

生物土壤结皮对荒漠区土壤微生物生物量的影响*

刘艳梅^{1,2} 杨航宇³ 李新荣²

(1 天水师范学院生命科学与化学学院, 甘肃天水 741001)

(2 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙坡头沙漠试验研究站, 兰州 730000)

(3 甘肃林业职业技术学院, 甘肃天水 741020)

摘要 为探明生物土壤结皮对土壤微生物生物量碳和氮的影响, 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, 根据固沙时间的不同将样地分为 4 个不同的区进行采样 (55、47、30 和 20 a 固沙区), 以流沙区 (0 a) 和天然植被区 (>100 a) 为对照。研究表明: 人工植被固沙区的藻-地衣结皮和藓类结皮均可显著提高土壤微生物生物量碳 (SMBC) 和氮 (SMBN) 含量 ($p < 0.05$), 且固沙年限与 SMBC 和 SMBN 含量存在显著的正相关关系 ($p < 0.05$); 结皮类型显著影响土壤微生物生物量, 藓类结皮下 SMBC 和 SMBN 含量显著高于藻-地衣结皮下 SMBC 和 SMBN 含量 ($p < 0.05$); 此外, 生物土壤结皮可显著提高 0~20 cm 土层 SMBC 和 SMBN 含量 ($p < 0.05$), 且这种影响随土层的增加而减弱。而且, 生物土壤结皮下 SMBC 和 SMBN 含量表现明显的季节变化, 表现为夏季 > 春季 > 秋季。水热因子是决定土壤微生物生物量季节变化的主要因子, 而生物土壤结皮通过调节土壤温度和湿度而影响土壤微生物生物量的季节变化。

关键词 生物土壤结皮; 土壤微生物生物量碳和氮; 结皮类型; 土壤深度; 季节变化

中图分类号 Q938.1 **文献标识码** A

生物土壤结皮 (Biological soil crusts, BSCs) 是由隐花植物如蓝藻、绿藻、硅藻、地衣、苔藓和土壤微生物, 以及相关的其他生物体通过菌丝体、假根和分泌物等与土壤表层颗粒胶结形成的十分复杂的复合体, 是干旱半干旱荒漠地表景观的重要组成部分之一^[1-2]。在大多数干旱半干旱的荒漠地区受非生物因子的调控和胁迫, 尤其是水分的匮乏, 地表不可能支撑大面积相对均一和连续分布的维管束植物群落, 植物群落呈现斑块状分布格局, 而这些植物群落斑块状的分布为生物土壤结皮的拓殖和覆盖提供了空间和适宜的生态位, 使生物土壤结皮广泛分布于干旱半干旱的荒漠地区^[1,3]。生物土壤结皮作为荒漠生态系统的生态系统工程师 (ecosystem engineer), 在不同生物气候区的荒漠景观过程、土壤生态过程、土壤水文过程、土壤生物过程和地球化学循环过程, 以及干旱半干旱地区生态修复过程中发挥着重要作用^[4-5], 对其研究已成为干旱半干旱区地表过程地学和生物学交叉研究的前沿领域之一, 也是实现对荒漠景观进行生态系统管理和可

持续发展的重要前提。

土壤微生物生物量指土壤中除植物根茬等残体和大于 $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ 的土壤动物以外具有生命活动的生物总量, 其主要生物类群为细菌、真菌、放线菌、藻类和原生动物等, 是土壤有机质中最活跃和最易变化的部分。它是土壤中易于利用的养分库及有机物分解和矿化的动力, 与土壤中的 C、N、P、S 等养分循环密切相关, 其变化可敏感反映土壤肥力的变化及健康程度, 是判别退化生态系统修复程度的重要指标之一^[6-8]。Belnap 和 Lange^[2] 及边丹丹^[9] 报道显示: 生物土壤结皮可提高土壤微生物的数量。陈政等^[10] 的研究表明, 铜尾矿废弃地的生物土壤结皮可提高表层尾矿中的土壤微生物生物量。Yu 等^[11] 的研究表明: 发育晚期的结皮中微生物的数量和活性高于发育早期的结皮。近年来, 关于生物土壤结皮与土壤微生物之间的研究已引起了人们的关注, 但在结皮广泛分布的荒漠生态系统中关于生物土壤结皮与微生物之间的关系及其季节动态仅见少量报道。因此, 在腾格里沙漠东南缘的植

* 国家自然科学基金项目 (41261014)、天水师范学院校列项目 (TSA0923) 资助

† 作者简介: 刘艳梅 (1978—), 女, 甘肃天水人, 博士, 副教授, 主要从事干旱区土壤生物的研究。E-mail: lym - 781118@163.com

收稿日期: 2013-03-15; 收到修改稿日期: 2013-05-03

被固沙区研究生物土壤结皮对土壤微生物的影响来指示生物土壤结皮对土壤质量的影响,从而揭示生物土壤结皮在荒漠生态系统重建中的作用,为退化生态系统的恢复和管理提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

