

塔里木沙漠公路防护林土壤微生物生物量与土壤环境因子的关系*

靳正忠^{1,2} 雷加强^{1**} 徐新文¹ 李生字¹ 范敬龙¹ 赵思峰³ 周宏伟⁴ 谷峰⁴

(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 100049; ³石河子大学农学院, 新疆石河子 832003; ⁴中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司, 新疆库尔勒 841000)

摘要 为探讨极端干旱区风沙土土壤微生物与土壤环境因子的作用规律, 采用相关分析法研究了塔里木沙漠公路防护林地土壤微生物生物量与理化因子和酶活性的关系. 结果表明: 土壤容重和粒径减小 ($R < -0.84$)、含水量和孔隙增大 ($R > 0.85$) 时, 防护林地中土壤微生物数量和生物量有增大趋势, 由容重与微生物量的相关性主导; 土壤养分含量与土壤微生物数量和生物量呈正相关, 主要由速效养分和放线菌、微生物生物量 C、P 的相关性所致; 土壤酶活性与土壤微生物数量和生物量的相关性差异较大, R 在 0.51~0.91, 主要取决于蔗糖酶、磷酸酶与放线菌、微生物量 C 的相关; 土壤盐分增加不利于土壤微生物生物量的积累 ($R < -0.71$); 土壤微生物数量与生物量呈较高正相关 ($R > 0.63$). 实践中应为干旱区林地土壤微生物营造良好的土体, 促进土壤物质循环.

关键词 塔里木沙漠公路防护林 土壤微生物数量 土壤微生物生物量 土壤环境因子

文章编号 1001-9332(2009)01-0051-07 中图分类号 S714 文献标识码 A

Relationships of soil microbial biomass with soil environmental factors in Tarim Desert highway shelter-forest. JIN Zheng-zhong^{1,2}, LEI Jia-qiang¹, XU Xin-wen¹, LI Sheng-yu¹, FAN Jing-long¹, ZHAO Si-feng³, ZHOU Hong-wei⁴, GU Feng⁴ (¹Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; ³College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China; ⁴Tarim Branch of PetroChina Company Limited, Kurle 841000, Xinjiang, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2009, 20(1): 51-57.

Abstract: By using correlation analysis, this paper studied the relationships of soil microbial quantity and biomass with soil physical and chemical factors and enzyme activities in highway shelter-forests of Tarim Desert, aimed to approach the interactions between microbes and environmental factors in aeolian sandy soil of extremely arid area. The results showed that soil microbial quantity and biomass in the shelter-forests had an increasing trend with the decrease of soil bulk density and particle size ($R < -0.84$) and the increase of soil moisture content and porosity ($R > 0.85$), with the correlation between soil microbial biomass and soil bulk density as the key. Soil microbial quantity and biomass were positively correlated with soil nutrient contents, mainly caused by the correlations of soil actinomycetes and microbial biomass C and P with soil available nutrients. Greater differences ($R = 0.51 - 0.91$) were observed in the correlations of soil enzyme activities with soil microbial quantity and biomass, which was mainly determined by the correlations of soil invertase and phosphatase activities with soil actinomycetes and microbial biomass C. The increase of soil salt content was not favorable to the accumulation of soil microbial biomass ($R < -0.71$), and there was a higher positive correlation ($R > 0.63$) between soil microbial amount and biomass. In practice, good soil condition should be established in the forestlands of arid area for the development of soil microbes and the promotion of soil matter cycling.

Key words: Tarim Desert highway shelter-forest; soil microbial quantity; soil microbial biomass; soil environmental factor.

* 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(200821163)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-342)、新疆维吾尔自治区重大科技专项(200733144-3)和国家自然科学基金资助项目(40701019, 40701098).

** 通讯作者. E-mail: desert@ms.xjb.ac.cn

2008-05-05 收稿, 2008-10-29 接受.

