

# 荒漠-绿洲土壤微生物群落组成与其活性对比

李晨华 李 彦 谢静霞 唐立松

(中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011)

**摘要** 结合野外观测与实验室研究方法,对比研究了准葛尔盆地南缘盐生荒漠与绿洲农田土壤微生物活性与其群落组成的变化特征,并分析了土壤温度与湿度对荒漠-绿洲土壤微生物活性的影响。结果表明,荒漠开垦为绿洲后,土壤细菌明显增加,真菌无明显变化,放线菌显著减少。细菌在绿洲农田土壤矿化作用中占主导,真菌则在荒漠中占优势,绿洲农田土壤微生物活性(包括真菌与细菌活性)明显高于荒漠。温度对荒漠-绿洲土壤微生物活性的影响只在一定土壤湿度范围内作用显著,绿洲农田受其影响较大,荒漠有机质含量明显高于绿洲农田,但水分与盐分因素抑制了微生物对其的分解和矿化。不同土地利用方式导致了荒漠绿洲间土壤湿度及盐份的较大差异,加之与土壤温度极显著的交互作用,使得开垦后土壤有机碳的易得性增强,微生物群落结构发生显著改变,进而有机碳的矿化速率加快,土壤碳库随之消减。

**关键词** 荒漠-绿洲 微生物活性  $\text{CO}_2$  释放 矿化 真菌 细菌

文章编号:1000-0933(2007)08-3391-09 中图分类号:Q938.1 文献标识码:A

## Comparative on microbial community composition and microbial activities in desert and oasis soils

LI Chen-Hua, LI Yan, XIE Jing-Xia, TANG Li-Song

Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (8) 3391 ~ 3399.

**Abstract** : Desert grey soil is one of the typical soil types in arid zone. Soils at Fu-Kang oasis and the surrounding desert were selected to represent the desert grey soil. The microbial community composition and microbial activities were compared between saline desert and oasis farmland at south periphery of Gurbantonggut desert. The eukaryote (fungi) and prokaryote (bacteria) contribution to microbial activity were determined with selective inhibition techniques applied to soils. The gradients of soil temperature ( $17 - 37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) and moisture ( $8\% - 30\%$ ) were applied in treatments to understand the effects of temperature and moisture on soil microbial activities. Significant differences were found in microbial activities and community composition between desert and oasis. After the desert land was cultivated and became oasis, the number of bacteria increased, actinomyces decreased significantly, and fungi didn't change that significant. There was a bacterial dominance, which was twice as much as fungal activities from April to July, in heterotrophic respiration at oasis field, but a fungal dominance at desert. Microbial activities in oasis field, including fungal and bacterial activities, were significantly higher than that in desert. Microbial activities both in oasis field and in desert were exponentially correlated with soil temperature, but the effect of temperature on the former was more significant. Temperature had significant effect on

基金项目 亚洲太平洋地区环境创新战略资助项目(APEIS);环境综合监测子课题(IEM)资助项目;中国科学院西部之光资助项目

收稿日期 2006-11-21;修订日期 2007-06-06

作者简介 李晨华(1974~),女,江苏宜兴人,博士,主要从事土壤生态、微生物生态研究. E-mail: lchnature@sohu.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liyan@ms.xjb.ac.cn

**Foundation item** The project was financially supported by Integrated Environmental Monitoring Subproject, the Asia-Pacific Environmental Innovation Strategy Project; "Western Light" project of Chinese Academy of Sciences

**Received date** 2006-11-21; **Accepted date** 2007-06-06

**Biography** LI Chen-Hua, Ph. D., mainly engaged in soil ecology and microbial ecology. E-mail: lchnature@sohu.com

microbial activity in desert and oasis ,but only for a given range of soil moisture. Meanwhile ,the content of soil organic matter in desert was higher than that in oasis field ,but had not resulted in high microbial activity in desert ,which was likely caused by low soil moisture and high salt content. Namely ,when desert became oasis after cultivation of the land ,contrasting difference existed in soil moisture and salt content ,which increased availability of soil organic carbon ,and resulted in a significant difference in soil microbial composition and activities ,and at the end ,decreases of the soil carbon storage.

**Key Words :** desert and oasis ; microbial activity ; CO<sub>2</sub> flux ; mineralization ; bacteria ; fungi

灰漠土是干旱区典型土壤之一 ,在我国西北干旱区尤其是新疆 50 多年来新绿洲农田的开垦大多发生在原始灰漠土上。当原生荒漠变为绿洲后 ,当地生态系统的碳收支必然发生剧烈的改变。微生物在土壤碳循环中具有极其重要的作用<sup>[1]</sup>。研究发现<sup>[2,3]</sup>土壤微生物群落结构的变化对土壤团聚体形成与稳定、土壤碳库动态的作用显著。微生物活性则反映了微生物对土壤有机质的分解能力<sup>[4]</sup>和土壤湿度、透气性<sup>[5]</sup>、温度<sup>[6]</sup>及土壤肥力的状况<sup>[7]</sup> ,其具体表现即为微生物对有机质矿化所引起的呼吸作用 ,这是系统碳循环中的一个重要过程<sup>[8]</sup> ,土壤微生物状况可指示土地退化、土地利用及管理效应等情况 ,异养微生物呼吸作用的研究尤其可为土地管理决策提供重要的理论依据<sup>[9]</sup>。有关土壤微生物及其呼吸作用的研究多集中于森林<sup>[1,3]</sup>、草原<sup>[10]</sup>与一般农田<sup>[5]</sup>。干旱区是与全球气候变化关系最为密切的生态类型之一<sup>[11]</sup> ,但其相关研究甚少 ,与所占陆地面积极不相称<sup>[12]</sup>。本文以准葛尔盆地南缘的阜康绿洲荒漠为例 ,以灰漠土上开垦的绿洲农田与原始盐生荒漠未扰动灰漠土为研究对象 ,于 2005 年 4 ~ 10 月通过野外土壤呼吸观测与实验室土壤基础呼吸及基质诱导呼吸 (SIR )对 CO<sub>2</sub>释放速率的测定 ,分析了荒漠-绿洲土壤异养微生物活性 ,并对荒漠-绿洲土壤微生物三大类群的数量垂直分布、微生物活性 (包括真菌与细菌活性 )变化特征及其影响因子进行了对比研究。本文旨在了解该区季节性土壤干-湿条件下微生物群落结构与活性的变化 ,以认识荒漠-绿洲土壤微生物在生态系统物质循环和能量流动中的作用 ,为荒漠土壤的演变机制和科学管理提供理论依据 ,并可为不同生态系统和地区间的碳释放比较提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