中国科学院沙波头沙漠研究试验站地处宁夏中卫市境内,位于腾格里沙漠东南缘(37°32'N, 105°02'E),是荒漠化草原向草原化荒漠的过渡地带,也是沙漠与绿洲的过渡区。该区海拔高度约为 1 339 m,格状新月形沙丘由西北向东南倾斜,呈阶梯状分布。受蒙古高压的影响,寒冷、干燥、多西北风,年平均风速 2.9 m s⁻¹,夏秋降雨集中,兼有大陆性气候和季风降雨的特点;该区平均气温为 10.6 °C,全年日照时数为 3 264 h,年均降水量仅为 186 mm,且主要集中在 5—9 月,年潜在蒸发量高达

3 000 mm。地下水埋深达 80 m,不能为植物直接利用,降雨成为该区植物生长主要的水分来源。

为确保包兰铁路沙坡头沙漠地段的畅通,于 1956 年起相继建立了“以固为主,固阻结合”的植被固沙防护体系;首先在流动沙丘上垂直于主风的方向扎设阻沙栅栏,然后在阻沙栅栏扎设 1 m² 麦草方格作为固沙屏障,在无灌溉条件下栽植柠条(*Caragana korshinskii*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*)、沙拐枣(*Calligonum arborescens*)和沙木蓼(*Atraphaxis bracteata*)等为主的旱生灌木,其株距与行距分别为 1 m × 2 m 与 2 m × 3 m。逐年实施,50 多年来在铁路北侧和南侧建立了宽度分别为 500 m 与 200 m 的人工植被固沙带,该带全长约 16 km。本研究所选样地位于铁路北侧 1956、1964、1981 和 1991 年建立的人工植被固沙区(固沙年限分别为 55、47、30 和 20a),以流沙区(0 a)和天然植被区(>100 a)为对照。各区域土壤理化性状见表 1^[12-13]。

表 1 人工植被固沙区、天然植被区和流沙区表层土壤(0~20 cm)的理化性状

Table 1 Physico-chemical properties of the topsoil (0~20 cm) in artificially revegetated sand zone, natural vegetation areas and mobile sand dunes

固沙年限 Years after revegetation (a)	粒径分布 Soil particle size distribution (%)			土壤容重 Bulk density (g cm ⁻³)	有机碳 Organic carbon (g kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen (g kg ⁻¹)	pH	结皮及 亚土层厚度 Thickness of the soil crust + subsoil (cm)
	砂粒 Sand 1~0.05 mm	粉粒 Silt 0.05~0.002 mm	黏粒 Clay <0.002 mm					
55	66.40	22.60	11.01	1.44	7.74	1.02	7.99	2.5
47	66.28	24.79	6.93	1.47	7.59	0.74	7.95	2.2
30	71.54	23.59	4.87	1.50	4.32	0.52	7.90	1.4
20	78.87	15.60	4.45	1.52	1.65	0.22	7.87	0.72
0	99.67	0.12	0.21	1.53	0.37	0.17	7.42	0
>100	13.54	72	14.45	1.13	20.54	2.07	8.28	4.87

1.2 试验方法

2011 年 7 月上旬,以 55、47、30 和 20 a 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,以流沙区为对照,采集各研究区藻-地衣结皮和藓类结皮下 0~10、10~20 和 20~30 cm 的土壤样品,共采集结皮下土样 72 个和 9 个流沙对照,分别测定 SMBC 和 SMBN 含量;2011 年 4、7、9 月分别采集人工植被固沙区藻-地衣结皮和藓类结皮下 0~10、10~20 和 20~30 cm 的土壤样品,以沙坡头地区的红卫天然植被区为参照,3 次共采集土样 108 个,分别测定结皮下 SMBC 和 SMBN 含量的季节变化。具体采样方法:每一植被区选择 3 个具有代表

性的地段,面积为 10 m × 10 m,在每块样地内分别选取生长有藻-地衣结皮和藓类结皮的 5 个点,去除地表的凋落物层,然后用直径为 4 cm 土钻进行采样,同种结皮下相同土层的土壤组成一个混合土样,去掉土壤中可见植物根系和残体。将混合的土样用封口袋装好,带回实验室处理,每处理 3 个重复。

SMBC 和 SMBN 含量采用氯仿熏蒸-K₂SO₄ 浸提法^[14-15],浸提液中的碳和氮分别采用重铬酸钾氧化滴定法和凯氏法测定。

1.3 数据分析

数据经 Excel 整理后,采用 SPSS 16.0 软件进行

Duncan 多重比较,显著性水平均为 0.05。方差分析用于分析生物土壤结皮、结皮类型和季节对 SMBC 和 SMBN 含量的影响, Pearson 相关性分析用于分析土壤微生物生物量与固沙年限之间的相关关系。

