

古尔班通古特沙漠生物结皮中微生物分布的时空差异

吴楠^{①②} 王红玲^{①②} 张静^{①②} 梁少民^{①②} 聂华丽^{①②} 张元明^①

(^① 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; ^② 中国科学院研究生院, 北京 100039. E-mail: zhangym@ms.xjb.ac.cn)

摘要 对新疆古尔班通古特沙漠生物结皮层微生物分布的时空差异及其与土壤因子的关系进行了研究, 结果表明: 微生物分布受沙垄地貌部位、土层深度、季节影响呈现时空差异。空间尺度上, 细菌在春秋两季均为垄顶最少, 垄间低地最多。放线菌及真菌在沙垄不同地貌部位的空间分布基本一致, 但春秋两季的空间分布格局有差异。含水量与微生物总数量的变化趋势一致, 春秋两季均表现为垄顶最少, 垄间低地最多, 春季尤为明显。在 0~20cm 土层中, 微生物各类群的垂直分布受地貌部位和季节影响呈不同变化趋势。时间尺度上, 春秋两季微生物总数量、微生物各类群数量在背风坡、迎风坡及垄间低地均表现为春季>秋季, 在背风坡表现的尤为明显。微生物各类群在垄间低地的垂直分布春秋两季均表现为: 细菌随土层加深增多; 放线菌随土层加深减少; 真菌先增后减。微生物各类群在垄顶的垂直分布春秋两季有差异。含水量在各地貌部位 0~30cm 各土层, 均表现为春季>秋季, 0~10cm 土层中尤为明显。微生物总数中细菌占绝大多数, 依次为放线菌、真菌。细菌比例春季>秋季, 放线菌和真菌则相反。微生物分布与有机质、全氮、全磷、速效磷、速效钾、pH、电导、盐分、过氧化氢酶、脲酶、中性磷酸酶、碱性磷酸酶有显著的相关性。

关键词 微生物数量 空间分布 季节变化 生物结皮 古尔班通古特沙漠

荒漠地表生物结皮是土壤微生物、藻类、地衣、苔藓植物类群与土壤形成的有机复合体, 其种类组成复杂, 抗逆性强, 生理生态过程独特。由于细菌、真菌、藻类、地衣和苔藓植物的地下菌丝和假根能够黏结沙粒, 使得存在生物结皮的土壤具备较强的抗风蚀、水蚀功能, 在物理化学和生物学特性上明显不同于松散沙土^[1~7]。生物结皮中的蓝细菌(*cyanobacteria*)等组成成分能够固定大气中的氮素, 增加土壤有机质含量^[7~9], 加快周围维管植物的养分循环^[10,11], 促进种子库的建立^[12], 从而为维管植物定居创造有利条件, 最终促进固定沙丘的形成。

荒漠地区干旱少雨, 但土壤微生物具有广泛的生态适应性, 许多耐旱、耐高温的种类可通过生理代谢活动改变沙土表面理化性质, 促进土壤形成及植物营养转化, 利于植物生长, 为流动沙丘向固定半固定沙丘转化奠定基础^[13]。土壤微生物是监测流动沙丘固定程度, 分析土壤发育动态和评价土壤质量的一种重要标志, 其生长与土壤酶活性、土壤生态因子密切相关^[14,15]。其组成、分布和数量受土壤理化性质、沙丘类型、沙层深度、季节和人工植被等多种因素影响^[15~18]。在生物结皮内部, 微生物各类群存在竞争, 因此, 了解微生物各类群在不同类型生物结皮中的数量、生物量、区系组成变化, 确定生物结皮形成

过程中的微生物优势类群及其生长规律, 结合土壤酶、有机养分、盐分、含水量等环境因子测定, 才能进一步实现在实验室人工培养生物结皮, 最终使得生物结皮能够野外移植, 将其发育及演变作为荒漠化发生发展和逆转的景观特征和指示生物^[19], 对降低防沙固沙的投入成本和改善生态环境起到积极的作用。

古尔班通古特沙漠广泛分布着生物结皮。目前有关古尔班通古特沙漠微生物分布特征的研究较少, 结合生物结皮开展的研究更缺乏。本文通过研究春秋两季新疆古尔班通古特沙漠典型沙垄不同地貌部位的生物结皮层及结皮以下土层的微生物数量、组成变化特征及其与有机养分、盐分、土壤酶、含水量的相关性, 探讨了荒漠不同类型生物结皮中微生物分布的时空差异。

1 研究区概况

古尔班通古特沙漠位于中国沙漠化地带最西北部的新疆准噶尔盆地腹地, 其范围在 44°11'~46°20'N, 84°31'~90°00'E, 是中国最大的固定半固定沙漠, 面积达 4.88×10^4 km², 周围还零星分布着大小不等的沙漠或沙地。腹地沙丘形态 80% 为沙垄, 大致作南北走向, 一般高 10~50 m, 长达 10 km 以上, 分布密集, 除线性沙垄外, 还具有树枝状沙垄的特征^[20]。年积温达

3000~3500℃, 年平均气温 6~10℃, 年降水量 70~150 mm, 年蒸发量 2000 mm 以上, 属典型的内陆干旱气候. 降水季节分配均匀, 冬春两季降水占全年的 30%~45%, 准噶尔盆地沙漠南缘及腹地均有较丰富的地下水分布. 该沙漠沙丘表面植被覆盖度可达 15%~50%, 白梭梭(*Haloxylon persicum* (C.A.M.) Bge) 和梭梭(*Haloxylon ammodendron* Bge) 等沙生植物构成的小半乔木群落在该沙漠广泛发育. 冬春季的融雪和雨水促进短命、类短命植物获得一定发育^[21], 在沙垄中下部和垄间普遍存在着这些短命、类短命植物和一层黑色的生物结皮层, 稳定沙面的作用明显^[22~24].