实验在中科院新疆所所属阜康生态站 (42°24'N ,128°6'E )进行。该站位于新疆维吾尔自治区的准噶尔盆地南缘 ,站北直线距离 8 km 即达中国第二大沙漠-古尔班通古特沙漠。平原区 (即准噶尔盆地 )为典型的干旱荒漠气候 (年降水量 < 200 mm ,而蒸发量高达 2000 mm ) ,地表植被分异主要由当地水文条件决定。地表水影响所及或人工灌溉的地区 ,形成绿洲 ,地表水影响不及或无灌溉地区即为荒漠。研究区潜水位较高 ,并可直达地表而蒸发 ,因此地表积盐严重 ,属多汁盐柴类荒漠 ,地上植被为典型荒漠耐盐植被 ,主要有长穗怪柳 (*Tamarix elongata* )、多枝怪柳 (*Tamarix ramosissima* )、猪毛菜 (*Salsola collina* )、盐穗木 (*Halostachys caspica* )、盐爪爪 (*Kalidium foliatum* )等植物。群落区系组成贫乏、稀疏、结构简单且生物量低 ,土壤为盐化碱化灰漠土 (干旱土纲碱化粘化干旱土 ) ,有机质缺乏、板结、有效肥力低 ,质地为粉砂壤土。近几十年开荒而形成的新绿洲 ,也分布于这一地带。因受水资源等的限制 ,开荒只在部分地区分片进行 ,形成的新绿洲与原始的盐生荒漠交叉并存。

1.2 土壤样品采集

2005 年 4 ~ 9 月每月中旬分别对研究区绿洲农田 O<sub>0</sub> 与其毗邻的盐生荒漠 D<sub>0</sub> 采集 (0 ~ 5 cm )、(5 ~ 20 cm ) 及 (0 ~ 20 cm ) 深度的土样 ,并于 10 月下旬分别对附近相似条件下的绿洲农田 (O<sub>1</sub>、O<sub>2</sub> 及 O<sub>3</sub> )及分别距 O<sub>1</sub>、O<sub>2</sub> 及 O<sub>3</sub> 3 km 左右的盐生荒漠区 (D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 及 D<sub>3</sub> )采集 (0 ~ 20 cm )深度的土样 ,在 O<sub>0</sub> 及 D<sub>0</sub> 再次采集土样。土壤基本性质见表 1。

表1 绿洲农田 (O<sub>0</sub>、O<sub>1</sub>、O<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>)与盐生荒漠 (D<sub>0</sub>、D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>)耕层 (0~20cm)土壤性质分析 (2005-10)

Table 1 Soil properties in soil layer (0~20cm) from oasis (O <sub>0</sub> 、O <sub>1</sub> 、O <sub>2</sub> 、O <sub>3</sub> ) and desert (D <sub>0</sub> 、D <sub>1</sub> 、D <sub>2</sub> 、D <sub>3</sub> ) in October 2005								
项目 Item	O <sub>0</sub>	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
pH 值 pH value (1:5)	7.62	7.70	7.51	7.78	8.22	8.75	8.26	7.76
总盐 Total salt (g·kg <sup>-1</sup> )	7.38	1.60	4.85	4.43	49.13	89.98	43.65	71.23
有机质 Organic matter (g·kg <sup>-1</sup> )	7.91	8.39	9.63	10.03	11.92	10.35	16.06	10.62
全氮 Total N (g·kg <sup>-1</sup> )	0.526	0.506	1.013	0.409	0.272	0.634	0.598	0.479
全磷 Total P (g·kg <sup>-1</sup> )	1.18	0.87	1.34	1.03	1.15	0.89	0.92	0.81

表中数值为平均值 n=5 Values are average with the sample size n=5

采用多点混合法在每个绿洲农田区 (O<sub>0</sub>、O<sub>1</sub>、O<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>)依“之”形路线横过小区,在 75 m×75 m 样地上采集土样,每个深度取 30 个样品分别组成 5 个混合代表样。为避免不同开垦年份所带来的影响,本次实验所选绿洲农田均为开垦了 14~15 a 的常规管理棉田,同时在每个盐生荒漠区 (D<sub>0</sub>、D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>)、每个深度随机取 30 个样品分别组成 5 个混合代表样。将每区各混合土壤代表样品各取出部分土样,用于土壤理化性质的测定,其余放入无菌纸袋于 4℃冰箱保存待测。

1.3 土壤微生物数量

对每月采集的 O<sub>0</sub>与 D<sub>0</sub> (0~5 cm)、(5~20 cm)深度的土样快速进行微生物数量测定<sup>[13]</sup>:分别采用牛肉膏蛋白胨、高氏及马丁氏培养基于 28℃培养箱中培养细菌、放线菌与真菌,各 5 个重复。以菌落形成单位 (colony forming units, CFU) 对微生物菌落计数。

1.4 野外土壤呼吸

利用美国产 LI-8100 对 O<sub>0</sub>与 D<sub>0</sub>进行土壤呼吸速率测定,每月一次,观测时间为 10:00 到次日 10:00,通过土壤 CO<sub>2</sub>流量的日变化得到样地土壤呼吸速率 (μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)的平均值。

1.5 土壤基础呼吸 (包括细菌呼吸与真菌呼吸)

土壤基础呼吸反映了土壤生物活性与物质代谢的强度<sup>[14]</sup>,采用静态碱液吸收法<sup>[8]</sup>测定。土壤细菌与真菌呼吸利用选择性抑制剂测得,该法通过微生物体对抗生素的生理反应来区分原核和真核生物呼吸,常用于区分土壤中真菌与细菌的活性<sup>[15]</sup>。因放线菌属原核生物,以下细菌呼吸或活性应包括放线菌的作用。