土壤微生物对林地土壤养分循环、矿物分解和团粒结构形成起着决定性作用。土壤微生物生物量库中的元素比植物残体中的周转快,在有效养分转化积累中起着重要作用^[1-2]。另外,土壤微生物对土壤环境变化反应敏感,能够较早地指示土壤生态系统功能的变化^[3]。因此,森林土壤微生物已成为当前研究的热点。前人主要从土壤微生物数量和生物量来揭示森林土壤微生物与土壤因子的关系,认为二者存在一定的互变规律^[4-5]。塔里木沙漠公路防护林处在极端干旱的塔克拉玛干沙漠腹地,在高温、干旱和高盐碱的胁迫下,林地土壤肥力水平的高低对林木能否正常生长至关重要。土壤微生物数量和生物量是衡量林地土壤肥力的重要指标,因此,分析防护林地土壤微生物数量、生物量与土壤环境因子的关系成为了解土壤肥力状况的有效手段^[6]。以往的研究仅涉足于塔里木沙漠公路防护林土壤微生物数量,并不能全面反映其与土壤条件的关系^[7]。本文通过分析塔里木沙漠公路防护林土壤微生物数量和生物量与土壤物理因子、化学因子和生物学因子间的相关性,全面揭示了土壤微生物与其所在土体条件之间的关系,旨在为塔里木沙漠公路防护林的可持续管理提供理论指导。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

采样点分布在塔克拉玛干沙漠腹地的塔中油田附近(39°07' N, 83°42' E),该沙漠公路段沿线的自然环境极为严酷,气候极端干燥、地表水资源匮乏、地下水矿化度高、风沙活动强烈、土壤贫瘠。据前期研究及监测资料,沙漠公路沿线降水量不足50 mm,潜在蒸散量达3800 mm,极端最高气温43.2 °C,极端最低气温-19.3 °C,最大风速24 m·s⁻¹,≥6.0 m·s⁻¹的起沙风总时数550~800 h·a⁻¹;该区沙丘形态复杂多样,既有高度在50 m以上的纵向复合沙垄,也有高度不足1 m的新月形沙丘,次级沙丘覆盖率在60%以上,分布于高大复合沙垄间的小沙丘年移动量在15 m以上;该区土壤以形成过程极为微弱的风沙土为主,自然植被贫乏,盖度极低^[8-9]。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 以耐干旱、耐盐碱的沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)和梭梭(*Haloxylon ammodendron*)3种灌木作为防护林建设树种,配置方式为行间混交,株行距为1 m×1 m,林带宽度72~78 m。灌溉方式为滴灌,灌溉周期为

10 d,灌水定额450 cm³·hm⁻²,滴头间距为1.5 m,滴灌用水的矿化度约4.04 g·L⁻¹,pH值8.13。施肥一般在6—8月进行,每月一次,主要以浴水施肥为主(将可溶性尿素倒入施肥罐,随水施入),施肥量每次控制在每株10~15 g。

1.2.2 采样方法 2006年7月下旬,选取7种不同定植年限的防护林地和流沙地为采样地(表1),各林地的立地条件、树龄大小、周围树种类型、灌水时间、距离滴头位置和植株间距等条件基本一致。于各林地中间分别随机选取受干扰很小的5个点(重复5次),用直径5 cm的钢质土钻取0~10 cm、10~20 cm和20~30 cm范围内的土样,弃去植物残体过2 mm筛,不同取样点的同层土样混和均匀后立即装入对应编号的样品袋。其中,用于理化性质和酶活性测定的样品风干;分析土壤微生物生物量的样品放入-4 °C的冰箱保存。

1.2.3 测定方法 1)土壤微生物数量的测定用稀释平板法^[10],其中细菌用牛肉膏蛋白胨培养基、放线菌用高氏一号培养基、真菌用加入孟加拉红的马铃薯葡萄糖培养基。2)土壤养分和盐分的测定均采用常规方法^[11],其中有机质用重铬酸钾氧化-外加热法;全氮用高氯酸-硫酸消化法;有效氮用碱解蒸馏法;全磷用酸溶-钼锑抗比色法;有效磷用0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃ 浸提钼锑抗比色法;全钾用酸溶-火焰光度法;速效钾用NH₄OAc浸提-火焰光度法;水溶性盐总量用残渣烘干法;pH用电位测定法。3)土壤含水量用烘干法;容重用环刀法;比重用比重瓶法;总孔隙度由容重和比重计算得出;粒度分析用马尔

表1 不同定植年限防护林地位置

Tab.1 Sites of the forest lands with different plantation ages

定植时间 Plantation time	采样地点 Sampling site	地理坐标 Geographic coordinate
流沙地(对照) Drift sand (CK)	塔中丁字路口外围流沙 Flowing sand outside of T-shaped Road Junction in Tazhong	39°08'N 83°42'E
2006	肉苁蓉二期防护林地 Shelter forest land of the secondary phase <i>Cistanche salsa</i>	39°08'N 83°44'E
2005	69井灌溉防护林地 Shelter forest land irriga- ted with No. 69 water well	38°53'N 83°13'E
2004	肉苁蓉一期防护林地 Shelter forest land of the first phase <i>Cistanche salsa</i>	39°08'N 83°43'E
2003	塔中植物园外围防护林地 Shelter forest land surrounding Tazhong Botanical Garden	39°07'N 83°42'E
2001	丁字路口南侧防护林地 Shelter forest land at southern T-shaped Road Junction in Tazhong	39°07'N 83°41'E
1999	丁字路口2 km防护林地 Shelter forest land 2 km away from T-shaped Road Junction in Tazhong	39°08'N 83°40'E
1995	中三点三角防护造林地 Shelter forest land at Zhongsandian of Tazhong	39°08'N 83°39'E

