

杨航宇,刘艳梅,罗广元,等.荒漠区食细菌线虫对生物土壤结皮下土壤微生物量的影响[J].中国沙漠,2021,41(6):120-125.

荒漠区食细菌线虫对生物土壤结皮下 土壤微生物量的影响

杨航宇^{1,2}, 刘艳梅^{3,4}, 罗广元^{1,2}, 刘凤莲³

(1.甘肃林业职业技术学院,甘肃 天水 741020; 2.甘肃农业大学 园林工程学院,甘肃 兰州 730070; 3.天水师范学院 生物工程与技术学院,甘肃 天水 741001; 4.中国科学院西北生态环境资源研究院 沙坡头沙漠试验研究站,甘肃 兰州 730000)

摘要:为探明荒漠区土壤食细菌线虫与生物土壤结皮下土壤微生物量的关系,以腾格里沙漠东南缘的人工植被固沙区生物土壤结皮覆盖的沙丘土壤为研究对象,采集藻-地衣结皮和藓类结皮下0—10 cm土样,并以每克土壤15、30、45、60、90、120、150条的食细菌线虫密度接种,以未接种线虫的土样为对照,经一段时间的培养后测定接种和未接种食细菌线虫土壤的微生物量碳和氮。结果表明:无论藻-地衣结皮还是藓类结皮下的土壤,每克土壤90条以内的土壤食细菌线虫均可显著提高土壤微生物量碳和氮($P<0.05$),但随着土壤食细菌线虫的繁殖或过量接种,其与土壤微生物量之间呈现出由正相关性向负相关性的转变;此外,结皮类型也显著影响土壤微生物量碳和氮的含量($P<0.05$),发育晚期的藓类结皮下土壤微生物量碳和氮均高于发育早期的藻-地衣结皮。因此,在腾格里沙漠人工植被固沙区藻-地衣结皮和藓类结皮下,一定密度的土壤食细菌线虫能显著提高土壤微生物量,指示适当密度的土壤食细菌线虫可促进荒漠区土壤修复和改良。

关键词:荒漠区;土壤食细菌线虫;土壤微生物量;生物土壤结皮;接种密度;结皮类型

文章编号: 1000-694X(2021)06-120-06

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00029

中图分类号: Q959.17

文献标志码: A

0 引言

作为荒漠生态系统的“工程师”,生物土壤结皮(Biocrusts)是干旱半干旱荒漠地表景观的重要组成部分,是由隐花植物和土壤微生物以及相关的其他生物通过菌丝体、假根和分泌物等与土壤表层颗粒胶结而形成的十分复杂的复合体^[1-2]。生物土壤结皮能够调节土壤的温湿度、促进沙地物质循环和能量流动及干旱半干旱地区的生态修复、有利于土壤动物多样性的保护^[3],对其研究是实现荒漠生态系统管理和可持续发展的重要前提。

土壤微生物量指土壤中除植物根系外、体积小于 $5\times 10^3\ \mu\text{m}^3$ 的生物总量,主要包括真菌、细菌、放线菌、藻类和原生动物等生物群落,是土壤有机质中

最活跃和最易变成分,其变化可敏感反映土壤肥力及健康程度,是判别退化生态系统修复程度的重要指标^[4]。土壤线虫是土壤生态系统中极为丰富的后生动物,广泛分布于各种生境的土壤中^[5-6],数量可达 9.2×10^7 条 $\cdot\text{m}^{-2}$ 。食细菌线虫作为土壤线虫的优势类群,在土壤有机质分解、养分转化和能量传递中起着非常重要的作用^[7]。陈小云等^[8]和Bardgett等^[9]的研究表明,接种食细菌线虫能够提高土壤微生物量碳、氮和磷的含量。肖海峰^[10]发现,食细菌线虫的取食活动可以增加土壤细菌的数量和活性,改变微生物的群落结构。毛小芳等^[11]发现,一定数量的线虫可促进细菌的数量和活性及土壤氮素的矿化,而过多的线虫对细菌数量和活性及土壤氮素矿化的促进作用会下降。截至目前,土壤线虫的作