将 O<sub>0</sub>及 D<sub>0</sub> (0~20 cm)新鲜土样碾碎打散,拣出肉眼可见的杂物和细根,过筛 (2 mm)、充分混匀后于 25℃条件下保湿预培养 6 h,然后参照文献<sup>[8]</sup>中的方法将土样分成 3 份:一份施加链霉素 (100 单位·g<sup>-1</sup>土),以抑制细菌代谢,其土壤呼吸即真菌呼吸;一份施加放线菌酮 (400 单位·g<sup>-1</sup>土),以抑制真菌代谢,其呼吸为细菌呼吸;一份土样无处理,其呼吸为土壤基础呼吸。

测定土壤 CO<sub>2</sub>释放速率 将上述处理与对照土样称取相当于 20 g 烘干土 (105℃烘箱 24 h)的土样,各 5 个重复,分别平铺于直径 90 mm 的平皿中,各自放入一只 1L 密封玻璃瓶中,并放入一只装有 10 ml 0.1 mol·L<sup>-1</sup>NaOH 的小烧杯,置于 28℃下培养 24 h。测定时加入过量 1.5 mol·L<sup>-1</sup> BaCl<sub>2</sub>溶液,用 0.1 mol·L<sup>-1</sup> HCl 溶液回滴。土壤 CO<sub>2</sub>释放速率 (μg·g<sup>-1</sup>干土 h<sup>-1</sup>)计算方法参照文献<sup>[8]</sup>。

1.6 土壤基质诱导呼吸 (SIR)

SIR 测定 (包括细菌呼吸与真菌呼吸)是向土壤中加入易分解的底物 (葡萄糖)以诱导出最大的呼吸速率,与葡萄糖利用型微生物的生物量密切相关,常作为土壤微生物活性的另一个指标<sup>[1,16]</sup>。参照文献<sup>[17]</sup>于 10 月将绿洲农田 (O<sub>0</sub>、O<sub>1</sub>、O<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>)与盐生荒漠 (D<sub>0</sub>、D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>及 D<sub>3</sub>)过筛、混匀的土样调至 40% 的田间持水量,放入 25℃温箱中预培养 4 d,同时放置两只分别盛有去离子水及 1 mol·L<sup>-1</sup> NaOH (250 ml)的烧杯,以保持箱内相对湿度并且吸收到土壤释放的 CO<sub>2</sub>。

将葡萄糖加到预培养好的土样中 (相当于每 1 g 烘干土样含有 3 mg 葡萄糖),部分土样施加选择性抑制剂以区分真菌与细菌呼吸 (方法同上),混匀后再次加水调至 40% 的田间持水量,置于 28℃下培养 24 h 测定土壤 CO<sub>2</sub>释放速率 (各处理土样用量与具体测定参照土壤基础呼吸测定方法)。

1.7 土壤温度和湿度梯度

田间土壤湿度与温度对微生物活性影响极易混淆<sup>[18,19]</sup>,故在田间地表温度及土壤湿度测定的同时,根据荒漠-绿洲土壤含水量季节变化的范围,将每月 O<sub>0</sub>与 D<sub>0</sub>土样含水量分别调节到 8%、12%、16%、22% 及 30% ,并以当月平均地表温度为室内培养温度,形成温度和湿度梯度,培养 24 h 后,测定土壤 CO<sub>2</sub>释放速率。

1.8 数据分析

利用 Spass 11.5 对数据进行统计分析,动态曲线采用 Microsoft Excel 97 绘制。

2 结果与分析

2.1 微生物数量与组成

如图 1 所示,绿洲农田与盐生荒漠土壤微生物主要类群细菌、放线菌和真菌数量具有明显的季节变化,上层(0~5 cm)土壤细菌数量分别于 7 月和 9 月份呈双峰曲线变化,其余指标在 7 月或 6 月份呈单峰曲线变化。绿洲农田土壤细菌与真菌数量最大值均出现于 7 月其上层土( $33.0 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{ml}^{-1}$ )与( $2.5 \times 10^2 \text{ cfu} \cdot \text{ml}^{-1}$ ),放线菌最大数量则出现在 6 月下层(5~20 cm)土( $1.6 \times 10^4 \text{ cfu} \cdot \text{ml}^{-1}$ ),盐生荒漠细菌数量最高峰出现在 7 月份下层土( $11.9 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{ml}^{-1}$ ),放线菌与真菌数量最高值均出现在 7 月份上层土(分别为  $4.2 \times 10^4 \text{ cfu} \cdot \text{ml}^{-1}$  与  $1.6 \times 10^2 \text{ cfu} \cdot \text{ml}^{-1}$ )。在生长期,总体看来,两者土壤细菌数量最多,放线菌居中,真菌最少。细菌数量季节变化比较剧烈,尤其是绿洲农田上层土,而真菌与放线菌数量波动范围较小。两者上下层土壤细菌数量无明显