2 研究方法

2.1 样地布设与处理

古尔班通古特沙漠南部生物结皮发育最为丰富, 且包括生物结皮不同发育阶段的各种结皮类型. 于 2003 年春、秋两季分别在沙漠主体南部选择有生物结皮分布的典型沙垄(44°32'30"N, 88°6'42"E), 采样前无降水. 按垄顶(流动沙丘, 偶见藻结皮)—背风坡(藻结皮, 坡下部出现地衣结皮)—垄间低地(地衣、苔藓结皮)—迎风坡(藻结皮, 坡下部出现地衣结皮)的顺序, 选择 3 个平行断面. 为了单纯研究生物结皮中微生物的时空分布格局, 避免种子植物, 尤其是凋落物对微生物分布的影响, 每个地貌部位选择纯结皮覆盖区, 土层剖面按 0~2(结皮层), 2~5, 5~10 和 10~20 cm 的间隔采集土壤样品. 调查样方大小为 50 cm × 50 cm, 该样方又以 2.5 cm 的间隔被细线分成 400 个小方格, 藻结皮、地衣结皮、苔藓结皮的盖度以样方中方格线的交叉点计测, 没有生物结皮的交叉点统计为裸沙. 春秋季各采土样 48 个, 野外密封以防污染, 并迅速运回实验室进行培养鉴定.

2.2 微生物数量分析方法

分别用牛肉膏蛋白胨培养基、淀粉琼脂铵培养基、马丁氏培养基培养细菌、放线菌、真菌^[25]. 将涂好平板的培养皿放入 28℃ 的培养箱中, 细菌培养 2~3 天, 真菌、放线菌培养 3~5 天. 菌种分离和计数采取平板稀释法.

2.3 形态观察及培养特征

在上述固体培养基上, 采用 Olympus D 70 数码显微镜观察微生物各类群的菌落形态、测定菌体大小、真菌孢子萌发产生的菌丝等, 并进行同步拍照.

2.4 有机养分、盐分、含水量分析方法

按常规方法对土样进行养分、盐分、含水量分析测定. 其中含水量用烘干法测定; 土壤有机质用重铬酸钾氧化法; 全氮含量用半微量凯氏定氮法; 全磷含量用钼锑钒法; 土壤含盐量用残渣烘干法和电导法测定; pH 值用酸度计测定^[26].

2.5 土壤酶活性分析方法

过氧化氢酶: 容量法; 脲酶: 奈氏比色法; 磷酸酶: 2, 6-二溴醌氯亚胺比色法; 转化酶: 3, 5-二硝基水杨酸比色法; 蛋白酶: 茚三酮比色法^[27,28].

2.6 数据分析方法

用 Excel 软件直接作图, 分析微生物数量、组成及含水量在沙垄地貌部位、沙层不同深度的变化趋势. 同时, 用 Excel 软件对数据进行最大值标准化处理, 然后用 SPSS 10.0 (Chicago, IL, USA) 软件, 分析春秋两季生物结皮中微生物与土壤因子相关系数和沙垄地貌部位、沙层深度与土壤因子关联性测度.

3 结果与分析

3.1 春秋季沙垄不同地貌部位土壤微生物数量及组成变化

(1) 微生物各类群数量比较. 微生物总数量、微生物各类群数量在背风坡、迎风坡及垄间低地均表现为春季>秋季(图 1), 在背风坡表现的尤为明显, 细菌、放线菌、真菌春季的数量分别达到秋季时的 2.71、2.15 和 2.09 倍. 在垄顶则表现为春季<秋季.

春秋季微生物总数量及细菌数量均在垄顶最少,

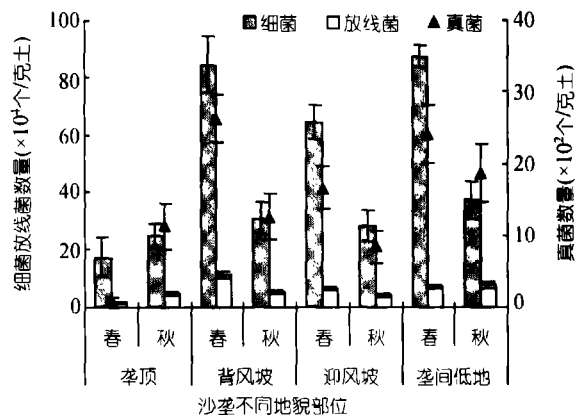


图 1 春秋季沙垄不同地貌部位土壤微生物各类群数量比较

在垄间低地最多, 在春季表现的尤为明显, 春季垄间

低地细菌数量达垄顶的 5.06 倍. 放线菌及真菌数量春季在垄顶最少, 背风坡最多; 秋季则变化不明显, 在迎风坡较少, 在垄间低地较多.

(2) 微生物各类群组成比较. 沙垄不同地貌部位春季微生物各类群组成变化表现为(图 2): 从垄顶到垄间低地, 细菌占微生物总数的比例均明显高于放线菌及真菌, 依次为放线菌、真菌. 春季细菌所占比例均高于秋季, 放线菌和真菌则相反. 在结皮处于初级发育阶段的垄顶, 细菌、放线菌、真菌的比例春秋两季变化趋势明显不同, 春季细菌比例达秋季的 1.14 倍, 而春季放线菌、真菌比例仅分别达秋季的 0.55 和 0.25 倍.