收稿日期:2020-02-18; 改回日期:2021-04-15

资助项目:国家自然科学基金项目(41761057);盛彤笙创新基金项目(GAN-STIS-2019-1);甘肃省高等学校青年博士基金项目(2021 QB-138);甘肃省自然科学基金项目(21JR7RE177)

作者简介:杨航宇(1978—),男,甘肃陇南人,博士,教授,主要从事干旱区土壤生物的研究。E-mail: yhy-780601@163.com

通信作者:刘艳梅(E-mail:lym-781118@163.com);罗广元(Email:gslyxsc@163.com)

用表现为降低或增加微生物数量,抑制或促进氮、磷的矿化,其研究结果仍不尽相同^[12]。可见,关于食细菌线虫与土壤微生物间关系的研究已引起了人们广泛的关注,但在缺水干旱和土壤贫瘠的腾格里沙漠生态系统中,土壤食细菌线虫与土壤微生物量之间如何互作还未见报道。

鉴于此,本研究以腾格里沙漠东南缘的人工植被固沙区藻-地衣和藓类结皮覆盖的沙丘土壤为研究对象,明确接种不同密度的食细菌线虫后土壤微生物量的变化,揭示土壤食细菌线虫与微生物之间的关系,从而为荒漠生态系统的修复与管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于腾格里沙漠东南缘(37°32'N, 105°02'E)的宁夏中卫市中国科学院沙坡头沙漠试验研究站的人工植被固沙区,处于荒漠化草原向草原化荒漠的过渡地带。受蒙古高压的影响,该地区气候干燥且多西北风,年降水量 186 mm,年蒸发量高达 3 000 mm。地下水位达 80 m,不能被植物利用,因此,降雨成为该区植物生长的主要水分来源。

为保护包兰线铁路沙坡头沙漠路段的畅通,从 1956 年起,中国沙漠科学家相继建立了“以固为主,固阻结合”的固沙防护体系。自人工植被固沙区建立后,沙丘表面物理结构初步得到稳定,并由大气降尘形成的无机土壤结皮逐渐演变成藻类、苔藓和地衣等隐花植物为主的生物土壤结皮^[13-14],结皮的盖度达 80%。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤的基本性状及取样

土壤取自腾格里沙漠东南缘的 1956 年人工植被固沙区藻-地衣结皮和藓类结皮覆盖下的沙土(理化性质见表 1),随机选择 3 个 10 m×10 m 的样方,在每个样方内随机选取 5 个点,去除地表的凋落物层,分 2 种方式采样,一种方式是用 PVC 管(内径 110 mm,高 100 mm)采集原状结皮土壤样品,每种结皮类型的土壤样品各采集 24 个,共采集到 48 个原状结皮土壤样品,每个样品采集完成后盖上底盖,做成一个培养钵,带回实验室置于常温下备用;另一种方式是采用 5 点取样法,用直径为 5 cm 土钻采取 0—10 cm 土层的土样,采集前去除地表的凋落物层,将同种结皮下的土壤混合形成一个混合土样,去掉土壤中可见植物根系和残体,用布袋装好土样,带回实验室用于土壤食细菌线虫的富集培养。

表 1 人工植被固沙区藻-地衣结皮和藓类结皮覆盖土壤的理化性质
Table 1 Soil physical and chemical properties of cyanobacteria-lichen crusts and moss crusts in artificial vegetation-fixed sand regions

结皮类型	沙粒 /%	粉粒 /%	黏粒 /%	有机碳 /(g·kg ⁻¹)	全氮 /(g·kg ⁻¹)	速效氮 /(mg·kg ⁻¹)	全磷 /(g·kg ⁻¹)	速效磷 /(mg·kg ⁻¹)	pH 值	线虫密度 /(条·g ⁻¹)
藻-地衣结皮	94.57	4.15	1.31	2.97	0.14	18.28	0.61	18.74	8.05	2.44
藓类结皮	92.57	5.40	2.07	3.15	0.17	21.00	0.66	21.83	8.05	10.40