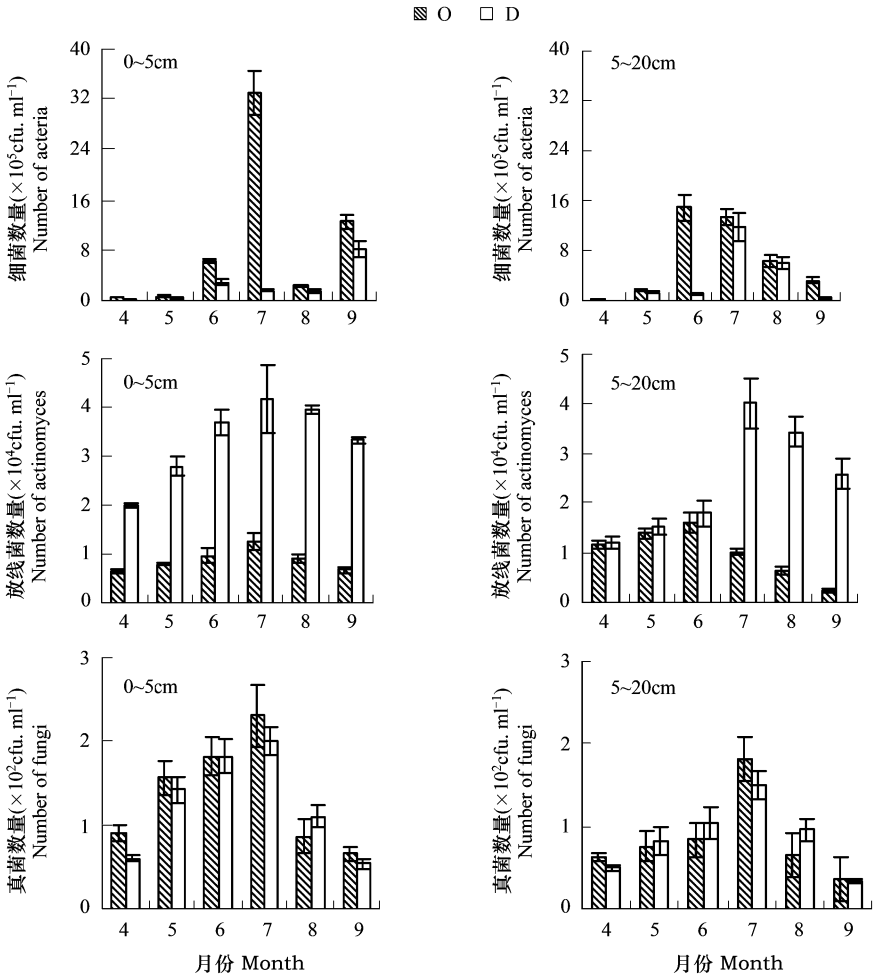


图 1 绿洲农田与盐生荒漠土壤上(0~5 cm)下(5~20 cm)土层微生物数量的季节变化

Fig. 1 Seasonal variations of number of microbes in soil layers (0~5 cm) and (5~20 cm) from oasis and desert

O 绿洲农田 Oasis ; D 盐生荒漠 Desert ; 竖条代表标准偏差 (n = 5) Bars indicate SD (n = 5) ; 下同 the same below

显差别 ( $P > 0.05$ ) ;绿洲农田土壤真菌与荒漠土壤真菌及放线菌主要以上层土居多 ( $P < 0.05$ ) 。

在整个生长季中 ,绿洲农田与盐生荒漠土壤真菌数量无明显差异 ( $P > 0.05$ ) ;细菌数量则前者明显高于后者 ( $P < 0.05$ ) ,而放线菌数量则前者显著低于后者 ( $P < 0.05$ ) 。

2.2 土壤呼吸、土壤基础呼吸与 SIR

土壤呼吸与土壤基础呼吸速率表现一致 (图 2 ) :绿洲农田 > 盐生荒漠 ( $P < 0.05$ ) 。在季节更替中 ,两者野外土壤呼吸速率最大值分别为  $(4.67 \pm 0.75) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  与  $(0.37 \pm 0.07) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  ,土壤基础呼吸速率最大值分别为  $(32.5 \pm 2.1) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  与  $(7.9 \pm 0.8) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  。SIR 测定结果 (表 2 )也表明 :绿洲农田 ( $O_0$ 、 $O_1$ 、 $O_2$  及  $O_3$  )土壤  $\text{CO}_2$  释放速率明显高于盐生荒漠 ( $D_0$ 、 $D_1$ 、 $D_2$  及  $D_3$  ) ( $P < 0.05$ ) 。说明绿洲农田土壤微生物活性显著高于盐生荒漠。

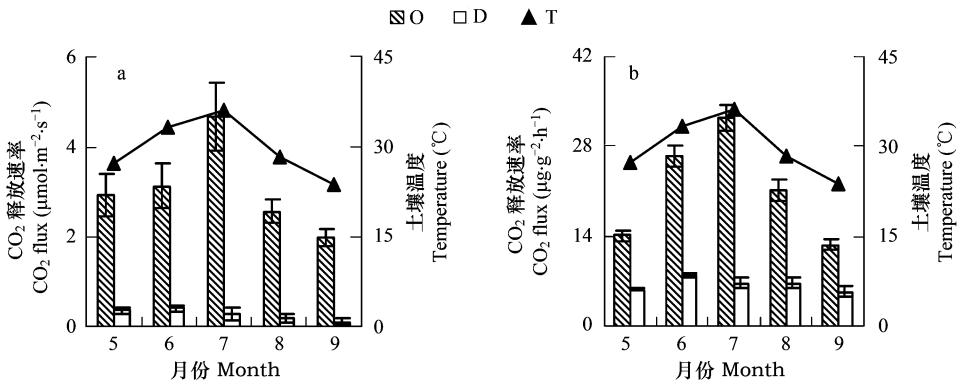


图2 绿洲农田与盐生荒漠土壤呼吸 (a )和土壤基础呼吸 (b )及土壤地表温度季节动态  
Fig. 2 Seasonal variations of soil respiration (a ) , basal respiration (b ) and soil temperature from oasis and desert (  $n = 5$  )  
 $T$  土壤温度 (  $n = 5$  )  $T$  Soil temperature

表 2 绿洲农田 ( $O_0$ 、 $O_1$ 、 $O_2$ 、 $O_3$  )与盐生荒漠 ( $D_0$ 、 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  )SIR 对比 (平均值  $\pm$  标准差  $n = 5$  )  
Table 2 Comparison of SIR in oasis ( $O_0$  ,  $O_1$  ,  $O_2$  ,  $O_3$  ) and desert ( $D_0$  ,  $D_1$  ,  $D_2$  ,  $D_3$  ) (mean  $\pm$  S. E ,  $n = 5$  )