文(2000)粒度分析仪.4)土壤酶活性测定均采用常规方法^[12],其中蛋白酶、纤维素酶、蔗糖酶、磷酸酶、脲酶均采用比色法,但使用的药剂和处理方法都不相同;过氧化氢酶采用滴定法.5)土壤微生物生物量均采用熏蒸浸提法^[13],其中微生物生物量 C 采用熏蒸提取-容量分析法;微生物生物量 N 采用熏蒸提取-茚三酮比色法;微生物生物量 P 采用熏蒸提取-全磷测定法.

1.3 数据处理

借助 DPS 统计分析软件,在简单相关分析基础上,选择典型相关分析法,以找出土壤微生物生物量、土壤物理因子、土壤化学因子和土壤酶活性每 2 类指标的线性组合函数^[14-15]:

$$U = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_pX_p \quad (1)$$

$$V = b_1Y_1 + b_2Y_2 + \dots + b_qY_q \quad (2)$$

式中: a_1, a_2, \dots, a_p 和 b_1, b_2, \dots, b_q 是待定系数,可确保 U 和 V 间具有最大相关系数,即典范相关系数(canonical correlation coefficient),用来度量 2 个线性函数之间的联系强度.其中,土壤微生物生物量指标为第 1 类变量,包括:细菌数量(X_1)、放线菌数量(X_2)、

真菌数量(X_3)、微生物生物量 C(X_4)、微生物生物量 N(X_5)和微生物生物量 P(X_6);土壤物理因子指标为第 2 类变量,包括:土壤含水量(L_1)、容重(L_2)、总孔隙度(L_3)和粒径(L_4);土壤化学因子指标为第 3 类变量,包括:有机质含量(M_1)、全氮含量(M_2)、全磷含量(M_3)、全钾含量(M_4)、速效氮含量(M_5)、速效磷含量(M_6)、速效钾含量(M_7)、全盐含量(M_8)、pH 值(M_9)和电导率(M_{10});土壤酶活性指标为第 4 类变量,包括:过氧化氢酶活性(N_1)、磷酸酶活性(N_2)、脲酶活性(N_3)、纤维素酶活性(N_4)、蔗糖酶活性(N_5)和蛋白酶活性(N_6).

2 结果与分析

2.1 土壤微生物生物量与土壤物理因子间的关系

由表 2 可以看出,土壤微生物数量和生物量与土壤含水量、容重、总孔隙度和中值粒径存在明显的相关性,相关系数绝对值均 > 0.8 ,其中土壤微生物数量和生物量与土壤含水量和总孔隙度呈显著正相关关系,与容重和中值粒径呈明显负相关,说明土壤孔隙度大、含水量高有利于微生物的生存和生物量

表 2 土壤微生物生物量与土壤物理因子、化学因子和土壤酶活性间的简单相关关系

Tab. 2 Simple correlations between soil microbial biomass and physical and chemical factors and enzyme activities