2 结 果

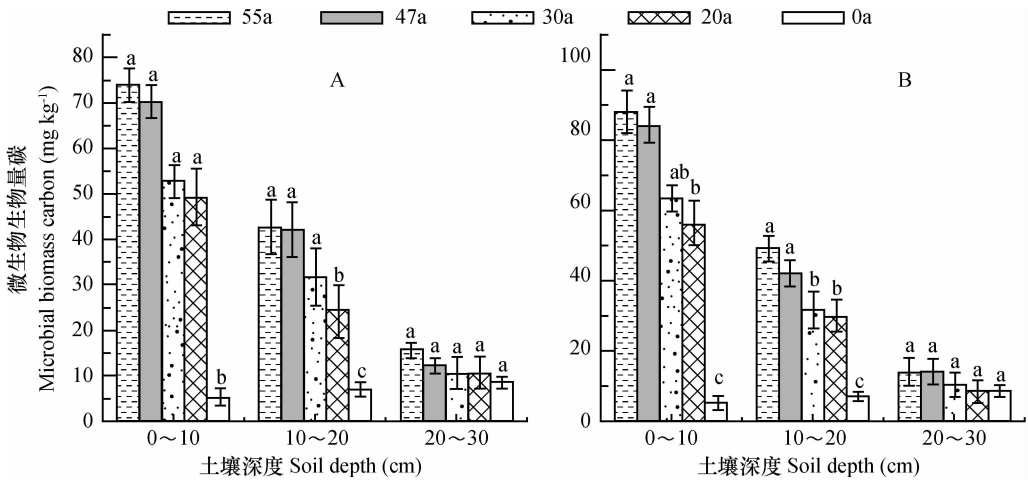
2.1 生物土壤结皮对土壤微生物生物量碳含量的影响

由图 1A 可见,人工植被固沙区藻-地衣结皮下 0~10 cm 土层 SMBC 含量变化为:55 和 47 a 固沙区藻-地衣结皮下 SMBC 含量最高,分别为 73.92 和 70.39 mg kg⁻¹;30 和 20 a 固沙区次之,分别为 52.80 和 49.28 mg kg⁻¹;流沙对照最低,为 5.28 mg kg⁻¹;各固沙区均与流沙对照差异显著 ($p < 0.05$)。藻-地衣结皮下 10~20 cm 土层 SMBC 含量的变化也是如此,55 a > 47 a > 30 a > 20 a > 流沙对照,且各固沙区均与流沙对照差异显著 ($p < 0.05$)。在 20~30 cm 土层,55、47、30 和 20 a 固沙区藻-地衣结皮下 SMBC 含量虽高于流沙对照,但与流沙对照之间差异不显著 ($p > 0.05$)。

由图 1B 可见,人工植被固沙区藓类结皮下 0~

10 cm 土层 SMBC 含量的变化为:55 和 47 a 固沙区藓类结皮下 SMBC 含量最高,分别为 88.00 和 84.48 mg kg⁻¹;30 和 20 a 固沙区次之,分别为 63.37 和 56.32 mg kg⁻¹;流沙对照最低,为 5.28 mg kg⁻¹;各固沙区均与流沙对照差异显著 ($p < 0.05$)。藓类结皮下 10~20 cm 土层 SMBC 含量的变化规律也是如此,55 a > 47 a > 30 a > 20 a > 流沙对照,且各固沙区均与流沙对照差异显著 ($p < 0.05$)。在 20~30 cm 土层,55、47、30 和 20 a 固沙区藓类结皮下 SMBC 含量虽高于流沙对照,但与流沙对照之间差异不显著 ($p > 0.05$)。可见,藻-地衣结皮和藓类结皮均可显著提高 0~20 cm 土层 SMBC 含量 ($p < 0.05$),但这种影响随土层的增加而逐渐减弱,至 20~30 cm 土层与流沙对照相比已无显著差异 ($p > 0.05$)。由方差分析结果也显示,结皮类型显著影响 SMBC 含量,藓类结皮下 SMBC 含量显著高于藻-地衣结皮下 SMBC 含量 ($p < 0.05$)。

相关分析表明,固沙年限与藻-地衣结皮和藓类结皮下 SMBC 含量存在显著的线性正相关关系,其相关系数 r 分别为 0.986 9 和 0.982 6 ($p < 0.05$),表明固沙年限越长,结皮下 SMBC 含量越高。



注: 误差线为标准误。下同 Note: Error bars are standard error. The same below

图 1 藻-地衣 (A) 和藓类结皮 (B) 对 SMBC 含量的影响

Fig. 1 Effects of cyanobacteria-lichen (A) and moss crusts (B) on the contents of SMBC

2.2 生物土壤结皮对土壤微生物生物量氮含量的影响

由图 2A 可见,固沙区藻-地衣结皮下 0~10 cm 土层 SMBN 含量的变化为:55 和 47 a 固沙区藻-地衣结皮下 SMBN 含量最高,分别为 5.65 和 5.39 mg kg⁻¹;30 和 20 a 固沙区次之,分别为 4.07 和 3.91

mg kg⁻¹;流沙对照最低,为 0.76 mg kg⁻¹;各固沙区均与流沙对照差异显著 ($p < 0.05$)。藻-地衣结皮下 10~20 cm 土层 SMBN 含量的变化规律也是如此,55 a > 47 a > 30 a > 20 a > 流沙对照,且各固沙区均与流沙对照差异显著 ($p < 0.05$)。在 20~30 cm 土层,55、47、30 和 20 a 固沙区藻-地衣结皮下 SMBN