	总呼吸 Total CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	真菌呼吸 Fungal CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	细菌呼吸 Bacterial CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	真菌呼吸/细菌呼吸 Funga to bacterial ratio
O <sub>0</sub>	36.5 $\pm$ 3.0	15.7 $\pm$ 1.3	24.6 $\pm$ 2.0	0.64
O <sub>1</sub>	49.8 $\pm$ 3.5	19.2 $\pm$ 2.3	35.6 $\pm$ 3.1	0.54
O <sub>2</sub>	21.5 $\pm$ 2.3	11.0 $\pm$ 1.1	14.1 $\pm$ 1.5	0.78
O <sub>3</sub>	20.0 $\pm$ 2.0	8.6 $\pm$ 0.6	13.2 $\pm$ 1.0	0.72
D <sub>0</sub>	13.0 $\pm$ 1.1	7.8 $\pm$ 0.8	8.5 $\pm$ 0.9	0.92
D <sub>1</sub>	9.6 $\pm$ 1.0	7.0 $\pm$ 0.6	6.3 $\pm$ 0.6	1.11
D <sub>2</sub>	11.9 $\pm$ 0.9	7.6 $\pm$ 0.5	8.4 $\pm$ 0.7	0.90
D <sub>3</sub>	16.1 $\pm$ 1.1	11.1 $\pm$ 0.8	9.3 $\pm$ 0.9	1.19

2.3 真菌呼吸与细菌呼吸

从图 3 看到 ,土壤真菌与细菌呼吸速率也表现为 绿洲农田 > 盐生荒漠 ( $P < 0.05$ ) 。在 4 月到 7 月 ,绿洲农田土壤中细菌呼吸明显占主导作用 ,与真菌呼吸差异显著 ( $P < 0.05$ ) ,真菌与细菌呼吸间比值趋近于 0.5 ,之后细菌活性迅速下降 ,该比值上升开始接近于 1 ,但仍以细菌占优势 ,两者在盐生荒漠中则无明显差异 ( $P > 0.05$ ) ,其比值稳定并趋近于 1 ,明显高于绿洲农田 ( $P < 0.05$ ) 。SIR 有相似的结果 (表 2 ) :盐生荒漠该比值趋近于 1 ,而绿洲农田则明显小于 1 ( $P < 0.05$ ) 。

2.4 土壤温度与微生物活性

土壤呼吸与土壤基础呼吸有着相似的季节变化规律 5 ~7 月份温度逐渐升高 ,绿洲农田土壤  $\text{CO}_2$  释放速

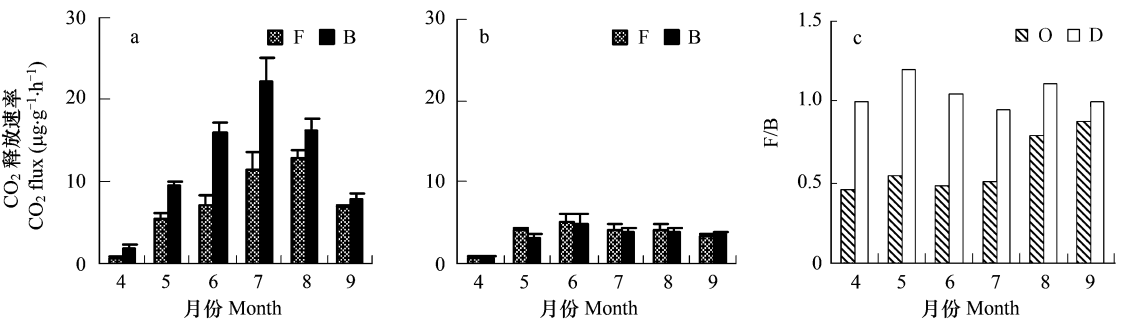


图3 绿洲农田 (a)与盐生荒漠 (b)土壤真菌呼吸、细菌呼吸速率及两者间比值 (c)的季节变化 (n = 5)

Fig. 3 Seasonal variations of fungal respiration , bacterial respiration and fungal to bacterial ratio (c) in oasis (a) and desert (b) (n = 5)

F 真菌呼吸 Fungal respiration ; B 细菌呼吸 Bacterial respiration

率也随之加大 ,温度在 7 月份全年最高时其土壤 CO<sub>2</sub>释放速率也达到最大 (图 2 ) ,之后温度降低 ,呼吸作用随之减弱 ,而盐生荒漠在季节更替中其呼吸作用较弱 ,6 月份达到最大 ,7 月份呼吸速率下降。绿洲农田与荒漠两者土壤微生物活性与土壤温度均有显著的指数相关性 (R<sup>2</sup>) ,而温度对前者影响更为显著 (图 4 )。

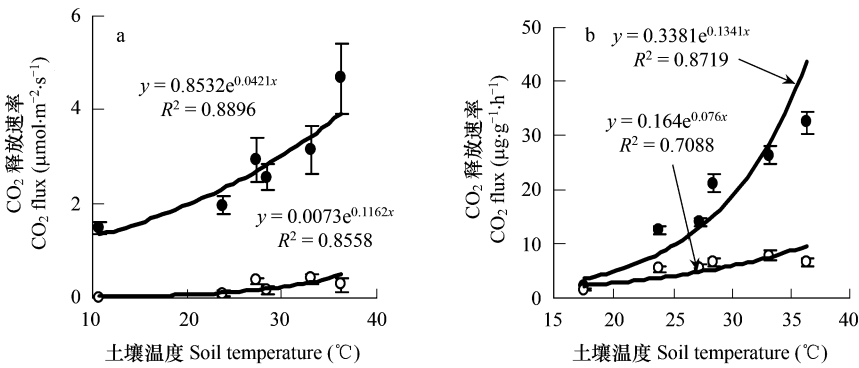


图4 绿洲农田 (●)与盐生荒漠 (○)土壤 CO<sub>2</sub>释放速率和土壤温度的关系 (n = 5)

Fig. 4 The correlations between soil CO<sub>2</sub> effluxes and temperature from oasis (●) and desert (○) (n = 5)

