

高寒草地不同扰动生境土壤微生物 氮素生理群数量特征研究*

姚拓¹ 龙瑞军^{1,2} 师尚礼¹ 张德罡¹

(1 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070)

(2 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008)

摘要 采用平板表面涂抹法和稀释法对天祝高寒草地5种不同干扰生境(围栏内、围栏外、多年生草地、一年生草地和鼠丘地)土壤微生物氮素生理群(氨化细菌、硝化细菌、自生固氮菌和反硝化细菌)数量分布特征进行了测定,结果表明:(1)同一扰动生境,不同空间层次草地土壤微生物各氮素生理群数量变化较大,0~20 cm数量大于20~40 cm,一般前者为后者的1.44~7.32倍;且不同氮素生理群之间数量差异很大,氨化细菌>自生固氮菌>反硝化细菌>硝化细菌;(2)不同扰动生境,相同空间层次草地土壤微生物各氮素生理群数量差异也较大,变幅在1.27~9.29倍;且不同扰动生境对各氮素生理群的影响不同,对硝化细菌数量影响最大,反硝化细菌和氨化细菌次之,自生固氮菌较小;(3)不同生境土壤微生物氮素生理群数量以一年生草地总数量最大,多年生和围栏内草地次之,鼠丘地和围栏外草地最少;(4)不同扰动生境,不同空间层次,虽然不同生理群微生物数量各有特点,但总趋势为:0~20 cm,7月份数量较小,8月份上升至最大,9月份下降,20~40 cm数量变化趋势与0~20 cm相似,但变幅显著变小。

关键词 高寒草地;干扰生境;土壤微生物;氮素生理群;数量分布

中图分类号 S154.36;Q938

文献标识码 A

草地土壤微生物是草地生态系统的重要组成部分,在有机物质分解、转化过程中起主导作用,具有巨大的生物化学活力,从而能动地影响草地生态系统中能量流动和物质转化过程,在草地土壤肥力评价和生物净化等方面有着重要作用^[1]。微生物生理群是指具有相同或不同形态,执行同一种功能的一类微生物,其中氨化细菌、硝化细菌、固氮细菌和反硝化细菌在土壤氮素转化中发挥着重要作用,称为氮素生理群。土壤中氮素生理群的存在与活动对于土壤肥力以及植物营养具有重要意义。

高寒地区气候寒冷,水热条件严酷,生态脆弱,破坏后难以恢复,因此,多年来不少学者从不同侧面对高寒草地退化机理和防止退化及退化后治理措施进行了大量研究,但从微生物角度探讨草地退化的研究(即草地退化的微生物机理)较少^[2~13],而微生物氮素生理群的研究更少^[3~8]。本研究旨在对甘肃天祝高寒草地不同扰动程度草地土壤微生物氮素生理群数量的时间与空间层次分布特征进行较为系统

的研究,以期查明不同干扰程度对草地土壤微生物氮素生理群数量分布的影响,为认识退化草地,改良、复壮和科学管理草地提供微生物方面的参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究地自然概况

研究地位于甘肃省天祝县金强河(甘肃农业大学高山草原试验站),37°11'~37°13' N,102°29'~102°33' E,海拔2700~3300 m(本研究采样地2970 m),气候寒冷潮湿,年均温-0.1℃,1月均温-18.3℃,7月均温12.7℃,>0℃积温1380℃,水热同期,年日照时数2600 h;年降水量416 mm,多为地形雨,集中于7、8、9三个月,年蒸发量1592 mm。无绝对无霜期,仅分冷、热两季,春季常有旱象,并有暴风雪。土层厚约40~80 cm,土壤pH 7.0~8.2,有机质含量13 g kg⁻¹。土壤以亚高山草甸土、亚高山黑

* 甘肃省科学技术攻关项目(2GS035-A41-001-04)和国家自然科学基金项目(30371021)资助

作者简介:姚拓(1968~),男,甘肃镇原人,博士,副教授,主要从事草地土壤微生物资源研究。E-mail: yaotuo@gsau.edu.cn

收稿日期:2005-11-30;收到修改稿日期:2006-02-18

钙土等为主。植被以嵩草 (*Kobresia bellardii*)、苔草 (*Carex* spp.)、针茅 (*Stipa capillata*)、莎草 (*Cyperus* spp.)、珠芽蓼 (*Polygonum viviparum*)、金露梅 (*Potentilla fruticosa*)、棘豆 (*Oxytropis* spp.)、狼毒 (*Stellera chamaejasme*)、委陵菜 (*Potentilla chinensis*)、杜鹃 (*Rhododendron* spp.) 等为主。