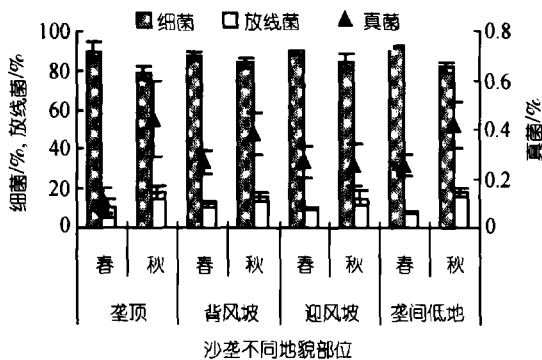


图2 春秋季沙垄不同地貌部位土壤微生物各类群组成比较

3.2 春秋季沙垄不同土层深度土壤微生物数量及组成变化

(1) 微生物各类群数量比较. 关于古尔班通古特沙漠生物结皮中土壤微生物垂直分布特征已另文报道^[29], 研究结果显示在结皮处于初级发育阶段的垄顶和结皮发育良好的垄间低地, 土壤微生物各类群在 0~20 cm 土层中的垂直分布格局明显不同. 因此本文重点探讨了沙垄垄顶和垄间低地春秋两季土壤微生物数量的垂直变化差异. 结果表明(图 3): 春季, 微生物各类群数量在垄顶的垂直变化表现为(图 3): 在 0~20 cm 土层中, 随土层加深细菌数量递增, 10~20 cm 土层中的细菌数量达到 0~2 cm 结皮层的 5 倍; 放线菌数量先减后增; 真菌数量逐层减少. 微生物各类群数量在垄间低地的垂直变化表现为: 在 0~20 cm 土层中, 随土层加深细菌数量增加; 放线菌数量递减; 真菌数量先增后减, 在 2~5 cm 土层中出现最大值.

秋季, 微生物各类群数量在垄顶 0~20 cm 土层中

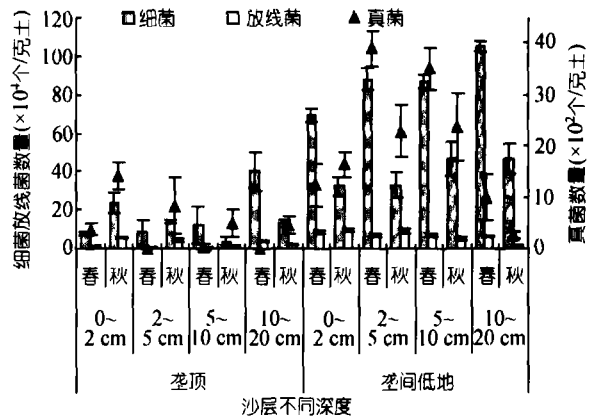


图3 春秋季沙垄不同土层深度土壤微生物数量比较

的垂直变化表现为(图 3): 细菌和放线菌数量均随土层加深而减少, 至 10~20 cm 土层略有回升; 真菌数量随土层加深而递减, 在 0~2 cm 结皮层的数量是 10~20 cm 土层的 3.02 倍. 微生物各类群数量在垄间低地 0~20 cm 土层中的垂直变化与春季基本一致, 随土层加深, 细菌数量的增加幅度不如春季明显; 放线菌数量的递减幅度比春季明显.

垄顶 0~20 cm 各土层中微生物各类群的数量在春秋两季有差异(图 3): 0~5 cm 土层中, 细菌数量春季<秋季; 5~20 cm 土层中, 细菌数量春季>秋季. 0~2 cm 结皮层中春季细菌数量仅为秋季的 0.34 倍, 到 10~20 cm 较深土层中扩大为 3.04 倍. 与细菌不同, 放线菌和真菌数量在各土层中基本表现为春季<秋季, 在 0~5 cm 浅层沙土中尤为明显, 其中, 在 0~2 cm 结皮层中, 放线菌、真菌在春季的数量仅分别为秋季 0.19 倍和 0.26 倍.

垄间低地 0~20 cm 各土层中的微生物各类群数量在春秋两季有差异(图 3): 0~20 cm 各层沙土中, 细菌数量均表现为春季>秋季, 在 10~20 cm 土层中, 春季细菌数量达到秋季的 2.25 倍; 放线菌、真菌数量在 0~5 cm 浅层沙土中表现为春季<秋季, 在 5~20 cm 较深土层中表现为春季>秋季, 其中, 0~2 cm 结皮层的放线菌、真菌春季数量分别为秋季的 0.92 和 0.76 倍, 在 10~20 cm 中则分别增加到 4.47 和 3.75 倍.