(a) 土壤呼吸 Soil respiration (b) 土壤基础呼吸 Soil basal respiration

2.5 土壤湿度与微生物活性

绿洲农田由于经常灌溉 ,土壤在生长期明显较盐生荒漠湿润 ,而土壤 CO<sub>2</sub>释放速率也高于后者 (表 3 )。季节更替中 ,绿洲农田与盐生荒漠均表现为 :含水量为 16% 时的土壤 CO<sub>2</sub>释放速率最高 ,8% 时最低 ,30% 时较低 ,12% 与 22% 时差异不大。湿度低于 16% 时 ,土壤 CO<sub>2</sub>释放速率随土壤含水量的增加而迅速增加 ,而高于该值时则随土壤含水量的增加而缓慢降低 (图 5 )。

表 3 绿洲农田与盐生荒漠土壤 CO<sub>2</sub>释放速率与部分相关因子生长期平均值 (n = 5)

Table 3 Average values of CO <sub>2</sub> efflux and factors affecting in growth period from oasis and desert				
	含水量 Water content (%)	总盐 Total salt (g·kg <sup>-1</sup> )	pH (1:5)	有机碳 Organic carbon (g·kg <sup>-1</sup> )
O	12.42 ± 1.96 a	6.29 ± 0.93 b	7.9 ± 0.19 b	4.86 ± 0.18 b
D	6.62 ± 1.04 b	37.93 ± 3.13 a	8.6 ± 0.26 a	7.07 ± 0.21 a
	土壤呼吸 Soil respiration (μmol CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	基础呼吸 Basal respiration (μg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	SIR (μg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	
O	3.06 ± 0.16 a	21.4 ± 2.38 a	32.0 ± 2.92 a	
D	0.27 ± 0.11 b	6.1 ± 0.56 b	12.7 ± 1.17 b	

不同字母代表不同土地利用方式间的差异显著 Different letters within a column indicate the significant differences among land-uses (P < 0.05 , n = 5)

2.6 温度和湿度的交互作用

温度与土壤湿度对荒漠-绿洲土壤微生物活性具有极显著的交互作用 (表 4)。当绿洲农田与盐生荒漠土壤含水量均为 8% 时,随着温度的升高,土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率增长缓慢,而当土壤含水量上升为 12%、16%、22% 及 30% 时,温度的影响则明显加大 (图 5),可见温度对荒漠-绿洲土壤微生物活性的影响只在一定土壤湿度范围内作用显著。

表 4 土地利用方式、土壤温度与湿度间的交互作用

交互作用 Interaction	平方和 Sum of squares	自由度 d/f	均方 Mean Square	F 值 F value	Sig
VAR1 × VAR2 <sup>1)</sup>	147.809	5	29.562	9.001	0.000 **
VAR1 × VAR3	42.920	4	10.730	3.267	0.032 *
VAR2 × VAR3	280.521	20	14.026	4.271	0.001 **

VAR1 土地利用类型 Land-use ; VAR2 土壤温度 Temperature ; VAR3 土壤湿度 Soil moisture , \* \*  $P < 0.01$  , \*  $P < 0.05$  ,  $n = 5$

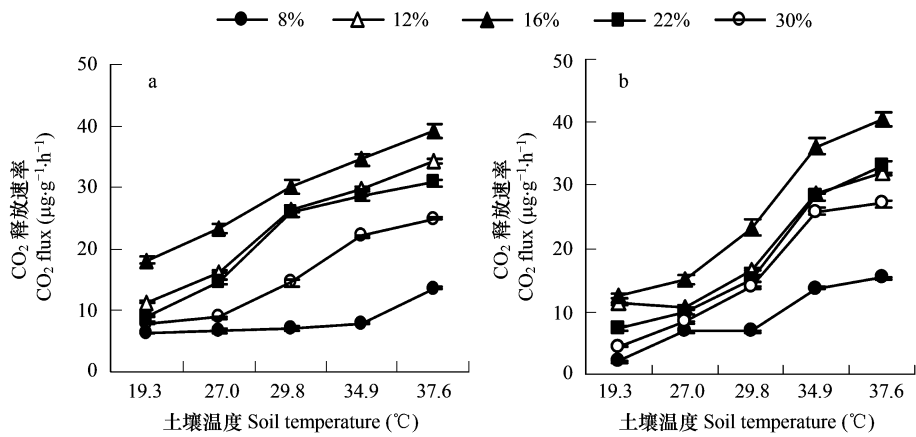


图 5 绿洲农田 (a) 与盐生荒漠 (b) 土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率在不同温度与湿度 (8% ~ 30%) 条件下的变化 ( $n = 5$ )

Fig. 5 The variations of soil CO<sub>2</sub> effluxes with temperature and moisture (8%—30%) from oasis (a) and desert (b) ( $n = 5$ )

3 讨论

土壤中细菌、放线菌与真菌有不同的生长模式。细菌属单细胞微生物,它们不连续分布、丛生而居,并且只能被动地扩散或移动,往往依赖于很多突发事件如降雨、根生长等<sup>[20]</sup>,对环境的变化更为敏感,而严重干旱对细菌则可能是致命的<sup>[21]</sup>。绿洲农田地下根系密集,加之湿润及其 pH 值近于中性 (见表 1 与表 3) 的土壤环境,给细菌的生长与繁殖创造了良好的条件,因而细菌数量增长迅速并明显高于荒漠。放线菌适宜在干燥且呈偏碱性的土壤内生长,其菌丝体比细菌营养体抗干燥能力强<sup>[20]</sup>,盐生荒漠地表植被稀少、根密度低且土壤干旱偏碱性,因此其土壤放线菌数量显著多于绿洲农田。土壤真菌比细菌或土壤小型动物能更好地适应水分带来的胁迫,同时它们发达的菌丝体更有利于从土壤到表层有机残体间进行土壤养分的迁移以满足菌体的生长<sup>[20-22]</sup>,其适应与耐久能力均比细菌强,因此真菌在荒漠土壤养分循环作用中可能更为关键。同时,由于土壤中丝状微生物具有较强的抗干燥能力,研究区土壤其放线菌与真菌以表层土 (0 ~ 5 cm) 居多。从土壤有机碳矿化作用中可看到微生物群落组成的总体变化:绿洲农田土壤微生物总体活性 (包括真菌及细菌活性) 均高于盐生荒漠。细菌在绿洲农田土壤微生物呼吸中占主导;而真菌在荒漠土壤矿化作用中更具优势,其真菌与细菌活性间比值明显高于绿洲农田。研究表明<sup>[23]</sup>土壤真菌与细菌间比值的提高将有利于提高微生物对土壤有机碳的利用效率。从这方面来说,本实验结果则表明荒漠土壤可能更利于对有机碳的保护。绿洲农田真菌与细菌活性间比值为 0.44 ~ 0.90,荒漠为 0.90 ~ 1.20,远低于 Johnson<sup>[23]</sup>等对干土研究得到的比值