含量虽高于流沙对照,但与流沙对照之间差异不显著($p > 0.05$)。由图 2B 可见,藓类结皮下 0~10 cm 土层 SMBN 含量的变化为:55 和 47 a 固沙区藓类结皮下 SMBN 含量最高,分别为 9.40 和 9.06 mg kg⁻¹;30 和 20 a 固沙区次之,分别为 6.90 和 6.05 mg kg⁻¹;流沙对照最低,为 0.76 mg kg⁻¹;各固沙区均与流沙对照差异显著($p < 0.05$)。藓类结皮下 10~20 cm 土层 SMBN 含量的变化规律也是如此,55 a > 47 a > 30 a > 20 a > 流沙对照,且各固沙区均与流沙对照差异显著($p < 0.05$)。在 20~30 cm 土层,55、47、30 和 20 a 固沙区藓类结皮下 SMBN 含量虽高于流沙对照,但与流沙对照之间差异不显著($p > 0.05$)。因此,藻-地衣结皮和藓类结皮可显著提高 0~20 cm 土层 SMBC 含量($p < 0.05$),但这种影响随着土层的增加而逐渐减弱,至 20~30 cm 土层与流沙对照相比已无显著差异。由方差分析结果也显示,结皮类型显著影响 SMBN 含量,藓类结皮下 SMBN 含量显著高于藻-地衣结皮下 SMBN 含量($p < 0.05$)。

相关分析表明,固沙年限与藻-地衣结皮和藓类结皮下 SMBN 含量也存在显著的线性正相关关系,其相关系数 r 分别为 0.982 6 和 0.965 8($p < 0.05$),表明固沙年限越长,结皮下 SMBN 含量越高。

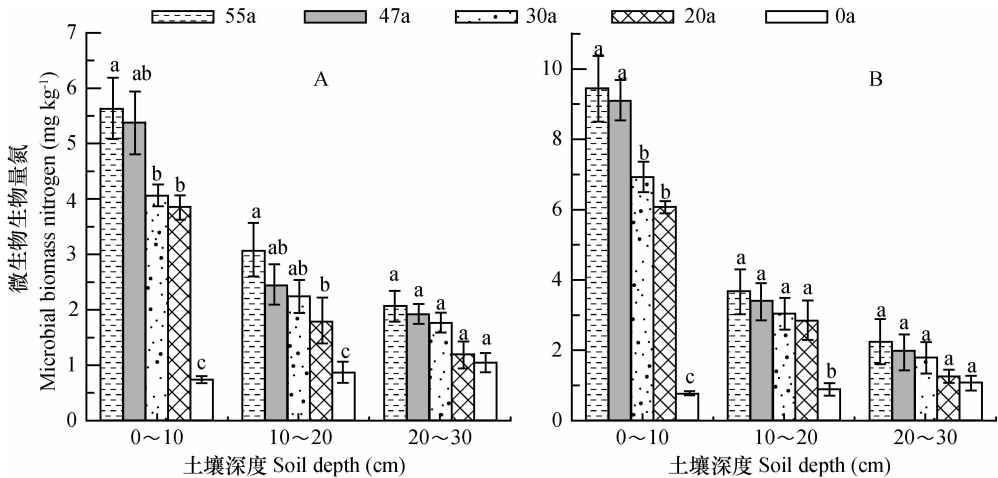


图 2 藻-地衣(A)和藓类结皮(B)对 SMBN 含量的影响

Fig. 2 Effects of cyanobacteria-lichen (A) and moss crusts (B) on the contents of SMBN