(2) 微生物各类群组成变化. 0~20 cm 各土层中, 春秋两季, 细菌占微生物总数的比例明显最高, 依次为放线菌、真菌(图 4). 不同土层中细菌所占微生物总数的比例均在春季>秋季, 放线菌和真菌则相反, 在垄顶表现的较为明显. 春秋两季细菌占微生物总数的比例随着土层加深有微弱的增加, 在 10~20 cm

达到高峰, 分别为 92.73% 和 91.22%, 放线菌春秋两季占微生物总数比例均在 0~2cm 结皮层中达到高峰。

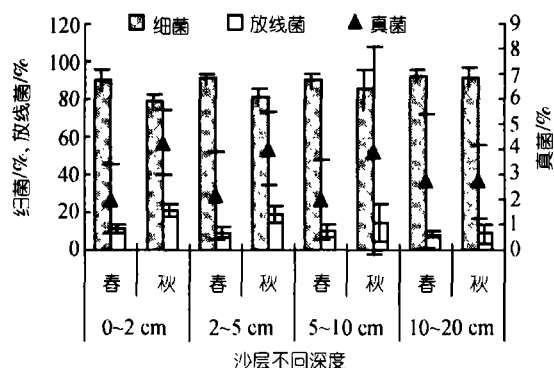


图 4 春秋季沙垄不同土层深度土壤微生物组成比较

3.3 春秋季生物结皮中含水量的分布特征

在相同土层中, 在垄顶、迎风坡、背风坡、垄间低地, 春季的含水量均高于秋季(图 5)。春季, 垄间低地各土层的含水量明显高于其它地貌部位, 与垄顶含水量的差异尤为明显, 其中, 0~10 cm 土层的含水量达到垄顶该土层的 2.76 倍。

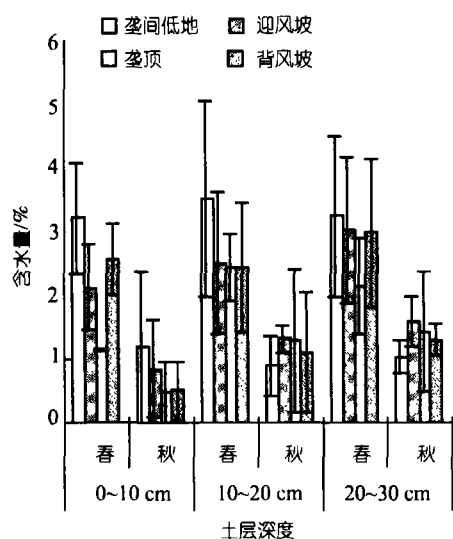


图 5 沙垄不同地貌部位含水量的分布特征

在相同地貌部位, 0~30 cm 各土层中, 春季的含水量均高于秋季, 在 0~10 cm 土层中表现的尤为明显。其中, 背风坡 0~10 cm 土层中, 春季的含水量达到秋季的 5.03 倍。春季, 垄间低地含水量在 10~20 cm 土层最多, 秋季则集中在 0~10 cm 土层。春秋两季, 垄顶含水量在 0~10 cm 土层中明显少于 10~30 cm 较深土层。

3.4 春秋季生物结皮中微生物数量与养分、盐分、土壤酶的相关性分析

将春秋季所采各土层土样的有机养分、盐分含量、土壤酶活性及对应土层的微生物各类群数量等数据, 分层进行最大值标准化处理, 然后利用 SPSS 10.0 (Chicago, IL, USA) 进行相关性分析, 结果表明(表 1): 微生物各类群数量与有机质、全氮、全磷、速效磷、速效钾、pH、电导、盐分、过氧化氢酶、脲酶、中性磷酸酶、碱性磷酸酶均有显著的相关性。除全钾和速效氮之外的有机养分与过氧化氢酶、脲酶、中性磷酸酶、碱性磷酸酶均有显著相关性。有机质不仅与全氮、全磷、速效磷、速效钾等养分呈显著相关, 还与盐分、除转化酶、蛋白酶之外的所有酶类、微生物各类群数量呈显著相关。pH 与大多数的有机养分及土壤酶均有显著相关性。

4 讨论

4.1 沙垄地貌部位对春秋季微生物生态分布的影响

干旱少雨的荒漠地区, 沙土中含量很少的有机质、水分等因子是限制微生物活性、数量、分布的主要因素^[15,16]。春秋季微生物总数量在垄顶最少, 在垄间低地最多, 这与生物结皮生长状况及土壤中随之改变的环境因子密切相关。

关联性测度表明: 有机质、全氮、全磷、速效磷、速效钾、pH、电导、总盐、过氧化氢酶、脲酶及微生物各类群数量均与沙垄地貌部位密切相关(表 2)。当与微生物相关系数较高的环境因子随沙垄地貌部位改变时, 会引起微生物数量变化。野外调查样方时发现垄顶多为流沙或很薄的微生物结皮, 植被覆盖率较低, 植物种类简单, 生产力低, 因而土壤有机质含量相对较低, 垄顶 0~2 cm 结皮层中的有机质含量在春秋两季仅分别占垄间低地的 0.25 和 0.30。该部位的生物结皮不能很好的固结沙层, 使得沙面处于流动半流动状态, 易受风力搬动。受风蚀等外界因素干扰, 加之没有充足的养分供其生长, 使得微生物总数量春秋季均在垄顶最低。

受降雨量大小、机械组成和植物根系等影响, 风沙土含水率变化复杂^[30], 但总体上土壤含水率是垄间和中下部优于垄顶^[22]。地势低缓的垄间低地更有利于凝结水形成^[22]及土壤有机养分的积累。微生物总数量、微生物各类群数量在背风坡、迎风坡及垄间低地均表现为春季>秋季, 在背风坡表现的尤为明显,