1.2 土壤样品采集

在研究地选择 5 种干扰生境,即:围栏内草地、围栏外草地(牧道周围)、多年生禾草混播草地(下称

“多年生草地”)、一年生禾草草地(下称“一年生草地”)和鼠丘地,于 2003 年 7 月 5 日、8 月 19 日和 9 月 26 日分 3 次以 5 点混合法按 0~20 cm 和 20~40 cm 两个层面分别采集土壤样品,并将各点土样分层混合,按四分法除去多余土样,留 1 kg 左右装入灭菌信封袋或无菌聚乙烯袋并密封,土壤带回实验室后立即进行各类微生物分离(4 保存不超过 24 h)、计数^[1]。样地土壤为亚高山黑钙土,其生境基况见表 1。

表 1 5 种干扰生境基况

Table 1 Conditions of 5 different disturbed habitats

生境 Habitat	主要植物种类 Main plant species	盖度 Coverage (%)	高度 Height (cm)	植物鲜重 Fresh weight (kg hm ⁻²)	pH	土壤含水量 Water content (%)	备注 Remark
鼠丘地 Rodent hill	微孔草 (<i>Microtula sikkimensis</i>)、香薷 (<i>Elsholtzia ciliata</i>)、珠芽蓼 (<i>Polygonum viviparum</i>)、棘豆 (<i>Oxytropis</i> spp.)、委陵菜 (<i>Potentilla chinensis</i>)	35	30	1 350	8.03	21.50	原生植被已破坏 Original vegetation damaged
一年生草地 Annual artificial grassland	燕麦 (<i>Avena sativa</i>)	100	110	9 000	7.74	27.72	
围栏外草地 Unfenced grassland	嵩草 (<i>Kobresia bellardii</i>)、苔草 (<i>Carex</i> spp.)、马蔺 (<i>Iris chinensis</i>)、珠芽蓼 (<i>Polygonum viviparum</i>)、棘豆 (<i>Oxytropis</i> spp.)、狼毒 (<i>Stellera chamaejasme</i>)、委陵菜 (<i>Potentilla chinensis</i>)	40	20	1 200	8.04	18.40	牧道周围,土壤紧实 Nearby animal road, tight soil
多年生草地 Perennial artificial grassland	垂穗披碱草 (<i>Elymus nutans</i>)、无芒雀麦 (<i>Bromus inermis</i>)、老芒麦 (<i>Elymus sibiricus</i>)、扁穗冰草 (<i>Agropyron cristatum</i>)	90	60	6 000	8.08	23.39	5~6 年生草地 5~6 years artificial grassland
围栏内草地 Fenced grassland	嵩草 (<i>Kobresia bellardii</i>)、苔草 (<i>Carex</i> spp.)、针茅 (<i>Stipa capillata</i>)、珠芽蓼 (<i>Polygonum viviparum</i>)、金露梅 (<i>Potentilla fruticosa</i>)、棘豆 (<i>Oxytropis</i> spp.)、火绒草 (<i>Leontopodium leontopodioides</i>)、委陵菜 (<i>Potentilla chinensis</i>)	80	40	2 250	7.95	21.50	

1.3 微生物氮素生理群数量测定

采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基,以平板表面涂抹法测定氨化细菌数量;改良斯蒂芬逊培养基,以稀释法测定硝化细菌数量;改良阿须贝 (Ashby) 无氮琼脂培养基,以平板表面涂抹法测定好气性自生固氮菌数量;玉米面培养基,以稀释法测定嫌气性自生固氮菌数量;组合培养基,以稀释法测定反硝化细菌数量^[1]。数据处理利

用 DPS 软件。

2 结果与分析

2.1 不同扰动生境土壤微生物氮素生理群数量分布的空间层次特征

天祝高寒草地不同扰动生境土壤微生物氮素生理群数量的空间层次分布测定结果见表 2。

表 2 不同扰动生境土壤微生物氮素生理群数量的空间层次分布

Table 2 Spatial distribution of nitrogen bacteria group communities in disturbed habitats (cfu g⁻¹ dry soil)

生境 Habitats	深度 Depth (cm)	氨化细菌 Ammonifying bacteria			硝化细菌 Nitrobacteria			自生固氮菌 Free nitrogen fixing bacteria			反硝化细菌 Denitrobacteria			总数 Total (×10 ⁶)
		数量 Numbers	L1+L2 (×10 ⁶)	L1/L2	数量 Numbers	L1+L2 (×10 ³)	L1/L2	数量 Numbers	L1+L2 (×10 ⁴)	L1/L2	数量 Numbers	L1+L2 (×10 ⁴)	L1/L2	
		鼠丘地 Rodent hill	0~20	7.22	10.46 bB	2.23	2.13	2.63dC	4.26	4.08	6.94bBC	1.43	1.02	
	20~40	3.24			0.50			2.86				0.42		
一年生草地 Annual artificial grassland	0~20	10.74	13.40aA	4.04	2.56	3.16cB	4.27	4.25	5.40bB	3.70	2.42	3.21aA	3.06	13.48aA
	20~40	2.66			0.60			1.15				0.79		
围栏外草地 Unfenced grassland	0~20	6.09	6.98cC	6.84	1.12	1.39eD	4.20	3.55	4.61CD	3.35	1.09	1.38cC	3.76	7.03cC
	20~40	0.89			0.27			1.06				0.29		
多年生草地 Perennial artificialgrassland	0~20	10.55	12.71aA	4.89	2.77	3.56bB	3.51	3.90	4.79cCD	4.38	1.83	2.29bB	3.98	12.78aA
	20~40	2.16			0.79			0.89				0.46		
围栏内草地 Fenced grassland	0~20	10.26	12.80aA	4.04	3.62	6.13aA	1.44	4.51	5.87aA	3.32	1.83	2.08bB	7.32	12.89aA
	20~40	2.54			2.51			1.36				0.25		