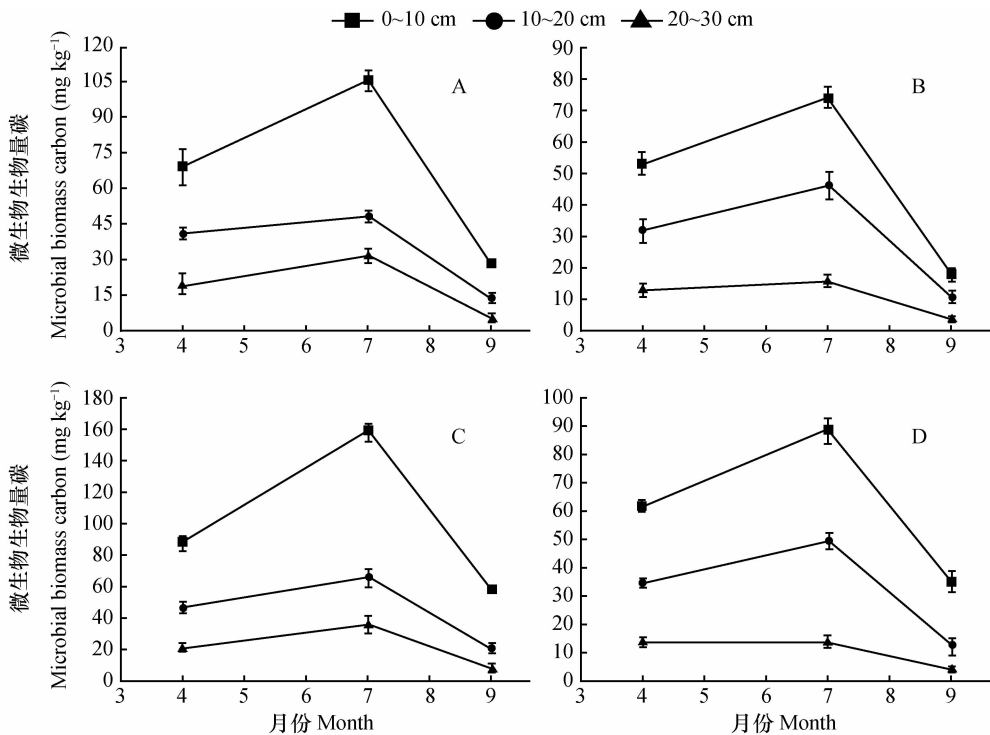
2.4 生物土壤结皮下土壤微生物生物量碳的季节动态

由图 4A 和 4B 可见,天然植被区和人工植被固沙区藻-地衣结皮下 0~10 cm 土层 SMBN 含量的季节变化为:夏季藻-地衣结皮下 SMBN 含量最高,分别为 7.51 和 5.65 mg kg⁻¹,与春季和秋季的差

2.3 生物土壤结皮下土壤微生物生物量碳的季节动态

由图 3A 和 3B 可见,天然植被区和人工植被固沙区藻-地衣结皮下 0~10 cm 土层 SMBC 含量的季节变化为:夏季藻-地衣结皮下 SMBC 含量最高,分别为 105.6 和 73.92 mg kg⁻¹,与春季和秋季的差异显著($p < 0.05$);春季次之,分别为 68.94 和 52.92 mg kg⁻¹;秋季则最低,分别为 28.18 和 17.60 mg kg⁻¹。藻-地衣结皮下 10~20 和 20~30 cm 土层 SMBC 的季节变化相同,夏季最高,春季次之,秋季最低。由图 3C 和 3D 可见,天然植被区和人工植被固沙区藓类结皮下 0~10 cm 土层 SMBC 含量的季节变化规律为:夏季藓类结皮下 SMBC 含量最高,分别为 158.4 和 88.00 mg kg⁻¹;春季次之,分别为 87.07 和 61.54 mg kg⁻¹;秋季最低,分别为 58.08 和 35.20 mg kg⁻¹;夏季显著高于秋季。藓类结皮下 10~20 和 20~30 cm 土层 SMBC 的季节变化同样,夏季最高,春季次之,秋季最低。因此,天然植被区和人工植被固沙区藻-地衣结皮和藓类结皮下 0~30 cm 土层,SMBC 含量存在明显的季节变化,均表现为夏季 > 春季 > 秋季。而且,结皮下 0~10 cm 土层 SMBC 含量的季节变化明显,随着土层的加深这种季节变化有所减弱。

著($p < 0.05$);春季次之,分别为 5.06 和 3.27 mg kg⁻¹;秋季最低,分别为 1.95 和 1.42 mg kg⁻¹。藻-地衣结皮下 10~20 和 20~30 cm 土层 SMBN 含量的季节变化趋势相同,夏季最高,春季次之,秋季最低,但季节之间差异不显著。由图 4C 和 4D 可以看出,天然植被区和人工植被固沙区藓类结皮下



注: A和B分别指天然植被区和人工植被固沙区藻-地衣结皮; C和D分别指天然植被区和人工植被固沙区藓类结皮 Note: A and B refers to cyanobacteria-lichen crusts in artificially revegetated desert zone and natural vegetation areas, respectively; C and D refers to moss crusts in artificially revegetated desert zone and natural vegetation areas, respectively

图3 两种结皮下 SMBC 含量的季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of the contents of SMBC under two crusts

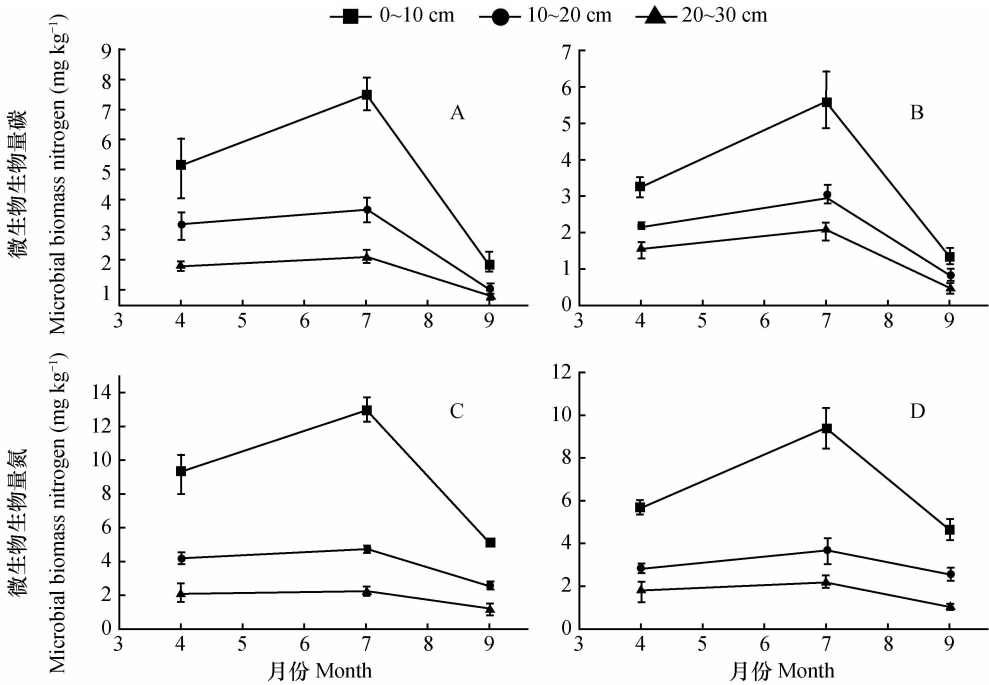
0~10 cm 土层 SMBN 含量的季节变化规律为:夏季藓类结皮下 SMBN 含量最高,分别为 13.05 和 9.40 mg kg^{-1} ;春季次之,分别为 9.21 和 5.74 mg kg^{-1} ;秋季最低,分别为 5.15 和 4.70 mg kg^{-1} ;夏季显著高于秋季。藓类结皮下 10~20 和 20~30 cm 土层 SMBN 含量季节变化同样,夏季最高,春季次之,秋季最低,但季节之间差异不显著($p > 0.05$)。因此,天然植被区和人工植被固沙区藻-地衣结皮和藓类结皮下 SMBN 含量存在明显的季节变化,表现为夏季 > 春季 > 秋季。而且,结皮下 SMBN 含量的季节变化也受土壤深度的影响,0~10 cm 土层 SMBN 的季节变化明显,但至 10~30 cm 土层这种季节变化差异不显著。