土壤因子 Soil factor	变量 Variable	细菌数量 Bacterial quantity (X_1)	放线菌数量 Actinomycetes quantity (X_2)	真菌数量 Fungi quantity (X_3)	微生物生物量 C Microbial biomass C (X_4)	微生物生物量 N Microbial biomass N (X_5)	微生物生物量 P Microbial biomass P (X_6)	R 绝对值之和 Sum of absolute value for R
物理因子 Physical factor	L_1	0.878	0.857	0.874	0.905	0.861	0.940	5.315
	L_2	-0.857	-0.923	-0.898	-0.910	-0.877	-0.939	5.403
	L_3	0.850	0.887	0.883	0.910	0.863	0.926	5.318
	L_4	-0.877	-0.836	-0.870	-0.843	-0.842	-0.931	5.199
化学因子 Chemical factor	M_1	-0.567	-0.836	-0.890	-0.847	-0.933	-0.912	4.985
	M_2	0.497	0.853	0.826	0.911	0.861	0.813	4.759
	M_3	0.799	0.930	0.918	0.946	0.928	0.949	5.470
	M_4	0.731	0.946	0.922	0.961	0.922	0.955	5.437
	M_5	0.751	0.945	0.841	0.894	0.850	0.851	5.133
	M_6	0.828	0.845	0.893	0.883	0.880	0.967	5.295
	M_7	0.805	0.889	0.9124	0.901	0.896	0.979	5.382
	M_8	0.817	0.893	0.907	0.943	0.918	0.963	5.439
	M_9	-0.720	-0.909	-0.959	-0.946	-0.936	-0.966	5.435
	M_{10}	-0.691	-0.948	-0.911	-0.961	-0.927	-0.917	5.355
酶活性 Enzyme activities	N_1	0.551	0.878	0.794	0.869	0.869	0.778	4.738
	N_2	0.652	0.947	0.852	0.933	0.889	0.833	5.106
	N_3	0.664	0.827	0.904	0.792	0.810	0.917	4.914
	N_4	0.511	0.740	0.690	0.777	0.776	0.682	4.175
	N_5	0.711	0.928	0.922	0.913	0.944	0.927	5.345
	N_6	0.709	0.945	0.837	0.857	0.830	0.834	5.012

L_1 : 含水量 Moisture content; L_2 : 容重 Bulk density; L_3 : 总孔隙度 Total porosity; L_4 : 中值粒径 Median grain size; M_1 : 有机质含量 Organic matter content; M_2 : 全氮含量 Total N content; M_3 : 全磷含量 Total P content; M_4 : 全钾含量 Total K content; M_5 : 速效氮含量 Available N content; M_6 : 速效磷含量 Available P content; M_7 : 速效钾含量 Available K content; M_8 : 全盐含量 Total salt content; M_9 : pH 值 pH value; M_{10} : 电导率 Conductivity; N_1 : 过氧化氢酶 Catalase; N_2 : 磷酸酶 Phosphatase; N_3 : 脲酶 Urease; N_4 : 纤维素酶 Cellulase; N_5 : 蔗糖酶 Invertase; N_6 : 蛋白酶 Protease. 下同 The same below.

表3 土壤微生物量与土壤物理因子、化学因子和土壤酶活性典型相关系数的卡方检验

Tab.3 Chi-square tests of canonical correlation coefficients between soil microbial biomass and physical and chemical factors and enzyme activities

土壤因子 Soil factor	典型向量 Typical vector	典型相关系数 Canonical correlation coefficient	特征根 Eigenvalue	卡方值 Chi-square value	自由度 Freedom degree	显著水平 Significant level	累积贡献率 Accumulative contribution ratio
物理因子 Physical factor	1	0.989	0.979	112.557	24	0	0.421
	2	0.926	0.857	42.481	15	0	0.369
	3	0.663	0.439	9.766	8	0.282	0.189
	4	0.225	0.051	0.751	3	0.861	0.022
化学因子 Chemical factor	1	0.997	0.995	185.367	66	0	0.217
	2	0.977	0.954	103.923	50	0	0.208
	3	0.931	0.867	58.951	36	0.009	0.189
	4	0.869	0.755	31.858	24	0.131	0.164
	5	0.792	0.627	14.904	14	0.385	0.136
	6	0.630	0.397	4.548	6	0.603	0.086
酶活性 Enzyme activity	1	0.997	0.995	185.367	66	0	0.217
	2	0.977	0.954	103.923	50	0	0.208
	3	0.931	0.867	58.951	36	0.009	0.189
	4	0.869	0.755	31.858	24	0.131	0.164
	5	0.792	0.627	14.904	14	0.385	0.136
	6	0.630	0.397	4.548	6	0.603	0.086

积累,土壤微生物数量和生物量随土壤容重和中值粒径的增大而减小趋势。土壤微生物数量和生物量与物理因子的相关系数绝对值之和依次为:真菌 > 放线菌 > 细菌和微生物生物量 P > 微生物生物量 C > 微生物生物量 N,说明土壤物理性质变化对真菌数量影响最大、对细菌影响最小;土壤透水、透气性对土壤微生物生物量 P 的影响最大、对微生物生物量 N 影响最小。