注:表中数据为 2003 年 7 月 5 日、8 月 19 日和 9 月 26 日三次采样的平均值;L1、L2 分别表示 0~20 cm 和 20~40 cm 菌数量;各处理间字母相同表示差异不显著,大写字母表示显著水平为 0.01,小写字母表示显著水平为 0.05 Note: The data in the table is an average value of three samplings, 5 July, 19 August and 26 September; L1 means the number of bacteria in 0~20 cm and L2 in 20~40 cm; Letters mean significant level (small letter for $p < 0.05$, capital letter for $p < 0.01$)

从表 2 可以看出:

(1) 同一扰动生境,不同空间层次,草地土壤微生物各氮素生理群数量差异较大,0~20 cm 数量均大于 20~40 cm,一般前者为后者的 1.44~7.32 倍。如围栏内草地:氨化细菌数量 0~20 cm 为 10.26×10^6 cfu g⁻¹干土,20~40 cm 为 2.54×10^6 cfu g⁻¹干土,前者为后者的 4.04 倍;硝化细菌数量 0~20 cm 为 3.62×10^3 cfu g⁻¹干土,20~40 cm 为 2.51×10^3 cfu g⁻¹干土,前者为后者的 1.44 倍;自生固氮菌数量 0~20 cm 为 4.51×10^4 cfu g⁻¹干土,20~40 cm 为 1.36×10^4 cfu g⁻¹干土,前者为后者的 3.32 倍;反硝化细菌数量 0~20 cm 为 1.83×10^4 cfu g⁻¹干土,20~40 cm 为 0.25×10^4 cfu g⁻¹干土,前者为后者的 7.32 倍。这一结果表明,草地土壤微生物氮素生理群数量具有明显的垂直分布规律,即:各干扰生境下,上层数量最多,随土层加深而递减。这是因为植物根系多分布在上层土壤,根系是植物吸收营养的主要区域,也是微生物活动最为活跃的区域。同时,根际各类群微生物趋向性聚居在植物根系并通过各

自的代谢活动,分解转化根系分泌物和脱落物,从而为植物生长提供有效养分^[9]。此外,上层土壤中聚积有大量的凋落物,有充分的营养源,加之水热和通气状况较好,利于各类微生物的生长和繁殖^[13],因此氮素生理群数量也较多。

(2) 不同扰动生境,相同空间层次,草地土壤微生物各氮素生理群数量差异也较大,变幅为 1.27~9.29 倍。5 种扰动生境下,0~20 cm:氨化细菌数量变幅为 $6.09 \times 10^6 \sim 10.74 \times 10^6$ cfu g⁻¹干土,即 1.76 倍;硝化细菌数量变幅为 $1.12 \times 10^3 \sim 3.62 \times 10^3$ cfu g⁻¹干土,即 3.23 倍;自生固氮菌数量变幅为 $3.55 \times 10^4 \sim 4.51 \times 10^4$ cfu g⁻¹干土,即 1.27 倍;反硝化细菌数量变幅为 $1.02 \times 10^4 \sim 2.42 \times 10^4$ cfu g⁻¹干土,即 2.37 倍。20~40cm:氨化细菌数量变幅为 $0.89 \times 10^6 \sim 3.24 \times 10^6$ cfu g⁻¹干土,即 3.64 倍;硝化细菌数量变幅为 $0.27 \times 10^3 \sim 2.51 \times 10^3$ cfu g⁻¹干土,即 9.29 倍;自生固氮菌数量变幅为 $0.89 \times 10^4 \sim 2.86 \times 10^4$ cfu g⁻¹干土,即 3.21 倍;反硝化细菌数量变幅为 $0.25 \times 10^4 \sim 0.79 \times 10^4$ cfu g⁻¹干土,即 3.16 倍。这