1.2.2 样品中土壤线虫的杀灭处理

为了减少对原位土壤物理结构和微生物区系的破坏,本试验采用低温冷冻来杀灭处理样品中原有的土壤线虫^[8],先调节培养钵中的土壤含水量至田间持水量的 60%,然后在 22 ℃下培养 7 d,再将其置于-26 ℃冰冻处理 48 h 来杀灭土壤中活的线虫;冰冻结束后,再次调节培养钵中的土壤含水量至田间持水量的 60%后,将其置于 22 ℃左右的温室中培养 7 d 和-26 ℃冰冻处理 48 h,这样往复培养-冰冻多次,最后将其放入 22 ℃恒温箱中培养 7 d。采用改良的 Baerman 漏斗法^[15]检测土壤线虫,直到未

检测出线虫为止。
1.2.3 土壤食细菌线虫的富集培养及接种
采用原位富集培养法^[15]获得土壤食细菌线虫。取人工植被固沙区采集的新鲜土壤加入等量的新鲜猪粪并在瓷盆中混匀,置于 22 ℃恒温中进行 40 d 左右的富集培养后,采用改良的 Baerman 漏斗法进行线虫的分离并经光学显微镜检查,获取大小基本一致和数量足够的成体线虫方可用于接种^[16]。先调节培养钵中的土壤含水量至田间持水量的 60%,将内径 0.5 cm、外径 0.6 cm 的不锈钢管插入土壤 5 cm 处,然后用移液枪把计算好含有土壤食细菌线

虫的水缓慢注入到不锈钢管内,待液体完全渗到土壤中后,拔出不锈钢管。

1.2.4 试验设计

将低温冷冻杀灭线虫后的藻-地衣和藓类结皮下的原位土壤分别称重(去除PVC培养钵的重量),将食细菌线虫的成虫按每克土壤15、30、45、60、90、120、150条接入PVC培养钵中,以未接种土壤食细菌线虫的土壤为对照(0条),每个土壤样品重复3次,并调节土壤含水量至田间持水量的60%,在22℃的温箱内进行培养,每5d浇水1次,每次每个培养钵中约浇水200 mL左右。在培养到1、10、20、30、60 d时,分别测定土壤微生物量碳和氮的含量。

1.2.5 分析方法

土壤含水量、粒径、pH值、有机质、全氮、速效氮、全磷和速磷分别采用烘干法、粒度仪法、酸度计法、重铬酸钾容量法、凯氏定氮法、碱解扩散法、硫酸-高氯酸消煮法和碳酸氢钠法测定^[17]。

土壤微生物量碳和氮采用氯仿熏蒸,经0.5 mol·L⁻¹ K₂SO₄溶液浸提后^[18],分别用重铬酸钾氧化硫酸亚铁回滴法和凯氏定氮法测定土壤微生物量碳和氮。

1.2.6 统计学检验方法

数据经Excel处理后,采用SPSS16.0软件进行方差分析,显著性水平均为0.05。方差分析用于土壤食细菌线虫的接种密度和结皮类型对土壤微生物量碳氮的影响;多因素方差分析用于土壤食细菌线虫的接种密度、结皮类型和培养时间交互作用对土壤微生物量碳和氮的影响。

2 结果与分析

2.1 土壤食细菌线虫对生物土壤结皮下土壤微生物量碳和氮的影响

2.1.1 藻-地衣结皮

由图1可知,在培养1 d时,藻-地衣结皮下接种不同密度的食细菌线虫后土壤微生物量碳和氮虽然有所波动但差异很小;在培养10 d时,藻-地衣结皮下线虫接种密度为每克土壤0—90条,土壤微生物量碳和氮随土壤食细菌线虫接种密度的增加而提高,在线虫接种密度为每克土壤90条,土壤微生物量碳和氮含量达到峰值,而后随着线虫接种密度的增加土壤微生物量碳和氮含量下降;培养20 d和30 d时,藻-地衣结皮下土壤食细菌线虫接种密度为