(15 ~ 29 ) 相 近 于 Imberger 和 Chiu<sup>[24]</sup> (1.05 ~ 1.62 )、Scheu 和 Parkinson<sup>[25]</sup> (1.0 ~ 6.0 )与 Song Qiu 等 (0.7 ~ 1.0 )<sup>[16]</sup>报道的研究结果。

温度对土壤微生物呼吸的影响会随着土壤及环境条件的差异而有所不同<sup>[26]</sup>。原始灰漠土在开垦后土壤环境发生了很大变化,灌溉使得绿洲农田明显比荒漠土壤湿润。荒漠土壤湿度在作物生长期均在 8% 以下(表 3),土壤微生物活性明显弱于绿洲农田,在 7 月全年温度最高、绿洲农田土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率达到最大时,盐生荒漠则因温度作用其耕层土壤湿度达全年最低 (4.8%) ,呼吸速率也随之下降(图 2)。而当土壤湿度保持一致时,两者 CO<sub>2</sub> 释放速率均在 7 月份 (37.6 °C) 达到最大(图 5)。喜湿润条件的细菌数量在 7 月份也有此特征,表层土在 7 月份其含水量降至全年最低 (1.81%) 时,其细菌数量也急速下降(在 6 ~ 9 月 4 个月份里数量最低),这说明湿度在起控制作用,而下层土其含水量显著高于上层土 (5.72%) ,因此在温度的影响下,在整个生长期其细菌数量达到最大,绿洲因其土壤较为湿润且上下层含水量差异并不十分显著,上、下层土壤细菌数量均在 7 月份达到最大(图 1),故温度极可能起控制作用。综上所述土壤含水量很低时即使地表温度适宜其土壤呼吸作用也会受到抑制,这与王庚辰等<sup>[27]</sup>对半干旱温带草地的研究报导相近。实验室研究表明<sup>[28-29]</sup>当土壤干到超出一定限度将抑制异养微生物呼吸,同时研究发现<sup>[30]</sup>在干旱或半干旱地区当土壤水分成为胁迫因子时可能取代温度而成为土壤呼吸的主要控制因子。本研究则表明温度是通过与土壤湿度间极为显著的交互作用来对荒漠-绿洲土壤微生物活性进行影响的。

此外,荒漠土壤微生物活性显著低于绿洲农田,而土壤有机质与有机碳含量在生长季中却明显高于后者 ( $P < 0.05$ ),有机质对荒漠土壤微生物活性并没起到正向促进作用。Werner 等<sup>[30]</sup>认为这主要归结为土壤水分的胁迫,胁迫限制了土壤有机质的分解,从而减弱了土壤呼吸作用,相应也就加强了土壤有机质的贮备。而 SIR 的测定结果依然表明盐生荒漠的土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率最低(此结果是在相同并适宜的温度和土壤湿度下测定的),据此推测高盐胁迫极可能是抑制盐生荒漠微生物活性的另一个原因(绿洲农田轻度盐化,而荒漠土壤属于盐渍化最高级的盐土,见表 1 与表 3)。同时,绿洲农田虽然因其土壤条件更有利于微生物的生长与繁殖,使得微生物总体活性较高,但土壤有机质含量则随之减少,这进一步说明灰漠土在开垦后其土壤有机碳的易得性增强,利用效率降低。

在生长期荒漠由于干旱少雨,同时受到高盐胁迫其土壤有机质分解速度缓慢,微生物活性受到抑制,而绿洲农田由于施肥、灌溉、种植作物等管理方式使得土壤盐分降低,水分条件适宜,并提供了更多的有机底物,细菌大量繁殖,但与荒漠相比,其抗逆性较强的丝状微生物数量则显著减少,真菌与细菌活性间比值明显下降,灰漠土在开垦前后的土壤微生物群落组成已显著不同。大部分土壤微生物群落受有机物可利用量所控制<sup>[31]</sup>,因此土壤有机碳的性质往往形成一定的微生物群落组成。土地利用方式不同导致了荒漠绿洲间土壤湿度与盐分的较大差异,加之与土壤温度极为显著的交互作用,使得开垦后的灰漠土土壤有机碳易得性增强,因此其微生物群落组成也随之发生明显变化,从而影响到土壤有机碳的矿化速度,微生物整体活性得以增强,但土壤有机质分解速度加快,有机碳损耗较大,其含量明显降低。

References :

[1] Edzo V, Anja B, Luitgard S, *et al.* Substantial labile carbon stocks and microbial activity in deeply weathered soils below a tropical wet forest. *Global Change Biology*, 2003, 9: 1171 – 1184.

[2] Matthias C R, Daniel L M. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, 2006, 171: 41 – 53.

[3] Billings S A, Ziegler S E. Linking microbial activity and soil organic matter transformations in forest soils under elevated CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology*, 2005, 11: 203 – 212.

[4] Wardle D A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *BiolRev*, 1992, 67: 321 – 358.

[5] Blume H P, Beyer L, Friedrich F. Correlations between the microbial activity, and water, air, temperature and nutrient status of different soils under different land use. In: Esser G, Overdieck D ed. *Modern ecology, basic and applied aspects*. Elsevier, Amsterdam, 1991. 321 – 346.

[6] Van C K, Oechel W C, Hom J L. Response of black spruce ecosystems to soil temperature modification in interior Alaska (USA). *Can J For Res*, 1990, 20: 1530 – 1535.