一分布特点表明不同干扰生境对草地土壤微生物氮素生理群数量组成产生较大的影响,且对不同类群微生物的影响不同。

(3) 不同扰动生境,草地土壤微生物各氮素生理群数量及其总数量差异也较大。

1) 不同氮素生理群之间数量差异很大。该草地氮素生理群数量以氨化细菌为主,自生固氮菌和反硝化细菌次之,硝化细菌最少,氨化细菌数量分别为硝化细菌、反硝化细菌和自生固氮菌数量的 10^3 、 10^2 和 10^2 倍。这一结果显示该草地死亡的生物体含氮物质(主要是蛋白质)转化为氨基酸和氨的过程(氨化作用)相对较为容易(氨化细菌数量多),而氨转化为硝酸的过程(硝化作用)较为困难(硝化细菌数量少,反硝化细菌数量多)。因此该草地可能存在较丰富的氨态氮,而硝态氮较少(虽氨化作用所产生的铵盐本身已适于作为绿色植物的养料,但绿色植物更适合的养料是硝酸盐)^[11]。

2) 相同生理群之间数量差异较小,一般在 1~2 倍之间(除硝化细菌外)。可见,不同扰动生境对各氮素生理群数量的影响不同,其中对硝化细菌数量影响最大,反硝化细菌和氨化细菌次之,自生固氮菌影响较小。

3) 不同扰动对微生物各氮素生理群数量的影响不同,氨化细菌数量大小为:一年生草地 > 围栏内草地 > 多年生草地 > 鼠丘地 > 围栏外草地,除围栏外草地和鼠丘地外,其他几种扰动生境间差异不显著;硝化细菌数量大小为:围栏内草地 > 多年生草地 > 一年生草地 > 鼠丘地 > 围栏外草地,各生境间差异显著或极显著;自生固氮菌数量大小为:鼠丘地 > 围栏内草地 > 一年生草地 > 多年生草地 > 围栏外草地,各生境

间数量有差异;反硝化细菌数量大小为:一年生草地 > 多年生草地 > 围栏内草地 > 鼠丘地 > 围栏外草地,除鼠丘地和围栏外草地、多年生草地和围栏内草地间差异不显著外,其他生境间差异极显著。

4) 土壤微生物氮素生理群总数量差异很大,一年生草地 > 围栏内草地 > 多年生草地 > 鼠丘地 > 围栏外草地。除一年生草地、围栏内草地、多年生草地之间差异不显著外,其他各生境间差异极显著。

一年生草地微生物氮素生理群总数量最大,主要是因为多年耕作、施肥,土壤疏松,土壤肥力较高,收草留茬高,枯草还田多,且植物生长旺盛,根际分泌物较多;多年生草地已建植 5~6 年,逐渐向天然草地演替,但其与一年生草地有相似的人为活动,故数量也较大;围栏内草地与多年生草地生境较为相似,故氮素生理群数量也相近;鼠丘地虽土壤疏松,但植被和凋落物少,土壤有机质含量低,盐、碱化度高,土壤含水量变化较大,对微生物生存不利,数量较少;围栏外草地样品主要取自于牧道周围,由于家畜过度采食和践踏,草地退化严重,植被少,土壤较紧实,通气状况差,偏碱性(pH 7.74~8.08),有机质含量低,故数量更少。即:干扰严重的退化草地土壤微生物氮素生理群数量明显少于轻度干扰的退化草地。由此可见,草地退化不仅是草地植被退化,更重要的是草地土壤环境的退化(包括草地土壤微生物数量减少及其活性下降等)。

2.2 不同扰动生境土壤微生物氮素生理群数量分布的时间特征

不同扰动生境,不同时间草地土壤微生物氮素生理群数量的时间动态见图 1~图 4。

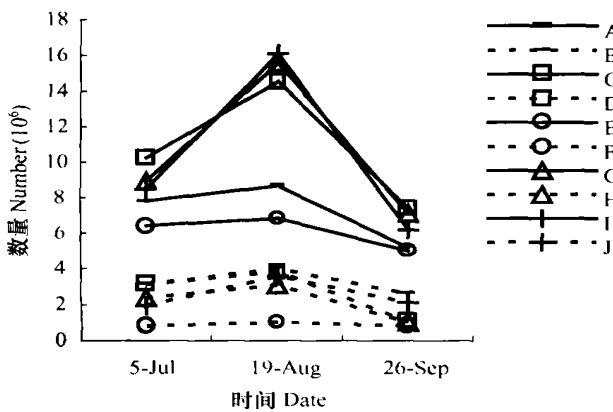
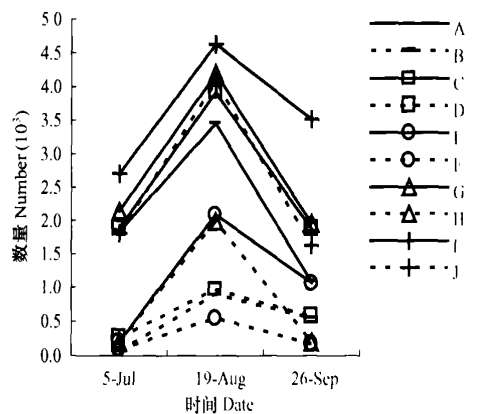