从表3可以看出,土壤微生物生物量与土壤物理因子的典型相关系数中,经卡方检验,前两个相关系数达到显著水平,所包含的相关信息占两组变量间总相关信息的 78.94%,因此,对前两对典型变量的系数进行分析能够反映这两组变量间的主要相关信息。第1对典型变量中, U_1 中 X_3 和 X_6 的系数较大, V_1 中 L_2 的系数最大,说明其相关主要由真菌数量和微生物生物量 P 与容重的相关性引起;而第2对典型变量的 U_2 中 X_2 和 X_4 的系数较大, V_2 中 L_2 的系数最大(表4),表明放线菌数量和微生物生物量 C 与土壤容重的相关性对该典型变量的相关性影响较大。

综上,塔里木沙漠公路防护林土壤微生物生物量和土壤物理性质两组变量间的相关主要由微生物中的真菌数量、放线菌数量、微生物生物量 P、微生物生物量 C 与土壤物理因子中的容重所引起。这与简单相关分析结果一致(表2)。

2.2 土壤微生物生物量与土壤化学因子的关系

由表2可以看出,土壤微生物生物量与土壤化

学因子的相关系数多大于0.8,总体相关性明显,且与所有养分因子的相关系数大于0,与盐分因子的相关系数小于0,表明土壤养分提高有利于土壤微

表4 土壤微生物生物量与土壤物理因子、化学因子和酶活性的典型变量构成

Tab.4 Compositions of the canonical variables for soil microbial biomass and physical and chemical factors and enzyme activities

土壤因子 Soil factor	典型变量 Variable
物理因子 Physical factor	$U_1 = 0.346X_1 + 0.513X_2 - 0.529X_3 + 0.196X_4 + 0.202X_5 + 0.509X_6$ $V_1 = 0.299L_1 - 0.755L_2 + 0.580L_3 - 0.062L_4$ $U_2 = 0.071X_1 - 0.818X_2 + 0.059X_3 + 0.548X_4 - 0.009X_5 + 0.147X_6$ $V_2 = 0.256L_1 + 0.857L_2 + 0.373L_3 - 0.246L_4$
化学因子 Chemical factor	$U_1 = -0.037X_1 + 0.110X_2 + 0.094X_3 + 0.722X_4 + 0.154X_5 + 0.658X_6$ $V_1 = -0.019M_1 + 0.224M_2 + 0.114M_3 + 0.225M_4 + 0.558M_5 - 0.162M_6 - 0.613M_7 + 0.370M_8 + 0.121M_9 + 0.137M_{10}$ $U_2 = -0.388X_1 - 0.315X_2 + 0.406X_3 + 0.638X_4 - 0.010X_5 - 0.422X_6$ $V_2 = -0.027M_1 + 0.283M_2 - 0.014M_3 - 0.361M_4 - 0.754M_5 + 0.143M_6 + 0.411M_7 + 0.094M_8 + 0.108M_9 + 0.006M_{10}$ $U_3 = -0.151X_1 - 0.649X_2 + 0.262X_3 - 0.036X_4 - 0.154X_5 + 0.680X_6$ $V_3 = 0.014M_1 - 0.088M_2 + 0.059M_3 - 0.723M_4 - 0.246M_5 + 0.467M_6 + 0.185M_7 + 0.266M_8 + 0.184M_9 - 0.017M_{10}$
酶活性 Enzyme activity	$U_1 = 0.065X_1 + 0.466X_2 + 0.473X_3 + 0.554X_4 + 0.491X_5 + 0.084X_6$ $V_1 = -0.355N_1 + 0.588N_2 + 0.342N_3 + 0.287N_4 + 0.556N_5 - 0.143N_6$ $U_2 = -0.028X_1 - 0.680X_2 + 0.238X_3 - 0.189X_4 - 0.013X_5 + 0.667X_6$ $V_2 = -0.519N_1 - 0.419N_2 + 0.276N_3 + 0.290N_4 + 0.593N_5 - 0.206N_6$

生物存活和生物量积累,土壤盐分含量大时不利于土壤微生物生长.土壤微生物的数量和生物量与土壤化学因子的相关系数绝对值之和依次为:放线菌数量 > 真菌数量 > 细菌数量和微生物生物量 C > 微生物生物量 P > 微生物生物量 N.就两因子的相关性而言,真菌数量与全盐含量、微生物生物量 C 与 pH 值、微生物生物量 P 与全 P 含量、速效 N、P、K 含量、全盐含量的相关系数均大于 0.95,密切相关;而细菌数量与土壤化学因子的相关性较小.