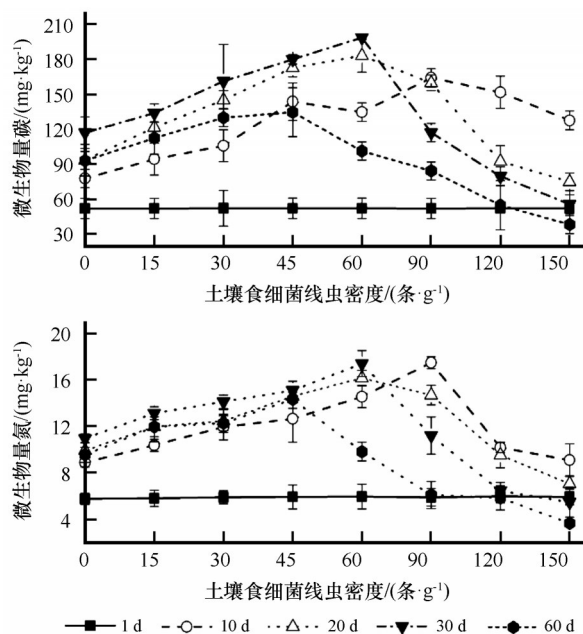


图1 土壤食细菌线虫对藻-地衣结皮下土壤微生物量碳和氮(平均值±标准误)的影响

Fig.1 Effects of soil bacterial-feeding nematodes on soil microbial biomass carbon and nitrogen (mean±S.E.) under cyanobacteria-lichen crusts

每克土壤0—60条,土壤微生物量碳和氮含量随土壤食细菌线虫接种密度的增加而提高,在线虫接种密度为每克土壤60条时,土壤微生物量碳和氮达到峰值,而后随着线虫接种密度的增加土壤微生物量碳和氮下降;在培养60 d时,藻-地衣结皮下土壤食细菌线虫接种密度为每克土壤0—45条,土壤微生物量碳和氮随土壤食细菌线虫接种密度的增加而提高,在线虫接种密度为每克土壤45条时,土壤微生物量碳和氮达到峰值,而后随着线虫接种密度的增加土壤微生物量碳和氮下降。可见,在藻-地衣结皮下,土壤微生物量碳和氮均随土壤食细菌线虫接种密度的增加而呈现先上升后下降的趋势。

2.1.2 藓类结皮

由图2可知,在培养1 d时,藓类结皮下接种不同密度的食细菌线虫后土壤微生物量碳和氮含量虽然有所波动但差异很小;在培养10 d时,藓类结皮下土壤食细菌线虫接种密度为每克土壤0—90条,土壤微生物量碳和氮随线虫接种密度的增加而提高,当线虫接种密度为每克土壤90条时,土壤微生物量碳和氮达到峰值,而后土壤微生物量碳和氮含量随着线虫接种密度的增加而下降;培养20 d和30 d时,藓类结皮下土壤食细菌线虫接种密度为每克土壤0—60条,土壤微生物量碳和氮随土壤食细

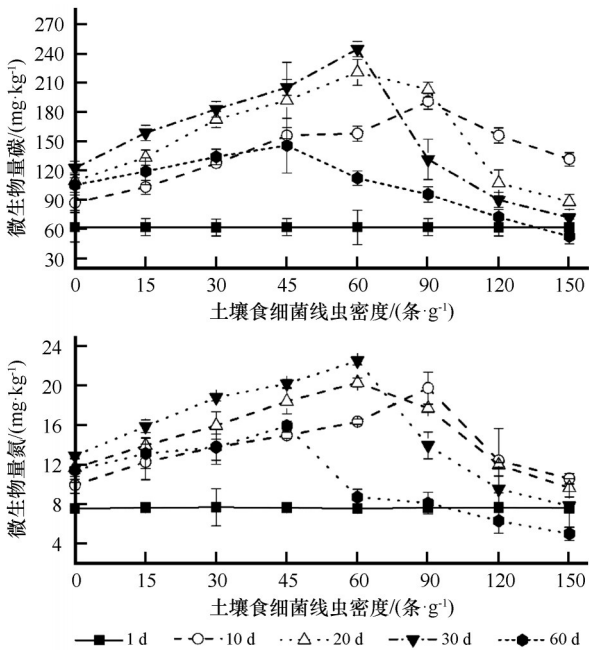


图2 土壤食细菌线虫对藓类结皮下土壤微生物量碳和氮(平均值±标准误)的影响

Fig.2 Effects of soil bacterial-feeding nematodes on soil microbial biomass carbon and nitrogen (mean±S.E) under moss crusts