图 1 不同扰动生境草地土壤氨化细菌数量的时间动态
Fig.1 Temporal dynamics of population of soil ammonifying bacteria in grassland under different habitats



2 不同扰动生境草地土壤硝化细菌数量的时间动态
Fig.2 Temporal dynamics of population of soil nitro bacteria in grassland under different habitats

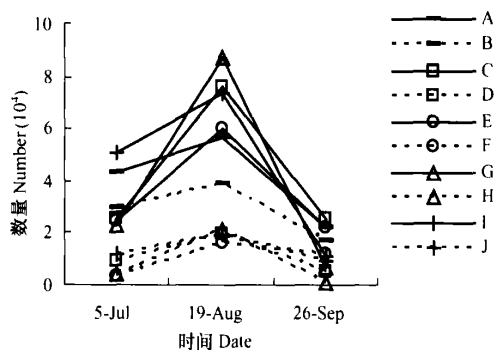


图3 不同扰动生境草地土壤自生固氮菌数量的时间动态
Fig. 3 Temporal dynamics of population of soil autogenous nitrogen fixing bacteria in grassland under different habitats

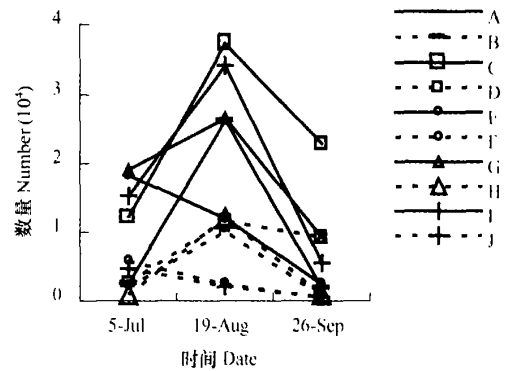


图4 不同扰动生境草地土壤反硝化细菌数量的动态
Fig. 4 Temporal dynamics of population of soil denitrifier in grassland under different habitats

A、C、E、G和I分别为鼠丘地、一年生草地、围栏外草地、多年生草地和围栏内草地0~20 cm的数量;B、D、F、H和J分别为其相应的20~40 cm数量 A, C, E, G and I means the number of bacteria of rodent hill, annual artificial grassland, unfenced grassland, perennial artificial grassland and fenced grassland in 0~20 cm respectively, while B, D, F, H and J means the number of them in 20~40 cm respectively

由图1~图4可以看出:不同扰动生境,不同层次,草地土壤微生物氮素生理群数量的时间动态不同,0~20 cm各氮素生理群数量表现出明显的时间差异性,20~40 cm则不表现出明显的时间差异性,且不同扰动生境草地,这种时间差异性表现出多样性。如0~20 cm:5种干扰生境下,氨化细菌、硝化细菌、自生固氮菌和反硝化细菌数量(除围栏外草地外)7月份较小,8月份上升至最大,9月份下降;20~40 cm:氨化细菌除围栏外草地未表现出季节动态外,其余生境表现出与其0~20 cm变化趋势相似的季节动态,但变幅较小;硝化细菌和自生固氮菌变化趋势也与其0~20 cm相似,但变化幅度较小,表现出较弱的时间动态;反硝化细菌除围栏内草地7月份数量最大,8月份下降,9月份下降至最低外,其他扰动生境变化趋势与0~20 cm相似。

上述结果表明,草地土壤微生物氮素生理群数量分布具有一定的时间变化特点,这与土壤水热状况是密切相关的。在天祝,4月底至5月初土壤逐渐解冻,地温回升,随着温度升高及植物根系生长,丰富的根系分泌物使土壤中的微生物因获得充足营养和适合温度而大量繁殖(土壤上层植物根的分泌物及死根是异养微生物必要的碳源和能源),7~8月份中旬温度较高,微生物活动旺盛,此时数量达高峰,8月下旬后地温下降,微生物活动减弱,此时数量下降。同时,在天祝高寒地区,土壤水分主要受降雨量的制约,雨量多集中在7~9月份,土壤水分变化规律和温度变化规律与微生物数量季节动态基本

一致(微生物数量变化相对滞后一点)。但在不同生境、不同时间,其对微生物数量影响程度是有差异的。

此外,微生物氮素生理群数量分布的季节性变化在上层土壤中明显,这是因为上层土壤比深层更易受环境因素变化的影响。鼠丘地20~40 cm表现出比同层次其他扰动生境更强的时间动态是由于害鼠活动将下层土壤翻至表层,打乱了土壤正常层次所致。