表 1 生物结皮中微生物与养分、盐分、土壤酶的相关系数矩阵^{a)}

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
1																		
b	0.886**	1																
c	0.788**	0.587**	1															
d	-0.086	-0.179	0.081	1														
e	0.218	0.425*	0.039	-0.023	1													
f	0.663**	0.598**	0.541*	-0.22	0.392*	1												
g	0.731**	0.584**	0.726*	-0.108	0.158	0.704**	1											
h	0.722**	0.511**	0.829**	0.085	0.026	0.564**	0.838**	1										
i	0.757**	0.548**	0.813**	-0.083	0.058	0.544**	0.617**	0.838**	1									
j	0.648**	0.467**	0.655**	0.065	-0.153	0.235	0.475**	0.61**	0.735**	1								
k	0.814**	0.652**	0.83*	-0.121	0.184	0.651**	0.67**	0.871**	0.926**	0.602**	1							
l	0.805**	0.716**	0.687*	-0.261	0.22	0.664**	0.566**	0.724*	0.815**	0.592**	0.834**	1						
m	0.779**	0.698**	0.642*	-0.213	0.311	0.669**	0.589**	0.69**	0.764**	0.52**	0.854**	0.827**	1					
n	0.86**	0.792**	0.752*	-0.149	0.3	0.763**	0.722**	0.712**	0.749**	0.523**	0.863**	0.827**	0.865**	1				
o	0.414*	0.302	0.331	0.046	-0.221	0.034	0.144	0.332	0.146	0.363*	0.201	0.233	0.268	0.195	1			
p	0.358**	0.313	0.368	-0.196	0.24	0.233	0.435*	0.214	0.251	0.223	0.34	0.326	0.334	0.448*	0.023	1		
q	0.737**	0.582**	0.75*	-0.019	0.247	0.579**	0.685**	0.749**	0.728**	0.502**	0.758**	0.707**	0.721**	0.695**	0.273	0.307	1	
r	0.626**	0.438*	0.683*	0.053	0.028	0.489**	0.785**	0.581**	0.673**	0.628**	0.619**	0.509**	0.537**	0.629**	0.026	0.359	0.621**	1
s	0.546**	0.483**	0.571*	0.051	0.361*	0.584**	0.687**	0.541**	0.521**	0.296	0.56**	0.491**	0.567**	0.575**	-0.204	0.396*	0.57**	0.668**

a) ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$. a: 有机质(%); b: 全氮(%); c: 全磷(%); d: 全钾(%); e: 速效氮(mg/kg); f: 速效磷(mg/kg); g: 速效钾(mg/kg); h: pH; i: 电导(ms/km); j: 总盐; k: 过氧化氢酶(KMnO₄ ml/g); l: 脲酶(NH₃-N μg/g); m: 中性磷酸酶(酚 μg/g); n: 碱性磷酸酶(酚 μg/g); o: 转化酶(葡萄糖 μg/g); p: 蛋白酶(甘氨酸 μg/g); q: 细菌(10⁴ 个/克土); r: 放线菌(10³ 个/克土); s: 真菌(10² 个/克土). 表 2 同

表 2 沙垄地貌部位、沙层深度与养分、盐分、土壤酶微生物的关联性测度

关联性测度		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
沙垄地貌部位	Eta ^{a)}	0.5	0.53	0.74	0.14	0.43	0.55	0.81	0.79	0.91	0.69	0.73	0.58	0.34	0.30	0.32	0.28	0.46	0.46	0.55
	Eta Squared ^{b)}	0.25	0.28	0.54	0.02	0.19	0.30	0.65	0.62	0.83	0.47	0.54	0.34	0.11	0.09	0.11	0.08	0.41	0.41	0.31
沙层深度	Eta ^{a)}	0.73	0.65	0.19	0.28	0.24	0.58	0.27	0.46	0.14	0.29	0.29	0.67	0.85	0.88	0.71	0.83	0.20	0.27	0.23
	Eta Squared ^{b)}	0.53	0.42	0.03	0.08	0.06	0.34	0.07	0.21	0.02	0.08	0.09	0.45	0.71	0.77	0.50	0.68	0.04	0.07	0.05

a) 关联性系统, b) 关联性系统平方. 关联性系数越接近 1, 说明二者之间的联系越密切

这与春季各地貌部位含水量增加, 尤其是背风坡 0~10 cm 土层中含水量的有效富集有关. 微生物总数量、微生物各类群数量在垄顶表现为春季<秋季, 与垄顶春季含水量在 0~10 cm 土层中明显少于 10~30 cm 较深土层有关(图 1, 图 5). 古尔班通古特沙漠春季有融雪和雨水, 而垄顶多为流沙和处于发育初期的微生物结皮, 雨水很容易渗透, 而且下渗过程中还会把养分带走, 使得春季反而不利于垄顶微生物生长. 同时, 春季的融雪和雨水使得垄间低地蛇麻黄(*Ephedra distachya* L.)等小灌木层片下发育着良好的短命、类短命植物和一年生植物组成的草本层片^[21,22], 从而更好地固结沙地, 为微生物生长创造条件. 秋季气温

变低, 植物处于休眠状态或生长缓慢^[15], 降水又少于春季, 各土层土壤含水量低于春季(图 5), 微生物生长受抑制.