3 讨论

在人工植被固沙区,无论是藓类结皮还是藻-地衣结皮均对表层 SMBC 和 SMBN 含量有显著影响,即结皮覆盖的 SMBC 和 SMBN 含量显著高于流沙对照($p < 0.05$)。生物土壤结皮为土壤微生物提供了

重要的食物来源和改善了生存环境,促进了土壤微生物的生长与繁殖,进而增加了土壤微生物生物量;陈政^[10]和 Sun^[16]等研究也认为:铜陵铜尾矿上生物土壤结皮可提高土壤微生物生物量;藓类结皮下 SMBC 和 SMBN 含量高于藻-地衣结皮下 SMBC 和 SMBN 含量,这表明,相对于演替早期的藻-地衣结皮而言,演替晚期的藓类结皮更有利于微生物的生长与繁殖。这个结论印证了 Belnep 等^[2]的观点:生物土壤结皮有利于提高微生物数量,且藓类结皮下土壤微生物的数量高于藻-地衣结皮下土壤微生物的数量。相对于藻-地衣结皮,在干旱的荒漠地区藓类结皮为土壤生物能够提供更多、更丰富的食物来源、更适宜的土壤温度、更高的土壤湿度和有机质含量和更稳定的食物网结构^[17]。

固沙年限与结皮下土壤微生物生物量存在显著的正相关关系($p < 0.05$),即固沙年限越长,结皮形成的越早,结皮层也越厚(见表 1),其下土壤微生物生物量越高;邵玉琴等^[18]也发现了相似的规律:人工植被栽植的年代越长,结皮下土壤微生物数量越多。人工植被固沙促进了荒漠区生物土壤结皮的



注: A和B分别指天然植被区和人工植被固沙区藻-地衣结皮; C和D分别指天然植被区和人工植被固沙区藓类结皮 Note: A and B refers to cyanobacteria-lichen crusts in artificially revegetated desert zone and natural vegetation areas, respectively; C and D refers to moss crusts in artificially revegetated desert zone and natural vegetation areas, respectively

图4 两种结皮下 SMBN 含量的季节变化

Fig. 4 Seasonal variation of the contents of SMBN under two crusts

拓殖,而生物土壤结皮的拓殖又提高了土壤微生物生物量,这可能指示了生物土壤结皮可改善土壤质量,有利于退化生态系统的恢复;而且,随着固沙时间的增加,退化生态系统的恢复效果更明显。

藻-地衣结皮和藓类结皮均可显著增加 0 ~ 20 cm 土层微生物生物量 ($p < 0.05$),但随着土层的增加,这种影响减弱,至 20 ~ 30 cm 土层已无显著影响 ($p > 0.05$)。即藻-地衣结皮和藓类结皮对土壤微生物生物量的显著影响目前仅限于 0 ~ 20 cm 土层,它们明显增加了表层土壤微生物生物量;其主要原因是,表层土壤微生物可从生物土壤结皮获得充足营养和能量的同时,结皮的存在还改善了表层土壤的理化性质,这包括有机质含量的增加^[2]、土壤养分含量和有效性的提高^[1,19]、土壤持水量的增加^[12,20]、土壤稳定性的增加^[21-23]、土壤 pH 的改变^[13,24]等等,这些均为微生物的生存提供了适宜的条件。对于 20 cm 以下土层,除了结皮所能提供的营养和能量很难到达外,土壤理化性质变差也是一个重要的因素。