菌线虫接种密度的增加而提高,当线虫接种密度为每克土壤 60 条时,土壤微生物量碳和氮达到峰值,而后随着土壤食细菌线虫接种密度的增加土壤微

生物量碳和氮下降;在培养 60 d 时,藓类结皮下土壤食细菌线虫接种密度为每克土壤 0—45 条,土壤微生物量碳和氮随土壤食细菌线虫接种密度的增加而提高,在线虫接种密度为每克土壤 45 条时,土壤微生物量碳和氮达到峰值,而后随着线虫接种密度的增加土壤微生物量碳和氮的下降。可见,在藓类结皮下,土壤微生物量碳和氮含量均随着土壤食细菌线虫接种密度的增加而呈现先上升后下降的趋势。

因此,在一定密度的食细菌线虫接种范围内,土壤食细菌线虫可显著提高藻-地衣和藓类结皮下土壤微生物量碳和氮($P<0.05$),指示适当密度的土壤食细菌线虫可提高土壤微生物数量和活性。

2.2 土壤微生物量碳和氮的多因素分析

由表 2 方差分析可知,土壤食细菌线虫的接种密度、培养时间和结皮类型均极显著影响土壤微生物量碳和氮($P<0.001$);除接种密度外,结皮类型也极显著影响土壤微生物量碳和氮($P<0.001$),藻-地衣和藓类结皮下土壤在接种相同密度的土壤食细菌线虫后,藓类结皮下土壤微生物量碳和氮均高于藻-地衣结皮,说明藓类结皮下土壤更利于食细菌线虫和微生物的生长与繁殖。此外,线虫接种密度、结皮类型和培养时间三者互作显著影响土壤微

表 2 土壤微生物量碳和氮的多因素方差分析

Table 2 Multivariate analysis of variance of soil microbial biomass carbon and nitrogen

项目	变异来源	平方和	自由度	均方	F 值
土壤微生物量碳	结皮类型	9 996.2	1	9 996.2***	20.5
	培养时间	202 844.6	4	50 711.2***	104.0
	接种密度	219 829.1	6	36 638.2***	75.1
	结皮类型×培养时间	1 543.6	4	385.9	0.8
	结皮类型×接种密度	1 743.6	6	290.6	0.6
	培养时间×接种密度	145 684.5	24	6 070.2***	12.5
	结皮类型×培养时间×接种密度	2 482.4	24	103.4	0.2
土壤微生物量氮	结皮类型	264.1	1	264.1***	337.2
	培养时间	1 355.1	4	338.8***	432.5
	接种密度	1 033.3	6	172.2***	219.9
	结皮类型×培养时间	24.0	4	6.0***	7.7
	结皮类型×接种密度	3.2	6	0.5	0.7
	培养时间×接种密度	937.7	24	39.1***	49.9
	结皮类型×培养时间×接种密度	32.7	24	1.4*	1.7