[7] Berg B ,Mcclaugherty C ,Virzo D S ,*et al.* Decomposition of litter and soil organic matter — can we distinguish a mechanism for soil organic matter buildup ?*Scand J For Res* ,1995 ,10 :108 — 119.

[8] Lu R K. *Soil Agricultural Chemistry Analyse.* Beijing :China Agricultural Science Press ,2000. 239 — 246.

[9] Harris J A. Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. *Journal of Soil Science* ,2003 ,54 :801 — 808.

[10] Craine J M ,Wedin D A. Determinants of growing season soil CO<sub>2</sub> flux in a Minnesota grassland. *Biogeochemistry* ,2002 ,59 :303 — 313.

[11] Stanley D S ,Travis E H ,Stephen F Z ,*et al.* Elevated CO<sub>2</sub> increases productivity and invasive species success in an arid ecosystem. *Nature* ,2000 ,408 :681 — 692.

[12] Liu S H ,Fang J Y. Effect factors of soil respiration and the temperature 's effects on soil respiration in the global scale. *Chinese Journal of Ecological Science* ,1997 ,17 ( 5 ) :469 — 476.

[13] Yan X S. Study method of soil fertility. Beijing :Agricultural Press ,1998. 212 — 233.

[14] Cui X Y ,Chen Z Z ,Chen S Q. Progress in research on soil respiration of grasslands. *Chinese Journal of Ecological Science* ,2001 21 ( 2 ) 315 — 322.

[15] Lin Q ,Brooks P C. Comparison of substrate-induced respiration , selective inhibition and biovolume measurement of microbial biomass and its community structure in unamended , ryegrass-amended , fumigated and pesticide-treated soils. *Soil Biology and Biochemistry* ,1999 ,31 :1999 — 2014.

[16] Song Q ,Arthur J. M ,Richard W ,*et al.* Response of soil microbial activity to temperature , moisture , and litter leaching on a wetland transect during seasonal refilling. *Wetlands Ecology and Management* ,2005 ,13 :43 — 54.

[17] Wu J ,Brookes P C. The proportional mineralisation of microbial and organic matter caused by air-drying and rewetting of a grassland soil. *Soil Biology & Biochemistry* ,2005 ,37 :507 — 515.

[18] Davidson E A ,Belk E ,Boone R D. Soil water content and temperature as independent or confound factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology* ,1998 ,4 :217 — 227.

[19] Xu M ,Qi Y. Soil-surface CO<sub>2</sub> efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. *Global Change Biology* ,2001 7 :667 — 677.

[20] David C ,Coleman D A ,Crossley. *Fundamentals of Soil Ecology.* USA :Academic Press ,1996. 35 — 36.

[21] Turner B L ,Haygarth P M. Phosphorus solubilization in rewetted soils. *Nature* ,2001 ,411 :258 — 263.

[22] Zhang W J ,Xu Q ,Wang X K ,*et al.* Impacts of experimental atmospheric warming on soil microbial community structure in a tallgrass prairie. *Acta Ecologica Sinica* ,2004 24 ( 8 ) :1746 — 1751.

[23] Johnson C K ,Vigil M F ,Doxtader K G ,*et al.* Measuring bacterial and fungal substrate — induced respiration in dry soils. *Soil Biology and Biochemistry* ,1996 ,28 :427 — 432.

[24] Imberger K T ,Chiu C Y. Spatial changes of soil fungal and bacterial biomass from a subalpine coniferous forest to grass land in a humid , sub-tropical region. *Biology and Fertility of Soils* ,2001 33 :105 — 110.

[25] Scheu S ,Parkinson D. Changes in bacterial and fungal biomass C ,bacterial and fungal biovolume and ergosterol content after drying ,remoistening and incubation of different layers of cool temperature forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* ,1994 ,26 :1515 — 1525.

[26] Xu M ,Qi Y. Spatial and seasonal variations of Q<sub>10</sub> determined by soil respiration measurements at a Sierra Nevada forest. *Global Biogeochemical Cycles* ,2001 ,15 :687 — 696.

[27] Wang G C ,Du R ,Kong Q X ,*et al.* The characters of soil respiration in Chinese typical temperate grassland. *Chinese Science Bulletin* ,2004 ,49 ( 7 ) :692 — 696.

[28] Skopp J ,Jawson M D ,Doran J W. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. *Soil Science Society of America Journal* ,1990 ,54 :1619 — 1625.

[29] Howard D M ,Howard P J. Relationship between CO<sub>2</sub> evolution , moisture content and temperature for a range of soil types. *Soil Biology and Biochemistry* ,1993 ,25 :1537 — 1546.

[30] Werner B ,Kathleen S ,Eric A D ,*et al.* Effects of experimental drought on soil respiration and radiocarbon efflux from a temperate forest soil. *Global Change Biology* ,2005 ,11 :1 — 17.

[31] Zhou G S ,Wang Y H. *Global ecology.* Beijing :China Meteorological Press ,2003. 221 — 226.

参考文献：

[8] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京 :中国农业科技出版社 ,2000. 239 ~ 246.

[12] 刘绍辉 ,方精云. 土壤呼吸的影响因素及全球尺度下温度的影响. *生态学报* ,1997 ,17 ( 5 ) :469 ~ 476.

[13] 严旭升主编. 土壤肥力研究方法. 北京 :农业出版社 ,1998. 212 ~ 233.

[14] 崔晓勇 ,陈佐忠 ,陈四清. 草地土壤呼吸研究进展. *生态学报* ,2001 ,21 ( 2 ) :315 ~ 322.

[22] 张卫建 ,许泉 ,王绪奎 等. 气温上升对草地土壤微生物群落结构的影响. *生态学报* 2004 24 ( 8 ) :1746 ~ 1751.

[27] 王庚辰 ,杜睿 ,孔琴心 等. 中国温带典型草原土壤呼吸特征的实验研究. *科学通报* ,2004 ,49 ( 7 ) :692 ~ 696.

[31] 周广胜 ,王玉辉. 全球生态学. 北京 :气象出版社 ,2003. 221 ~ 226.