3 讨论

有关草地土壤微生物氮素生理群数量分布研究等已有少量报道。谭东南等^[2]研究认为,土壤中的硝化细菌在各类土壤中均较少,每克干土中平均含几千个到几万个,在他所测的土壤中,庆阳黑垆土中硝化细菌最多,黄绵土次之,灌漠土较少,亚高山草甸土更少;王启兰等^[3]研究发现,土壤氮素的不同代谢作用强度与相应参与该转化作用的细菌数量之间呈显著的正相关关系,并认为土壤的碳氮比和无机氮含量水平是影响固氮菌固氮作用强度的两个主要因素;赵志山等^[4]研究认为,牧草的种类不同,固氮菌的分布、数量和种类也有差异;杜伊光等^[5]研究认为,不同植被类型的土壤反硝化作用季节性变化各不相同,并认为氧气分压应是该层土壤反硝化作用的限制因子;Powlson等^[6]研究认为不同类型土壤的反硝化细菌的生态适应性不同,高寒地区的反硝化

细菌也是有适应性的生理特点^[5];固氮菌在低温高温变化剧烈的极端环境中,缺乏必需的碳源和能源物质,生长发育也受限制,所以在亚高山草甸土中是表现微弱的生物;硝化细菌关系到土壤中另一种速效氮素营养 NO_3^- -N 的供应。如荒漠盐渍草地土壤中硝化细菌数量极少,不利于 NO_3^- -N 的形成,这可能由于荒漠盐渍草地植物的分泌物抑制了硝化细菌的生长发育,造成硝化作用弱,是土壤有效氮含量低的原因之一^[7];同时,氮素生理群与其他类群微生物(如纤维素分解菌)有着密切的关系,如谭东南等^[2]研究表明,固氮菌和纤维素分解菌两者之间存在着相辅相成的关系,且土壤中这两类菌的数量状况和土壤有机质的含量之间存在密切的正相关性,这两类菌在土壤中相互依存,共同消长,对土壤肥力具有显著的影响^[2,8]。本研究及前文结果^[8]与之较为相似。

土壤微生物各氮素生理群在土壤形成及土壤物质循环和土壤养分供给中起着重要的作用,如硝化细菌能使土壤中氨态氮转化为易被植物吸收的硝态氮;好气性自生固氮菌在适宜条件下,每消耗 1g 碳

水化合物固定 10~15 mg 氮素^[1],是提高农牧业生产力的可能途径^[1,12,14];而反硝化细菌可将土壤中经硝化作用所累积的硝酸,还原为亚硝酸、氨,甚至还原成氮气,导致植物营养物质损失^[1]。但目前有关此方面研究很少,且研究结果差别较大,就本研究而言,各生理群结果也差别较大。出现上述原因主要是土壤微生物各生理群的分布、数量等,不但与其本身的特性有关,而且与其所处的土壤环境(如土壤 NO_3^- 含量,通气状况、pH 值、氧化还原电位等)、植物类群、植被状况、气候特点等有关系,甚至与植物间的化感作用也有关系^[10,12,14~21],是多种因素的综合结果。

此外,本研究与 1982 年赵勇斌先生等^[22]研究(相同方法、同一地点)结果相比,目前该区天然草地土壤各氮素生理群数量变化十分明显(表 3),主要原因是各种人为干扰等引起草地植被及土壤退化,导致草地凋落物、根系分泌物及土壤养分等减少,微生物生存与繁殖环境变劣(如土壤中产生的一些有毒物质对硝化细菌、反硝化细菌等有明显的影响),土壤微生物数量和活性大幅下降。

表 3 1982 年与 2003 年天祝高寒草地土壤各氮素生理群数量变化

Table 3 Populations of nitrogen bacteria groups between 1982 and 2003 in alpine steppe in Tianzhu (cfu g⁻¹ dry soil)

年份 Year	硝化细菌 Nitrobacteria	好气性固氮菌 Aero - nitrogen fixing bacteria	好气性纤维素分解菌 Aero-cellulose decomposer
1982 ^[22]	1.99 ×10 ⁴ a	3.51 ×10 ⁵ a	4.53 ×10 ⁵ a
2003	3.52 ×10 ³ b	8.10 ×10 ³ b	4.80 ×10 ³ b

注:表中数据为围栏内 9 月份 0~20cm 的测定值 Note: The data in the table are measured values of soil samples from 0~20 cm of soil layer of fenced grassland in September only

综上所述,草地土壤微生物与植被、土壤之间存在着一定的互动与千丝万缕的联系,一个或一些因素的改变往往会导致整个微生物系统的变化,甚至引起整个草地生态系统的一些变化。因此,在草地生态系统的管理及开发利用中,不但要注重草地植被,更要关注土壤环境变化,如土壤微生物等的变化,要有全局的观点。此外,高寒草地退化与其恢复治理是一个十分复杂和庞大的系统工程,对其研究需要不断地从各个方面积累,并应有多学科的渗透与加盟。