由表 3 可以看出,经卡方检验,土壤微生物生物量与土壤化学因子前 3 个典型相关系数达到显著水平,包含的相关信息占两组变量间总相关信息的 61.30%,可反映两组变量的多数相关信息.对前 3 对典型变量的构成加以分析(表 4),第 1 对典型变量的 U_1 中 X_2 和 X_4 系数最大, V_1 中 M_5 和 M_8 的系数较大;第 2 对典型变量的 U_2 中 X_2 和 X_4 系数最大, V_2 中 M_4 和 M_5 系数较大;第 3 对典型变量的 U_3 中 X_2 和 X_6 系数最大, V_3 中 M_4 和 M_6 系数较大.由此可见,塔里木沙漠公路防护林土壤微生物生物量与土壤化学因子两组变量间的相关主要由养分中的速效养分含量和土壤微生物中的放线菌数量、微生物生物量 C 和微生物生物量 P 所引起.这与简单相关分析结果类似(表 2).

2.3 土壤微生物生物量与土壤酶活性间的关系

从表 2 可以看出,土壤微生物生物量与土壤酶活性存在简单正相关,总体相关系数较大.其中放线菌数量与磷酸酶、蔗糖酶、蛋白酶活性,真菌数量与脲酶、蔗糖酶活性,微生物生物量 C 与磷酸酶、蔗糖酶活性,微生物生物量 N 与蔗糖酶活性,微生物生物量 P 与脲酶、蔗糖酶活性的相关系数均大于 0.9,说明磷酸酶、脲酶和蔗糖酶活性的提高可能促进土壤微生物数量增加和生物量积累.微生物数量和生物量与酶活性的相关系数绝对值之和依次为放线菌 > 真菌 > 细菌和微生物生物量 C > 微生物生物量 N > 微生物生物量 P.

在土壤微生物生物量与土壤酶活性的典型相关系数中,经卡方检验,前两个相关系数达到显著水平,占总相关信息的 64.74%(表 3),基本可以反映两组变量间的主要相关信息.分析两对典型变量的构成(表 4)可知, U_1 中 X_3 和 X_4 的系数较大, V_1 中 N_2 的相关系数最大; U_2 中 X_2 和 X_6 的系数较大, V_2 中 N_3 相关系数最大,说明第 1 对典型变量的相关性主要由真菌数量、微生物生物量 C 和磷酸酶活性引起,而第 2 对典型变量的相关性则由放线菌数量、微

生物生物量 P 和蔗糖酶活性引起.从中可以看出,塔里木沙漠公路防护林土壤微生物生物量与土壤酶活性两组变量间的相关主要由酶活性中的蔗糖酶活性、磷酸酶活性与土壤微生物中的放线菌数量、微生物生物量 C 引起.这与简单相关分析结果一致(表 2).

2.4 土壤微生物生物量因子间的关系

简单相关分析发现(表 5),不同的微生物数量、生物量显著相关,且微生物数量与生物量间均呈明显正相关,相关系数均大于 0.6.其中放线菌数量与真菌数量、微生物生物量 P,真菌数量与微生物生物量 N、微生物生物量 P,微生物生物量 C 与微生物生物量 N,微生物生物量 N 与微生物生物量 P 的相关系数均 > 0.9.所以,总体上微生物生物量与细菌数量的相关程度较小,而与放线菌最为密切;微生物生物量 N 与微生物数量的相关性略小于微生物生物量 C 和 N.说明不同土壤微生物生物量的相关性有所差异,某一种微生物数量或生物量的变化都会引起其他微生物生物量指标的改变.

表 5 土壤微生物因子间的简单相关关系

Tab.5 Simple correlations of soil microbial factors

相关系数 Correlation coefficient	细菌 数量 Bacterial quantity	放线菌 数量 Actinomycetes quantity	真菌数量 Fungi quantity	微生物 生物量 C Microbial biomass C	微生物 生物量 N Microbial biomass N
放线菌数量 Actinomycetes quantity	0.712				
真菌数量 Fungi quantity	0.720	0.928			
微生物生物量 C Microbial biomass C	0.699	0.896	0.874		
微生物生物量 N Microbial biomass N	0.627	0.891	0.902	0.922	
微生物生物量 P Microbial biomass P	0.780	0.926	0.952	0.892	0.913

表中所有相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$) All the correlation coefficients in the above table were remarkably significant.