在垄间低地, 春秋季微生物各类群的数量变化比垄顶明显. 本研究中, 在含水量丰富的春季, 垄间低地 0~2cm 结皮层中, 有机质含量达垄顶的 3.94 倍. 而土壤中有机质中各组分能激活相应的土壤酶系的酶活性, 春季垄间低地 0~2cm 结皮层中, 过氧化氢酶、脲酶、中性磷酸酶、碱性磷酸酶、转化酶、蛋白酶活性分别达到垄顶的 4.68, 5.65, 13.35, 7.41, 4.34 和 12.75 倍. 土壤酶活性增加后, 能够加快土壤中有有机质的催化反应, 改变沙土性质, 使其利于植物及土壤

微生物生长繁殖, 从而促进结皮层的形成. 野外实地观测发现生物结皮从茎顶较薄的微生物结皮经藻结皮演替至茎间低地已普遍分布着较厚的地衣苔藓结皮, 结皮厚度达 53 mm, 盖度达 98%^[29]. 地衣苔藓结皮中真菌(图 6)、地衣和苔藓植物的地下菌丝和假根能够黏结沙粒^[31], 通过表面营养体高效利用吸收有限的降水使结皮中的微生物恢复生物活性^[9,32]. 地衣、苔藓植物定居后, 能加速物质风化速度^[33]、累积风尘物质及植物生长的必要元素, 促进土壤形成. 有机质的积累、微生物的侵入, 使基质中养分的可利用性提高. 当有机层达到足够厚度, 草本和木本植物便可侵入, 使得茎间低地的植物覆盖率、植物种类、生产力均有所增加. 维管植物与生物结皮共同固结茎间低地的沙层, 避免风蚀等外界因素干扰, 为微生物的生长创造了良好的微环境. 土壤微生物数量增多后, 其分布、活性与土壤结构的形成、营养物质的转化密切相关, 不仅能矿化有机物, 将植物不能直接吸收的难溶性无机物变得可溶从而增加土壤肥力^[16], 而且固氮微生物还能改善土壤的营养状况, 在生长过程中向体外分泌代谢产物, 从而促使该阶段的生物结皮发育最完善, 蓄水、抗机械和固沙能力最强^[33].

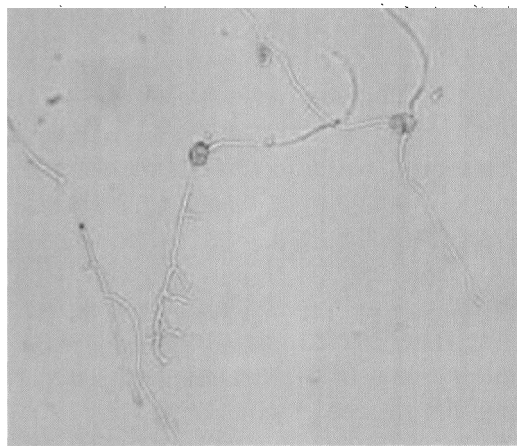


图 6 真菌孢子萌发所产生的菌丝

4.2 沙层深度对春秋两季微生物生态分布的影响

关联性测度表明(表 2): 土层深度与有机质、全氮、速效磷、脲酶、中性磷酸酶、碱性磷酸酶、转化酶、蛋白酶有较高的关联性. 而从表 1 可知, 除转化酶和蛋白酶外, 微生物各类群数量与有机质、全氮、速效磷、脲酶、中性磷酸酶、碱性磷酸酶显著相关. 因此, 当这些与微生物相关系数较高的土壤因子随沙层深度改变时, 会引起微生物各类群数量变化.

生物结皮在茎顶处于发育早期阶段, 对土壤理化性质影响较小, 秋季微生物各类群数量在茎顶 0~20 cm 土层中的垂直变化基本表现为随土层加深减少, 与之一致的是, 0~2 cm 结皮层中的有机质、全氮、速效磷含量、脲酶、中性磷酸酶、碱性磷酸酶活性分别为 10~20 cm 土层的 1.79, 1.5, 1.55, 1.62, 10.99 和 9.34 倍. 春季, 细菌数量随土层加深递增, 10~20 cm 的细菌数量达到 0~2 cm 结皮层的 5 倍, 可能因为春季降水比秋季丰富, 而茎顶偶有结皮分布, 水分更易渗透到较深土层, 促进了细菌生长.

在茎间低地各层沙土中, 微生物总数量及细菌数量在春秋两季均随土层深度增加而增加, 宁夏沙坡头和内蒙古库布齐沙地微生物数量垂直变化也有类似规律^[16,34], 这与有机质等养分含量随土层加深的趋势相反. 有机质含量一般都随土层增加而减少, 在茎间低地表现的更为明显, 因为茎间低地低凹的地形对水分、养分具有汇集作用, 结皮层中地衣、苔藓等孢子植物及其残体的存在更有利于有机质的积累, 使得茎间低地结皮层养分状况优于结皮以下土层. 其中, 结皮层中在氮素转化中有重要作用的脲酶和蛋白酶均高于结皮以下土层. 细菌数量与有机质含量垂直分布出现差异可能是因为地衣、苔藓结皮在茎间低地镶嵌分布, 增强了地表抗风蚀及水蚀的能力, 为结皮层以下土层的微生物创造了较为稳定的生存环境, 使得能耐受低氧水平的细菌更易繁殖. 细菌在微生物总数中具绝对优势, 因而微生物数量的垂直变化与细菌一致. 同时, 养分、土壤酶等在 0~5 cm 土层中富集明显, 会有利于浅根系植物生长, 有可能会与微生物形成竞争. 放线菌数量春秋两季基本随土层加深而减少, 这可能由于放线菌喜热耐旱, 而结皮层受光照影响较显著, 所以结皮层中放线菌数量大于结皮层以下土层. 真菌受浅根系植物根际效应影响较为显著, 因而春秋两季真菌数量在 2~5 cm 出现了较高值. 在 0~2 cm 结皮层中, 真菌数量在春季小于秋季, 可能是因为春季的融雪和降水虽利于结皮层中微生物的生长, 但也引起微生物各类群间的竞争, 细菌比例在春季大于秋季, 表明细菌在春季竞争优势更明显, 而真菌比例在春季小于秋季, 表明真菌在秋季竞争优势相对明显.