***、**、*分别代表差异显著水平 $P<0.001$ 、 $P<0.01$ 、 $P<0.05$ 。

生物量碳和氮($P<0.05$),表明线虫接种密度、结皮类型和培养时间三者共同影响土壤微生物量碳和氮。

3 讨论

研究表明,无论是藻-地衣结皮还是藓类结皮下的土壤,接种一定密度的土壤食细菌线虫均可显著提高土壤微生物量碳和氮($P<0.05$),但超过接种阈值后土壤微生物量随着线虫接种密度的增加反而降低,甚至低于未接种线虫的土壤。陈小云等^[8]在农田生态系统的研究中也得到了相似的结论。一定密度的土壤食细菌线虫可显著提高荒漠区土壤微生物量,表明土壤食细菌线虫捕食能刺激土壤微生物生长,使微生物数量和活性增加^[19]。其可能的机理是:①线虫产生的分泌物和排泄物为微生物的生长和繁殖提供了基质和营养,刺激了微生物的生长与繁殖;②被线虫取食的微生物在肠道中大部分可能保持活性,并获得某些生物活性物质而增加其活性,这些微生物经线虫排泄后其活性可能更强;③由于线虫有较强的移动能力,可携带微生物传播到营养物质丰富的区域,从而刺激了微生物的生长与繁殖。因此,适当密度的土壤食细菌线虫对微生物的取食不但没有降低微生物的数量反而刺激了微生物的生长与繁殖,从而提高微生物的数量和活性。但当我们接种密度过大的土壤食细菌线虫(每克土壤 120 条和 150 条),或虽然早期接种土壤食细菌线虫的密度较小/适中(每克土壤 ≤ 90 条),但随着后期土壤食细菌线虫的过度繁殖后其密度大幅度提高,土壤微生物量出现了明显降低的现象,其主要原因可能是过量的土壤食细菌线虫对微生物的牧食活动大幅度增加,导致微生物数量的大量减少^[11],因此在过量接种土壤食细菌线虫或人工培养的后期阶段土壤微生物量出现降低的趋势。

此外,接种相同密度的土壤食细菌线虫后,藓类结皮下土壤微生物量碳和氮的含量均高于藻-地衣结皮。相比于发育早期的藻-地衣结皮,藓类结皮作为结皮发育的晚期阶段^[20-21],其相对优越的土壤环境(更高的土壤营养、较高的水分含量和相对稳定的温度等)维持了更丰富的土壤微生物,为土壤食细菌线虫的生长和繁殖创造了良好的食物来源,而土壤食细菌线虫的生长和繁殖反过来又促进了土壤微生物的繁衍,因此,相对优越的土壤环境是造成这种差异的根本原因。

4 结论

在腾格里沙漠人工植被固沙区藻-地衣和藓类结皮下每克土壤 90 条以内的土壤食细菌线虫可显著提高土壤微生物量碳和氮($P<0.05$),但随着土壤食细菌线虫的繁殖或过量接种,其与土壤微生物量之间表现出由正相关向负相关的转变,指示了适当密度的土壤食细菌线虫能够提高土壤微生物的数量和活性,加速土壤营养元素转化,有利于荒漠区土壤的修复和改良;此外,结皮类型也显著影响土壤微生物量碳和氮($P<0.05$),藓类结皮下土壤微生物量碳和氮显著高于藻-地衣结皮,指示相对于发育早期的藻-地衣结皮,发育晚期的藓类结皮更有利于土壤食细菌线虫和微生物的生长与繁殖。因此,在腾格里沙漠人工植被固沙区藻-地衣和藓类结皮下,土壤食细菌线虫可促进土壤微生物数量和活性,指示适当密度的土壤食细菌线虫可促进荒漠区土壤修复和改良,有利于荒漠生态系统的恢复。

参考文献:

- [1] West N E. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions [J]. *Advances in Ecological Research*, 1990, 20: 179-223.
- [2] Belnap J, Lange O L. *Biological Soil Crust: Structure, Function and Management* [M]. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2003.
- [3] 王雪峰, 苏永中, 杨晓, 等. 干旱区沙地长期培肥对土壤线虫群落特征的影响 [J]. *中国沙漠*, 2011, 31(6): 1416-1422.
- [4] 陈政, 阳贵德, 孙庆业. 生物结皮对铜尾矿废弃地土壤微生物量及酶活性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2009, 20(9): 2193-2198.
- [5] 江春, 黄菁华, 李修强, 等. 长期施用有机肥对红壤旱地土壤线虫群落的影响 [J]. *土壤学报*, 2011, 48(6): 1235-1241.
- [6] 李琪, 梁文举, 姜勇. 农田土壤线虫多样性研究现状及展望 [J]. *生物多样性*, 2007, 15(2): 134-141.
- [7] Griffiths B S. The role of bacterial feeding nematodes and protozoa in rhizosphere nutrient cycling [J]. *Aspects of Applied Biology*, 1989, 22(1): 141-145.
- [8] 陈小云, 李辉信, 胡锋, 等. 食细菌线虫对土壤微生物量和微生物群落结构的影响 [J]. *生态学报*, 2004(12): 2825-2831.
- [9] Bardgett R D, Keiller S, Cook R, et al. Dynamic interactions between soil animals and microorganisms in upland grassland soils amended with sheep dung: a microcosm experiment [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30: 531-539.
- [10] 肖海峰. 土壤食细菌线虫对微生物数量和群落结构的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [11] 毛小芳, 李辉信, 龙梅, 等. 不同食细菌线虫取食密度下线虫对细菌数量、活性及土壤氮素矿化的影响 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(6): 1112-1116.