3 讨 论

土壤微生物与植物营养和土壤肥力关系密切,在土壤物质和能量循环转化中起着重要作用^[16].土壤微生物生物量是土壤有机质和土壤养分转化循环的动力,亦是土壤中植物有效养分的储备库,约占土壤有机质的 1% ~ 3%^[17],常作为评价土壤肥力的指标^[18-19].研究发现,塔里木沙漠公路防护林土壤微生物数量和生物量大小对土壤环境条件的依赖性

强.分析发现,土壤含水量和孔隙度增大、容重和粒径减小时,微生物数量和生物量有明显增加趋势,说

良好的土壤团粒结构能为微生物提供良好的透水、通气和保水条件^[20-21]。但不同微生物对土壤环境的要求不同,细菌适宜潮湿土壤,放线菌耐干旱,真菌介于二者之间^[22]。相关分析表明,细菌、真菌和放线菌与土壤物理因子的相关性依次为:真菌 > 放线菌 > 细菌,由于真菌在塔里木沙漠公路防护林土壤微生物区系组成中比例很小,土壤物理因子的改变使其数量发生明显变化。当土壤盐分含量、pH 值和电导率增大时,土壤微生物数量和生物量有减小趋势,说明塔里木沙漠公路防护林土壤盐分积累不利于土壤微生物繁殖。

放线菌数量和微生物生物量 C 与土壤化学因子的相关性最大,且土壤微生物数量和生物量与土壤速效养分的关系比与全量养分密切。说明土壤养分含量提高时,土壤微生物数量有增大趋势,同时,土壤微生物生物量 C、N、P 的积累与土壤中这些元素含量关系密切,土壤微生物是土壤速效养分的重要来源。土壤养分对土壤微生物和群落结构影响较大,其中 C、N 元素含量对微生物生长最为重要, C/N 通常在 25:1 时有利于微生物生长^[22-23]。另外,土壤 pH 值和含盐量与土壤微生物生物量相关,影响土壤微生物的营养利用以及与酶和微生物分泌物有关^[24]。

塔里木沙漠公路防护林土壤微生物生物量与土壤酶活性呈正相关关系,这与土壤微生物是土壤酶的主要来源,而土壤酶促进了土壤微生物在土壤中的生物化学作用有关^[25]。如放线菌能释放分解腐殖质和木质素的过氧化物酶和氧化酶等^[26];细菌数量与葡萄糖酶和脱氢酶等酶活性显著正相关^[27];土壤真菌占优势时,磷酸酶活性增强^[24]。

研究区土壤不同种类微生物数量和生物量对环境因子的反应存在差异。沙漠公路防护林土壤细菌数量与土壤理化因子和酶活性的相关程度不及放线菌和真菌,而土壤微生物生物量 N 与土壤理化因子和酶活性的相关程度也较微生物生物量 C 和 P 小一些。

塔里木沙漠公路防护林建设后,风沙土开始成土发育,土壤微生物的作用使土壤质量提高,对于防护林的健康生长具有重要意义。在极端干旱、高温、盐分含量大的情况下,林地土壤微生物对土壤条件有很强的依赖性。在防护林管理中,应增加土壤养分施入,调整土壤酸碱性、改善土壤物理结构,从而提高土壤生物化学活性,为防护林的生长提供良好的土体。

参考文献

- [1] He Z-L (何振立). Study on soil microbial biomass and its significances in nutrient cycling and soil quality evaluation. *Soils (土壤)*, 1997, **29**(2): 61-69 (in Chinese)
- [2] Brookes PC, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985, **17**: 837-842
- [3] Powlson DS, Brooks PC, Christensen BT. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, **19**: 159-164
- [4] Zhao M (赵萌), Fang X (方晰), Tian D-L (田大伦). Relation between the quantity of soil microbe and soil factor in the second rotation Chinese fir plantation. *Scientia Silvae Sinicae (林业科学)*, 2007, **43**(6): 7-12 (in Chinese)
- [5] Xue S (薛蕙), Liu G-B (刘国彬), Dai Q-H (戴全厚), et al. Dynamic changes of soil microbial biomass in the restoration process of shrub plantations in loess hilly area. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2008, **19**(3): 517-522 (in Chinese)
- [6] Zhou L-X (周丽霞), Ding M-M (丁明懋). Soil microbial characteristics as bioindicators of soil health. *Biodiversity Science (生物多样性)*, 2007, **15**(2): 162-171 (in Chinese)
- [7] Gu F-X (顾峰雪), Pan X-L (潘晓玲), Pan B-R (潘伯荣), et al. Changing of eolian soil fertility in central Taklimakan Desert under impact of artificial vegetation. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, 2002, **22**(8): 1179-1188 (in Chinese)
- [8] Zhou Z-B (周智彬), Li P-J (李培军), Xu X-W (徐新文), et al. Effect of artificial green belt on salt distribution in sand land in hinterland of Taklimakan Desert. *Journal of Soil and Water Conservation (水土保持学报)*, 2002, **16**(2): 14-19 (in Chinese)
- [9] Li S-Y (李生宇), Li H-Z (李红忠), Lei J-Q (雷加强). Analysis of growth differences of seedlings irrigated with high degree of mineralization water. *Journal of Soil and Water Conservation (水土保持学报)*, 2004, **18**(3): 118-122 (in Chinese)
- [10] Microbe Department of Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences (中国科学院南京土壤研究所微生物室). *Soil Microbe Research Method*. Beijing: Science Press, 1985 (in Chinese)
- [11] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences (中国科学院南京土壤研究所). *Soil Physical and Chemical Properties Analysis*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978 (in Chinese)
- [12] Guan S-Y (关松荫). *Soil Enzyme and Its Methodology*. Beijing: China Agricultural Press, 1986 (in Chinese)
- [13] Wu J-S (吴金水), Lin Q-M (林启美), Huang Q-Y