参考文献

[1] 许光辉,郑洪元,主编.土壤微生物分析方法手册.北京:农业出版社,1986. Xu G H, Zheng H Y. eds. Manual on Analysis

Methods of Soil Microbiology (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986

- [2] 谭东南,华珠兰,王月华,等.我省主要土壤微生物数量及其肥力状况分析.甘肃农业大学学报,1986,21(1):63~69. Tan D N, Hua Z L, Wang Y H, et al. Analysis of main soil microorganisms and its fertility in Gansu (In Chinese). Journal of Gansu Agricultural University, 1986, 21(1): 63~69
- [3] 王启兰,杨涛.高寒草甸土壤氮素代谢作用强度的研究.高寒草甸生态系统(4).北京:科学出版社,1995.179~182. Wang Q L, Yang T. Study on the nitrogen metabolic activity in alpine meadow soil (In Chinese). Alpine Meadow Ecosystem (4). Beijing: Science Press, 1995. 179~182
- [4] 赵志山,单志萍,惠慧.吉林西部羊草草原牧草根际固氮菌的研究.中国草原,1984,6(3):70~73. Zhao Z S, Shan Z P, Hui H. Research on nitrogen fixing bacteria in rhizosphere of grass in *Aneurolepidium chinense* steppe in west Jilin Province, northeast China (In Chinese). Grassland of China, 1984, 6(3): 70~73

- [5] 杜伊光,李家藻,师治贤,等. 高寒草甸生态系统土壤微生物反硝化作用引起氮素损失的研究. 高寒草甸生态系统(4). 北京:科学出版社,1995. 189~196. Du Y G, Li J Z, Shi Z X, *et al.* Studies on the denitrification of soil microorganism caused the nitrogen loss in alpine meadow ecosystem (In Chinese). *Alpine Meadow Ecosystem* (4). Beijing: Science Press, 1995. 189~196
- [6] Powlson D S, Saffigna P G, Monique K C. Denitrification at suboptimal temperatures in soils from different climatic zones. *Soil Biol. Biochem.*, 1985, 20 (5): 719~723
- [7] 罗明,邱沃. 新疆平原荒漠盐渍草地土壤微生物生态分布的研究. 中国草地, 1995(5): 29~33. Luo M, Qiu W. The ecological distribution of soil microorganisms in desert saline grassland in Xinjiang (In Chinese). *Grassland of China*, 1995(5): 29~33
- [8] 马丽萍,张德罡,姚拓. 天祝高寒草地不同扰动生境纤维素分解菌数量动态研究. 草原与草坪, 2005(1): 29~33. Ma L P, Zhang D G, Yao T. Study on the dynamic of soil cellulose decomposer in alpine grassland under disturbance in Tianzhu (In Chinese). *Grassland and Turf*, 2005 (1): 29~33
- [9] 赵吉,廖仰南,张桂枝,等. 草原生态系统的土壤微生物生态. 中国草地, 1999, 21(3): 57~67. Zhao J, Liao Y N, Zhang G Z, *et al.* Soil microbial ecology on the grassland ecosystem (In Chinese). *Grassland of China*, 1999, 21(3): 57~67
- [10] 廖仰南,张桂枝,赵吉. 草原羊草(*Aneurolepidium chinense*)和大针茅(*Stipa grandis*)不同物候期植株分解的微生物特性. 草原生态系统研究(第4集). 北京:科学出版社,1992. 151~158. Liao Y N, Zhang G Z, Zhao J. The microbial characteristics of decomposing on plant material of *Aneurolepidium chinense* and *Stipa grandis* in different phenological periods in steppe (In Chinese). *Research on Grassland Ecosystem* (No. 4), Beijing: Science Press. 1992. 151~158
- [11] 刘世贵,葛绍荣,龙章富. 川西北退化草地土壤微生物数量与区系研究. 草业学报,1994,3(4): 70~76. Liu S G, Ge S R, Long Z F. Studies on soil microorganism numbers and microbiota of degenerated rangelands in northwest region of Sichuan, P. R. China (In Chinese). *Acta Prataculturae Sinica*, 1994, 3(4): 70~76
- [12] 姚拓,张德罡,胡自治. 高寒地区燕麦根际联合固氮菌研究. 固氮菌分离及鉴定. 草业学报, 2004, 13(2): 106~111. Yao T, Zhang D G, Hu Z Z. Studies on associative symbiotic nitrogen bacteria in rhizosphere of oat in alpine region. Isolate and identify associative symbiotic nitrogen bacteria (In Chinese). *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13(2): 106~111
- [13] 郭继勋,祝廷成. 羊草草原土壤微生物的数量和生物量. 生态学报,1997,17(1): 78~82. Guo J X, Zhu T C. Study on numbers and biomass of soil microorganism in *Aneurolepidium Chinense* Grassland (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17 (1): 78~82
- [14] 姚拓,王刚,龙瑞军,等. 兰州地区盐碱地小麦根际联合固氮菌分离及部分特性研究. 土壤学报,2004,41(3): 444~448. Yao T, Wang G, Long R J, *et al.* Isolation and characteristics of associative symbiotic nitrogen bacteria from rhizosphere of wheat in saline soil in Lanzhou area (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41 (3): 444~448
- [15] Nehl D B, Allen S J, Brown J F. Deleterious rhizosphere bacteria: an integrating perspective. *Appl. Soil Ecol.*, 1996, 5: 1~20
- [16] Christie P, Newman E I, Campbell R. The influence of neighboring grassland plants on each other's endomycorrhizas and root surface microorganisms. *Soil Biol. Biochem.*, 1978, 10: 521~527
- [17] Wardle D A, Nicholson K S. Synergistic effects of grassland plant species on soil microbial biomass and activity: Implications for ecosystem-level effects of enriched plant diversity. *Funct. Ecol.*, 1996, 10: 410~416
- [18] 张宝深,白雪芳,顾立华,等. 生化他感作用与高寒草甸人工草场自然退化现象的研究. 生态学报, 1989, 9(2): 115~120. Zhang B S, Bai X F, Gu L H, *et al.* Study on allelopathy and natural degeneration phenomena of artificial grassland on alpine meadow (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 1989, 9(2): 115~120
- [19] 张奇春,王光火,方斌. 不同施肥处理对水稻养分吸收和稻田土壤微生物生态特性的影响. 土壤学报,2005,42(1): 116~121. Zhang Q C, Wang G H, Fang B. Influence of fertilization treatment on nutrients uptake by rice and soil ecological characteristics of soil microorganism in paddy field (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(1): 116~121
- [20] Diab H G, Louws F J, Mueller J P, *et al.* Responses of soil microbial community structure and diversity to agricultural deintensification. *pedosphere*, 2005, 15(4): 11~17
- [21] 汪海珍,徐建民,谢正苗. 转基因作物在土壤环境中的残留及其对土壤生物的影响. 土壤, 2005, 37(4): 28~32. Wang H Z, Xu J M, Xie Z M. Residues of transgenic plants in soil and impact on soil organisms (In Chinese). *Soils*, 2005, 37(4): 28~32
- [22] 赵勇斌,胡美蓉,邵煜庭. 甘肃天祝永丰滩高山草原土壤肥力状况及微生物生态的研究. 中国草原, 1984, 6(3): 65~69. Zhao Y B, Hu M R, Shao Y T. A study on soil fertility and microbial ecology in the Yongfengtan alpine grassland in Tianzhu of Gansu (In Chinese). *Grassland of China*, 1984, 6 (3): 65~69