- [12] 胡锋,李辉信,谢连琪.土壤食细菌线虫与细菌的相互作用及其对N、P矿化-生物固定的影响及机理[J].生态学报,1999,19(6):914-920.
- [13] 房世波,冯凌,刘华杰,等.生物土壤结皮对全球气候变化的响应[J].生态学报,2008,28(7):3312-3321.
- [14] 姚槐应,何振立,黄昌勇.红壤微生物量氮的周转期及其研究意义[J].土壤学报,1999(3):387-394.
- [15] 毛小芳,胡锋,李辉信.土壤食细菌线虫的原位富集培养方法[J].生态学报,2007(2):650-654.
- [16] Li H X, Chen X Y, Hu F. Isolation and enrichment culturing of a soil bacterial-feeding nematode[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2002, 25(2): 71-74.
- [17] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科学技术出版社,2000:146-195.
- [18] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1987, 19(6): 703-707.
- [19] Griffiths B S, Bardgett R D. Interactions between micro-feeding invertebrates and soil microorganisms[M]//Van Elsas. Modern Soil Microbiology. New York, USA: Marcel Dekker Inc., 1997: 165-182.
- [20] 刘艳梅,李新荣,赵昕,等.生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响[J].生态学报,2013,33(9): 2816-2824.
- [21] 李新荣,张志山,谭会娟,等.我国北方风沙危害区生态重建与恢复:腾格里沙漠土壤水分与植被承载力的探讨[J].中国科学:生命科学,2014(3):257-266.

Effects of bacterial-feeding nematodes on soil microbial biomass under biocrusts in desert areas

Yang Hangyu^{1,2}, Liu Yanmei^{3,4}, Luo Guangyuan^{1,2}, Liu Fenglian³

(1. Gansu Forestry Technology College, Tianshui 741020, Gansu, China; 2. College of Landscape Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 3. College of Biological Engineering and Technology, Tianshui Normal University, Tianshui 741001, Gansu, China; 4. Shapotou Desert Research and Experiment Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: To explore the relationships between soil bacterial-feeding nematodes and soil microbial biomass under biocrusts in desert areas. Sand dune soil under biocrusts in the artificial vegetation areas at the southeast edge of Tengger desert was studied. Soil samples of 0–10 cm under cyanobacteria-lichen and moss crusts were collected. Moreover, soil bacterial-feeding nematodes with 15, 30, 45, 60, 90, 120 and 150 individuals in per gram of soil were inoculated in soil, and the soils of uninoculated bacterial-feeding nematodes were the contrasts. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in inoculated and uninoculated bacterial-feeding nematodes were tested after a period cultured time. The result showed that soil microbial biomass carbon and nitrogen were significantly increased by soil bacterial-feeding nematodes ($P < 0.05$) with less than 90 individuals in per gram of soil. However, soil microbial biomass carbon and nitrogen showed a change from a positive correlation to a negative correlation with the reproduction or too much inoculated density of bacterial-feeding nematodes under both cyanobacteria-lichen and moss crusts. In addition, crust types also significantly affected soil microbial biomass carbon and nitrogen ($P < 0.05$), which late-successional moss crusts had higher soil microbial biomass carbon and nitrogen than early-successional cyanobacteria-lichen crusts. Therefore, the certain density of soil bacterial-feeding nematodes can obviously improve soil microbial biomass in the artificial vegetation areas at the southeast edge of Tengger desert, indicating that the suitable density of soil bacterial-feeding nematodes can promote the restoration and improvement of soil in desert areas.

Key words: desert areas; soil bacterial-feeding nematodes; soil microbial biomass; biocrusts; inoculated density; crust types