20 世纪 80 年代后, 伴随着沙漠化威胁的日益加重, 生物结皮在荒漠生态系统中的作用愈发突出, 逐渐成为荒漠地区生态研究的热点^[3,35,36], 在干旱半干

旱区的生态系统稳定和退化生态系统恢复评价的过程中,生物结皮被作为重要指标,生物结皮资源的保护也被列为荒漠生态系统管理最优先等级^[3,36]。生物结皮的相关研究成果为荒漠化地区的防沙治沙提供了低成本、高效益的新途径。与曾经采用的化学固沙、机械固沙、植树种草防风治沙相比,生物结皮固沙在综合投入、生态适应性、资源消耗(特别是水资源)、治沙效果等诸多方面具有明显优势。因此,实现生物结皮的人工培育及大量快速繁殖,加速实用技术的开发应用,对沙漠治理及生态环境改善具有重要的科学意义及现实意义。微生物作为生物结皮的重要组成部分,在微生物结皮—藻结皮—地衣结皮—苔藓结皮的自然演替过程中发挥着重要作用。本文研究涉及古尔班通古特沙漠生物结皮中微生物生态分布的时空差异及其与土壤因子的关系,探讨了沙垄地貌部位、沙层深度、不同季节的含水量对生物结皮中微生物分布格局的影响,所得的研究结果为进一步探讨微生物在生物结皮形成中的作用、实验室人工培养生物结皮及评价生物结皮的综合生态效益提供了必要的理论依据,以达到有效保护生物结皮资源并对其合理开发利用的目的。今后将对生物结皮演替机理、结皮中微生物的生态共生、结皮中微生物优势菌株的鉴定、筛选、分离、培养等进行深入研究,充分利用干旱荒漠所特有的地毯式生物结皮这一宝贵资源,早日为古尔班通古特沙漠铺上绿地毯,通过自然演替及人工辅助,实现沙固、土生、草长,使荒漠地区生态环境得到明显改善。

致谢 感谢潘伯荣、潘惠霞、岳红霞、关桂兰老师在本研究中给予的支持和帮助。本工作为国家自然科学基金项目(批准号:40571085)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-343)资助。

参 考 文 献

- Eldridge D J. Cryptogams, vascular plants, and soil hydrological relations: some preliminary results from the semiarid woodlands of Eastern Australia. *Great Basin Naturalist*, 1993, 53: 48—58
- Belnap J, Gillette D A. Vulnerability of desert biological soil crusts to wind erosion: The influences of crust development, soil texture, and disturbance. *Journal of Arid Environment*, 1998, 39: 133—142
- Eldridge D J, Greene R S B. Biological soil crusts: A view of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia. *Australian Journal of Soil Research*, 1994, 32: 389—415
- Belnap J, Sanford R L, Lungu L. Biological soil crusts: ecological roles and responses to fire in Miombo Woodlands of Zimbabwe. *Transactions of Zimbabwean Scientific Association*, 1997, 70: 14—20
- Nash T H, White S L, Marsh J E. Lichen and moss distribution and biomass in hot desert ecosystems. *The Bryologist*, 1979, 80: 470—479
- Loria M, Herrnstad I. Moss capsules as food for the harvest ant, *Messor*. *The Bryologist*, 1980, 83: 524—525
- Belnap J, Garder J S. Soil microstructure in soils of the Colorado Plateau: The role of the cyanobacterium *Microcoleus*. *Great Basin Nat*, 1993, 53: 40—47
- Skarpe C, Henriksson E. Nitrogen fixation by cyanobacterial crusts and by associative-symbiotic bacteria in Western Kalahari. Botswana. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1986, 1: 55—59
- Zaady E, Groffman P, Shachak M. Nitrogen fixation in macro- and microphytic patches in the Negev desert. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30: 449—454
- Harper K T, Pendleton R L. Cyanobacteria and cyanolichens: can they enhance availability of essential minerals for higher plants. *Great Basin Naturalist*, 1993, 53: 59—72
- Belnap J, Harper K T. Influence of cryptobiotic soil crusts on elemental content of tissue of two desert seed plants. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1995, 9: 107—115
- St Clair L L, Webb L, Johansen J R, et al. Cryptogamic soil crusts: enhancement of seeding establishment in disturbed and undisturbed areas. *Reclamation and Revegetation Research*, 1984, 3: 129—136
- 李新荣, 张景光, 王新平, 等. 干旱沙漠区土壤微生物结皮及其对固沙植被影响的研究. *植物学报*, 2000, 42(9): 965—970
- 顾峰雪, 文启凯, 潘伯荣, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地人工植被下土壤微生物的初步研究. *生物多样性*, 2000, 8(3): 297—303
- 周智彬, 李培军. 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地土壤中微生物的生态分布及其与土壤因子间的关系. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1246—1250
- 邵玉琴, 赵吉. 库布齐固定土壤微生物数量与土壤生态因子的研究. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 1997, 28(5): 715—719
- 陈祝春. 科尔沁沙地奈曼旗固沙造林沙丘上土壤微生物区系的变化. *中国沙漠*, 1992, 12(3): 16—21
- 邵玉琴, 赵吉, 包青海, 等. 沙坡头固定沙丘结皮层的微生物区系动态. *中国沙漠*, 2002, 22(3): 298—304
- 李新荣, 贾玉奎, 龙利群, 等. 干旱区半干旱地区土壤微生物结皮的生态学意义及若干研究进展. *中国沙漠*, 2001, 21(1): 4—12
- 夏训诚, 李崇舜, 周兴佳, 等. 新疆沙漠化与风沙灾害治理. 北京: 科学出版社, 1991
- 张立运, 陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点. *生态学报*, 2002, 22(11): 1923—1932
- 王雪芹, 李丙文, 张元明. 古尔班通古特沙漠沙垄表面的稳定性与顶部流动带的形成. *中国沙漠*, 2003, 23(2): 126—131
- 季方, 叶玮, 魏文寿. 古尔班通古特沙漠固定与半固定沙丘成因初探. *干旱区地理*, 2000, 23(1): 32—35
- 张元明. 荒漠地表生物土壤结皮的微结构及其早期发育特征.