POPULATIONS OF SOIL NITROGEN BACTERIA GROUPS IN ALPINE STEPPE OF DIFFERENT DISTURBED HABITATS IN TIANZHU

Yao Tuo¹ Long Ruijun^{1,2} Shi Shangli¹ Zhang Degang¹

(1 *Pratacultural College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China*)

(2 *Northwest Institution of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China*)

Abstract Populations and distribution of soil nitrogen bacteria groups (ammonifying bacteria, nitrobacteria, free nitrogen fixing bacteria and denitrobacteria) in alpine steppe of different disturbed habitats in Tianzhu were investigated and analyzed with the plate count and MPN methods. Results show 1) Populations of soil nitrogen bacteria groups varied greatly with soil depth. They were much greater (1.44 to 7.32 times) in 0~20 cm soil layer than in 20~40 cm one; and they also varied sharply from group to group, forming a decreasing order of ammonifying bacteria > free azotobacteria > denitrobacteria > nitrobacteria; 2) They differed sharply from habitat to habitat in the range of 1.27~9.29 times, and moreover the effect of habitat on population of nitrobacteria was much stronger than on those of denitrobacteria and ammonifying bacteria; 3) The total population of the nitrogen bacteria groups was the highest in the annual artificial grassland, which was followed by perennial grassland, fenced grassland, rodent hill and un-fenced grassland in a decreasing order; and 4) Regardless of difference in habitat, spatial distribution and groups, the populations of soil nitrogen bacteria groups showed a general saddle-shaped tend, i. e. within the 0~20 cm soil layer, they were low in July, rose up the peak in August and declined in September, and within the 20~40 cm soil layer, they show the same but smaller in amplitude.

Key words Alpine steppe; Disturbed habit; Soil microorganism; Nitrogen bacteria group; Population distribution