- (黄巧云), *et al.* Determination Method and Its Application of Soil Microbial Biomass. Beijing: Meteorology Press, 2006 (in Chinese)
- [14] Tang Q-Y (唐启义), Feng M-G (冯明光). DPS Data Processing System - Experimental Design Statistical Analysis and Data Mining. Beijing: Science Press, 2007 (in Chinese)
- [15] Teng Y (滕 应), Huang C-Y (黄昌勇), Luo Y-M (骆永明), *et al.* Changes in microbial activities and its community structure of red earths polluted with mixed heavy metals. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2005, **42**(5): 819-828 (in Chinese)
- [16] Li F-D (李阜棣), Hu Z-J (胡正嘉). Microbiology. Beijing: China Agricultural Press, 2000 (in Chinese)
- [17] Jenkinson DS, Ladd JN. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover// Paul EA, Ladd JN, eds. Soil Biochemistry. New York: Marcel Dekker, 1981
- [18] Shen H (沈 慧), Jiang F-Q (姜凤岐), Du X-J (杜晓军), *et al.* Study on soil fertility of water and soil conservation forest and its evaluation indexes. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2000, **14**(2): 61-66 (in Chinese)
- [19] Yu S (俞 慎), Li Y (李 勇), Wang J-H (王俊华), *et al.* Study on the soil microbial biomass as a bioindicator of soil quality in tile red earth ecosystem. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 1999, **36**(3): 413-422 (in Chinese)
- [20] Xu J-W (许景伟), Wang W-D (王卫东), Li C (李成). The correlation among soil microorganism, enzyme and soil nutrient in different types of mixed stands of *Pinus thunbergii*. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2000, **22**(1): 51-55 (in Chinese)
- [21] Shao Y-Q (邵玉琴), Zhao J (赵 吉). Study on soil microbial numbers and soil ecological factor in fixed dunes in the east Hobq Sands of NeiMongol. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol* (内蒙古大学学报·自然科学版), 1997, **28**(5): 715-719 (in Chinese)
- [22] Noah F, Joshua PS, Patricia AH. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, **35**: 167-176
- [23] Cai X-B (蔡晓布), Qian C (钱 成), Zhang Y-Q (张永清). Characterization of soil biological properties on degraded alpine grasslands. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(8): 1733-1738 (in Chinese)
- [24] Xu G-H (许光辉), Zheng H-Y (郑洪元). Manual of Analysis Method for Soil Microbe. Beijing: China Agricultural Press, 1986 (in Chinese)
- [25] Hu C-B (胡承彪), Zhu H-G (朱宏光), Wei Y-L (韦源连), *et al.* Ecological distribution and biochemical activity of soil microorganisms in Qiping forest region of Genxi County, Guangxi Province. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 1991, **10**(4): 4-8 (in Chinese)
- [26] Yang F (杨 芳), Xu Q-F (徐秋芳). Advance in studies on diversity of microorganism in soil. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology* (浙江林业科技), 2002, **12**(6): 39-41 (in Chinese)
- [27] Taylor JP, Wilson B, Mills IVIS, *et al.* Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, **34**: 387-401

作者简介 靳正忠,男,1979年生,博士,助理研究员.主要从事土壤微生物生态学和土壤学研究,发表论文10余篇. E-mail: jzz3501@126.com

责任编辑 李凤琴