土壤微生物生物量季节性涨落主要与植物生长节律、凋落物、根系活动及分泌物、土壤中可利用

碳和养分资源、土壤温度、土壤湿度等因素有关^[25]。荒漠地区干湿季明显,这种强烈的季节变化通过影响植被生长和土壤环境对土壤微生物生物量产生巨大影响。本研究区,土壤温度和湿度的季节性变化是调控土壤微生物生物量季节变化的主要因子,土壤温度与湿度除了直接对土壤微生物产生作用外,还主要通过影响植物的生长节律以及土壤微生物与植物对土壤养分的竞争关系来影响土壤微生物生物量的季节变化。本研究表明,天然植被区和人工植被固沙区生物土壤结皮下土壤微生物生物量的季节动态均表现为春季开始逐渐升高,至夏季逐渐达到最大值,而后又逐渐降低,秋季出现了低值。本研究区,春季,光照充足,日照时间为 723 h,温度适宜,平均气温为 12.4 °C,降雨较多,占年降雨量的 15.80%,土壤湿度较大,结皮生长有所提高,微生物的代谢速率提高,导致土壤微生物生物量出现增加。夏季,光照充足,日照时间为 776 h,温度高,平均气温为 23.8 °C,降雨多,占年降雨量的 47.39%,土壤湿度大,结皮生长旺盛,这为微生物生存和繁衍提供了适宜的条件,使土壤微生物生物量达到了一年中的最大值。秋季,降雨较多,占年降

雨量的 36.09%, 土壤湿度较大, 但光照不足, 日照时间仅为 467 h, 温度偏低, 平均气温为 10.6 °C, 结皮生长明显减弱, 土壤微生物的代谢速率降低, 导致土壤微生物生物量出现下降的趋势。

4 结 论

研究表明, 人工植被固沙区生物土壤结皮可显著提高 SMBC 和 SMBN 含量; 结皮类型明显影响 SMBC 和 SMBN 含量, 即藓类结皮下 SMBC 和 SMBN 含量明显高于藻-地衣结皮下 SMBC 和 SMBN 含量。不同固沙年限的结皮下 SMBC 和 SMBN 含量之间差异显著, 且固沙年限与 SMBC 和 SMBN 含量存在显著的线性正相关关系 ($p < 0.05$), 即土壤微生物生物量随固沙年限的增加而增大; 此外, 生物土壤结皮显著影响 0~20 cm 土层 SMBC 和 SMBN 含量 ($p < 0.05$), 随着土层的增加, 这种影响逐渐减弱。藻-地衣结皮和藓类结皮下 SMBC 和 SMBN 含量存在明显的季节变化, 均表现为夏季 > 春季 > 秋季; 结皮下 SMBC 和 SMBN 含量的季节变化也随土壤深度变化, 表层 SMBC 和 SMBN 含量季节变化明显, 随着土层的增加这种季节变化趋势明显变弱。水热因子是决定土壤微生物生物量季节变化的主要因子, 而生物土壤结皮通过调节土壤温度和湿度而影响土壤微生物生物量季节变化。

参 考 文 献

- [1] West N E. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions. *Advances in Ecological Research*, 1990, 20: 179—223
- [2] Belnap J, Lange O L. *Biological soil crust: Structure, function and management*. Berlin: Springer-Verlag, 2003
- [3] 李新荣, 张元明, 赵允格. 生物土壤结皮研究: 进展、前沿与展望. *地球科学进展*, 2009, 24(1): 11—24. Li X R, Zhang Y M, Zhao Y G. A study of biological soil crusts: Recent development, trend and prospect (In Chinese). *Advances in Earth Science*, 2009, 24(1): 11—24
- [4] 魏江春. 沙漠生物地毯工程——干旱沙漠治理的新途径. 干旱区研究, 2005, 22(3): 287—288. Wei J C. Biocarpet engineering using microbiotic crust for controlling sand (In Chinese). *Arid Zone Research*, 2005, 22(3): 287—288
- [5] 张元明, 王雪芹. 荒漠地表生物土壤结皮形成与演替特征概述. *生态学报*, 2010, 30(16): 4484—4492. Zhang Y M, Wang X Q. Summary on formation and developmental characteristics of biological soil crusts in desert areas (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(16): 4484—4492
- [6] Fernandes S A P, Bettiol W, Cerri C C. Effect of sewage sludge on

- microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Applied Soil Ecology*, 2005, 30(1): 65—77
- [7] Enwall K, Nyberg K, Bertilsson S, et al. Long-term impact of fertilization on activity and composition of bacterial communities and metabolic guilds in agricultural soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39(1): 106—115
- [8] Gu Y F, Zhang X P, Tu S H, et al. Soil microbial biomass, crop yields, and bacterial community structure as affected by long-term fertilizer treatments under wheat-rice cropping. *European Journal of Soil Biology*, 2009, 45(3): 239—246
- [9] 边丹丹. 黄土丘陵区不同植被状况下土壤生物结皮对土壤生物学性质的影响. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2011. Bian D D. Effects of soil biological crust on biological characters under different vegetations in the Loess Hilly Region (In Chinese). Yanglin, Shanxi: Northwest A&F University, 2011
- [10] 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. *应用生态学报*, 2009, 20(9): 2193—2198. Chen Z, Yang G D, Sun Q Y. Effects of bio-crust on soil microbial biomass and enzyme activities in copper mine tailings (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(9): 2193—2198
- [11] Yu J, Steinberger Y. Vertical distribution of soil microbial biomass and its association with shrubs from the Negev Desert. *Journal of Arid Environments*, 2012, 78: 110—118
- [12] Li X R, He M Z, Duan Z H, et al. Recovery of topsoil physicochemical properties in revegetated sites in the sand-burial ecosystems of the Tengger Desert, Northern China. *Gemorphology*, 2007, 88(3/4): 254—265
- [13] Liu Y M, Li X R, Jia R L, et al. Effects of biological soil crusts on soil nematode communities following dune stabilization in the Tengger Desert, Northern China. *Applied Soil Ecology*, 2011, 49: 118—124
- [14] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, 1987, 19(6): 703—707
- [15] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method for measuring microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 1985, 17(6): 837—842
- [16] Sun Q Y, An S Q, Yang L Z, et al. Chemical properties of the upper tailings beneath biotic crusts. *Ecological Engineering*, 2004, 23(1): 47—53
- [17] Darby B J, Neher D A, Belnap J. Soil nematode communities are ecologically more mature beneath late- than early-successional stage biological soil crusts. *Applied Soil Ecology*, 2007, 35(1): 203—212
- [18] 邵玉琴, 赵吉. 不同固沙区结皮中微生物生物量和数量的比较研究. *中国沙漠*, 2004, 24(1): 68—71. Shao Y Q, Zhao J. Comparative research on microbial biomass and number in soil microbiotic crust of different fixing sand dunes (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 2004, 24(1): 68—71
- [19] Guo Y R, Zhao H L, Zuo X A, et al. Biological soil crust development and its topsoil properties in the process of dune stabiliza-

- tion, Inner Mongolia, China. *Environmental Geology*, 2008, 54 (3):653—662
- [20] Jia R L, Li X R, Liu L C, et al. Responses of biological soil crusts to sand burial in vegetated area of the Tengger Desert, Northern China. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40 (11):2827—2834
- [21] Patrick E. Researching crusting soils: Themes, trends, recent developments and implications for managing soil and water resources in dry areas. *Progress in Physical Geography*, 2002, 26 (3):442—461
- [22] Warren S D. Synopsis: Influence of biological soil crusts on arid land hydrology and soil stability // Belnap J, Lange O L. *Biological soil crusts: Structure, function, and management*. Berlin: Springer-Verlag, 2003:349—360
- [23] Barger N N, Herrick J E, van Zee J, et al. Impacts of biological soil crust disturbance and composition on the C and N loss from water erosion. *Biogeochemistry*, 2006, 77 (2):247—263
- [24] Bååth E. Effects of heavy metal in soil on microbial processes and populations (a review). *Water, Air, and Soil Pollution*, 1989, 47:335—379
- [25] 曹成有, 陈家模, 邵建飞, 等. 科尔沁沙地四种固沙植物群落土壤微生物生物量及酶活性的季节动态. *生态学杂志*, 2011, 30 (2):227—233. Cao C Y, Chen J M, Shao J F, et al. Seasonal dynamics of soil microbial biomass and enzyme activities in four sand-fixation plantations on Horqin sandy land (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30 (2):227—233

EFFECTS OF BIOLOGICAL SOIL CRUSTS ON SOIL MICROBIAL BIOMASS IN DESERT AREA

Liu Yanmei^{1,2} Yang Hangyu³ Li Xinrong²

(1 School of Life Science and Chemistry, Tianshui Normal University, Tianshui, Gansu 741001, China)

(2 Shapotou Desert Research and Experiment Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

(3 Gansu Forestry Technology College, Tianshui, Gansu 741020, China)

Abstract To explore effect of biological soil crusts (BSCs) on soil microbial biomass carbon (SMBC) and nitrogen (SMBN), soil of a sand dune covered with BSCs in the artificially revegetated sand zone at the southeastern edge of the Tengger Desert, China was selected as subject of the study. Four sample plots were set different in sand-fixing time (55, 47, 30 and 20 a, separately), and a plot of mobile sand dunes and a plot of natural vegetation as control. Results show that cyanobacteria-lichen and moss crusts significantly increased the contents of SMBC and SMBN in artificially revegetated areas ($p < 0.05$), which was positively related to sand-fixing time ($p < 0.05$). Crust type was also a factor, significantly affecting the content of soil microbial biomass. The contents of SMBC and SMBN under moss crusts were significantly higher than those under cyanobacteria-lichen crusts ($p < 0.05$). In addition, BSCs significantly increased the contents of SMBC and SMBN in the 0 ~ 20 cm soil layers ($p < 0.05$) and the effect weakened with increasing soil depth. Moreover, the contents of SMBC and SMBN under BSCs varied seasonally to a significant level, showing a decreasing order of in summer > in spring > in autumn. Heat and water were two main factors controlling the seasonal variation, while BSCs affected soil microbial biomass seasonally by regulating soil temperature and moisture.

Key words Biological soil crusts; Soil microbial biomass carbon and nitrogen; Crust type; Soil depth; Seasonal variation

(责任编辑: 卢 萍)