- 科学通报, 2005, 50(1): 42—47
- 25 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985. 40—59
 - 26 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1989
 - 27 周礼恺. 土壤酶学. 科学出版社, 1987. 267—278
 - 28 关松荫. 土壤酶及其研究方法. 北京: 农业出版社, 1986. 274—340
 - 29 吴楠, 潘伯荣, 张元明, 等. 古尔班通古特沙漠生物结皮中土壤微生物垂直分布特征. 应用与环境生物学报, 2005, 11(3): 349—353
 - 30 张国盛, 王林和, 董智, 等. 毛乌素沙区风沙土机械组成及含水率的季节变化. 中国沙漠, 1999, 19(2): 151—155
 - 31 Belnap J. Surface disturbances: their role in accelerating desertification. *Environment Monitoring and Assessment*, 1995, 37: 39—57
 - 32 Aranibar J N, Anderson I C, Ringerose S, et al. Importance of nitrogen fixation in soil crust of southern African arid ecosystems: acetylene reduction and stable isotope studies. *Journal of Arid Environment*, 2003, 54: 345—358
 - 33 张元明, 曹同, 潘伯荣. 新疆古尔班通古特沙漠南缘土壤结皮中苔藓植物的研究. 西北植物学报, 2002, 22(1): 18—23.
 - 34 陈祝春, 李定淑. 固沙植物根际微生物对于沙土发育和流沙固定的影响. 生态学杂志, 1987, 6(2): 6—12
 - 35 杨晓晖, 张克斌, 赵云杰. 生物土壤结皮——荒漠化地区研究的热点问题. 生态学报, 2001, 21(3): 474—480
 - 36 Belnap J. The world at your feet. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2003, 1(5): 181—189

(2005-07-20 收稿, 2006-01-16 收修改稿)

《科学通报》投稿指南

在《科学通报》发表的原创性研究论文应同时具备以下条件:

- (i) 是自然科学基础理论或应用研究的最新成果.
- (ii) 有重要科学意义, 属国际研究热点课题.
- (iii) 有创新(新思路、新方法、新认识、新发现等).
- (iv) 对本领域或/和相关领域研究有较大的促进作用.
- (v) 就内容和写作风格而言, 对大同行或非同行科学家都有可读性和启发性.

对原创性研究论文的写作要求:

文章应论点明确、数据可靠、逻辑严密、结构简明; 尽量避免使用多层标题; 文字、图表要简练, 用较少的篇幅提供较大的信息量; 论述应深入浅出、表达清楚流畅; 专业术语的运用应准确, 前后保持一致.

题目是文章的点睛之处, 要紧扣主题, 有足够的信息, 能引起读者的兴趣; 应避免使用大而空的题目, 最好不用“…的研究”、“…的意义”、“…的发现”、“…的特征”等词; 回避生僻字、符号、公式和缩略语. 一般不超过 24 个汉字, 英文以两行为宜. 不使用副标题.

摘要应反映文章的主要内容, 阐明研究的目的、方法、结果和结论, 尽量避免使用过于专业化的词汇、特殊符号和公式. 摘要的写作要精心构思, 随意从文章中摘出几句或只是重复一遍结论的做法是不可取的. 摘要中不能出现参考文献序号.

关键词用于对研究内容的检索. 因此, 关键词应紧扣文章主题, 尽可能使用全国科学技术名词审定委员会颁布的主题词, 不应随意造词. 关键词一般为 3~10 个.

正文应以描述文章重要性的简短引言开始. 专业术语、符号、简略或首字母缩略词在第一次出现时应有定义. 所有的图和表应按文中提到的顺序编号.

引言是文章的重要组成部分, 关系到文章对读者的吸引力. 在引言中应简要回顾本文所涉及到的科学问题的研究历史, 尤其是近 2~3 年内的研究成果, 需引用参考文献; 并在此基础上提出本文要解决的问题; 最后扼要交代本研究所采用的方法和技术手段等. 引言部分不加小标题, 不必介绍文章的结构.

材料与方法主要是说明研究所用的材料、方法和研究的基本过程, 使读者了解研究的可靠性, 也使同行可以根据本文内容重复有关实验.

讨论和结论部分应该由观测和实验结果引申得出, 切忌简单地再罗列一遍实验结果. 讨论得出的结论与观点应明确, 实事求是.

致谢部分应先向对本文有帮助的有关人士表示谢意; 然后列出本工作的资助基金来源, 并注明项目批准号.

参考文献引用是否得当, 是评价论文质量的重要标准之一. 如果未能在论文中引用与本项研究有关的主要文献, 尤其是近 2~3 年内的文献, 或是主要引用作者自己的文献, 编辑可能会认为对这篇文章感兴趣的读者不多. 对文中所引参考文献, 作者均应认真阅读过, 对文献的作者、题目、发表的刊物、年代、卷号和起止页码等, 均应核实无误, 并按《科学通报》体例要求的顺序排列. 切忌转引二手文献的不负责任的做法.