 042
- [5] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [7] 赵有翼, 蔡立群, 王静, 张仁陟. 不同保护性耕作措施对三种土壤微生物氮素类群数量及其分布的影响. *草业学报*, 2009, 18(4): 125-130
- [8] 土壤微生物研究会. 土壤微生物实验法. 北京: 科学出版社, 1983: 62-139
- [9] 韩晓盈, 王宏燕, 于洪艳, 李宁. 黑土生态系统氮循环研究进展. *东北农业大学学报*, 2009, 40(2): 140-144
- [10] Patra AK, Abbadie L, Clays-Josserand A, Degrange V, Grayston SJ. Effects of management regime and plant species on the enzyme activity and genetic structure of N-fixing, denitrifying and nitrifying bacterial communities in grassland soils. *Environmental Microbiology*, 2006, 8(6): 1 005-1016
- [11] 贺纪正, 张丽梅. 氢氧化微生物生态学与氮循环研究进展. *生态学报*, 2009, 29(1): 406-409
- [12] 张晶, 林先贵, 尹睿. 参与土壤氮素循环的微生物功能基因多样性研究进展. *中国生态农业学报*, 2009, 17(5): 1 029-1 034
- [13] Treusch AH, Leininger S, Kletzin A, Schuster SC. Novel genes for nitrite reductase and Amo-related proteins indicate a role of uncultivated mesophilic crenarchaeota in nitrogen cycling. *Environmental Microbiology*, 2005, 7: 1 985-1 995
- [14] Konneke M, Bernhard AE, de laTorre JR, Moseley CE. Isolation of an autotrophic ammonia-oxidizing marine archaeon. *Nature*, 2005, 437: 543-546
- [15] 徐清平. 氮循环与固氮. *中学生物学*, 2005, 21(3): 11

## Study on Effect of Grazing on Steepe Soil Nitrogen Cycle

GAO Xue-feng<sup>1</sup>, HAN Guo-dong<sup>2</sup>

(1 *College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China;*

2 *College of Ecology and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)*

**Abstract:** The effects of grazing on nitrogen cycle bacteria, nitrogen fixation, ammonification and nitrification were studied in *Leymus chinensis* steppe in Inner Mongolia. The results showed that light grazing increased significantly the amounts of four types of nitrogen cycle bacteria and the intensities of soil nitrogen fixation, ammonification and nitrification, and promoted the circulation of soil nitrogen, but heavy grazing produced the converse trend. Grazing intensity had no significant effect on the seasonal variation of nitrogen cycle bacteria, nitrogen fixation, ammonification and nitrification.

**Key words:** Grazing, Grassland soil, Nitrogen cycle