

互花米草入侵对盐沼土壤微生物生物量和功能群的影响^{*}

周 军^{1,2}, 肖 炜¹, 钦 佩^{1**}

(1. 南京大学盐生植物实验室, 南京, 210093; 2. 江苏省淡水水产研究所, 南京, 210017)

摘 要: 研究了外来种互花米草的生长对潮间带土壤微生物功能群的影响, 结果显示: 与原有光滩相比, 互花米草的生长使当地潮间带的土壤微生物量增加, 并随着植被的生长状况发生变化, 微生物功能群中占优势的组分发生了变化. 在互花米草盐沼中, 与碳循环相关的微生物功能群较光滩中数量多, 利用氮源的微生物功能群在 2 月份数量均少与光滩, 其他月份均显著高于光滩. 总体上外来种互花米草在滨海潮间带的大面积生长, 改善了土壤理化性质, 为该处土壤微生物提供了不同的碳源, 增强了土壤微生物的活动, 改变了土壤微生物功能群.

关键词: 微生物功能群, 土壤微生物量, 外来种, 互花米草, 滨海盐沼

中图分类号: Q 938.1

Effect of an Alien Species (*Spartina alterniflora*) on Soil Microbial Biomass and Functional Groups in Salt Marshes

Zhou Jun^{1,2}, Xiao Wei¹, Qin Pei¹

(1. Halophyte Research Laboratory of Nanjing University, Nanjing, 210093, China;

2. Freshwater Fisheries Research Institute of Jiangsu Province, Nanjing, 210017, China)

Abstract: *Spartina alterniflora*, an introduced species from the eastern coast of the United States, has become invasive in the coastal zone of China. We researched the impact of the invaded *S. alterniflora* on inter tidal soil microbial functional groups in Jiangsu coastland. The results show that *S. alterniflora*'s mass propagation and distribution contributed greatly to the increase of microbial biomass in the inter tidal soils. Furthermore, our statistics show that the microbial biomass, especially the prevailing functional groups change accordingly with the different status of the growing vegetation all year around. The carbon cycling microbes have much more complex functional groups in *Spartina* salt marsh zones compared with the barren tidal flats. It is also true for nitrogen-cycling microbes all year round except in February. In general, the mass propagation and distribution of the *S. alterniflora* on the inter tidal zones ameliorated the physical and chemical characters of the local soils. *S. alterniflora* brought rich carbon resources, enhanced the microbe's activities and therefore gradually changed the microbial functional groups in the soils.

Key words: microbial functional group, soil microbial biomass, alien species, *Spartina alterniflora*, salt marsh

* 基金项目: 国家 908 计划(JS-908-02-07)

收稿日期: 2007-04-11

** 通讯联系人, E-mail: xinqpei@nju.edu.cn

微生物是生态系统的重要组成部分,在有机物质分解转化过程中起主导作用,具有巨大的生物化学活力,从而能动地影响生态系统中的能量流动和物质转化过程^[1].它在土壤肥力评价和生物净化等方面有着重要作用^[2].土壤微生物的区系组成、数量和生物量以及土壤酶活性都不同程度地与上述过程有关,其中不同类群的土壤微生物生物量可以更好地反映它们各自的贡献.

土壤微生物功能群能敏感地反映生态环境的功能演变以及环境胁迫等影响,可揭示土壤中微生物类群和功能的差异^[3,4].土壤生态环境中微生物功能群和活性受许多环境因子的影响(如土壤类型、碳源状况、pH 值、水分以及植物种类等方面),其中植物所分泌的多种有机化合物已经成为影响不同植物根际环境微生物功能群的一个关键性因素^[5,6].

目前我国对互花米草的研究集中于促淤保堤和生态开发利用^[7~11],以及扩展与分布特征^[3]等方面,对互花米草入侵后对土壤微生物多样性的影响已有报道^[12],但是对具体土壤微生物功能群的影响未有报道.本文通过对互花米草侵入的潮间带土壤微生物量以及土壤微生物具体功能群的研究,探讨互花米草对潮间带生态系统的影响,为滨海湿地退化生态系统的恢复和重建提供土壤微生物方面的依据.

1 材料与方法

1.1 样地概况 本研究样地位于盐城国家自然保护区内(33°36'E, 120°36'N)(Fig. 1).属于亚洲季风气候,在亚热带和暖温带季风气候之间^[13],每天被两次海潮淹没.年平均气温 18.7℃,最高平均温度为 26.2~26.6℃,出现在 7 月和 8 月份,一月份最低为 0.5℃.年降雨量为 1 000~1 080 mm,50%~60% 出现在夏天.

沿海梯度,从靠海的光滩到接近海堤的芦苇群落(图 1),植物成带状分布,为单一性的植物群落.从海堤向外,分别为芦苇群落,白茅群落,獐毛群落,碱蓬群落以及互花米草群落.

1.2 土壤样品采集 试验土壤样品沿海堤向海方向,互花米草群落和光滩中取样.每个群落设置 1 m×1 m 小样方各 15 个,采用折线采样法,小样方间距 500 m.分别于 2005 年 2 月、5 月、8 月和 10 月进行样地调查及取样,在每个小样方内分别取 2~20 cm 深的土壤样品 100 g,装入无菌封口袋中,带回实验室 4℃ 保存,作为微生物分析的样品.另外在个小样方内取 2~20 cm 深的土壤样品,带回室内风干处理,作为土壤理化性质分析用样品.

1.3 测定方法

1.3.1 土壤理化性质分析 土壤有机质的测定采用重铬酸钾氧化-外加热法(GB 7857-87);土壤全氮采用半微量开氏法的测定方法(GB 7813-87);土壤全磷的测定采用钼锑抗比色法(GB 7852-87);土壤含水量测定采用烘干法(GB 7833-87);土壤有效磷测定采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提法(GB 7853-87);速效钾采用森林土壤速效钾的测定方法(GB 7856-87);土壤 pH 值测定采用酸度计法(1:5 土水比)(GB 7859-87);土壤含盐量测定采用电导法(1:5 土水比)(GB 7871-87)^[14].

1.3.2 土壤微生物量 参考 Brookes 等^[15]和 Vance 等^[16]的氯仿熏蒸-0.5 mol/L 硫酸钾提取法进行测定,称取 25 g 鲜土,放入装有无醇氯仿的真空干燥器中,抽真空使氯仿沸腾 5 min,关闭活塞,避光黑暗处 25℃ 熏蒸 24 h 后取出装有氯仿的小烧杯,反复抽真空 2~3 次(每次 5 min)以排尽氯仿;另称取一批相同重量的土壤放入干燥器中,不用氯仿熏蒸处理,同样避光于黑暗处 25℃ 培养 24 h,作为对照.每份土样用 100 mL 0.5 mol/L 硫酸钾溶液浸提,振荡 30 min,过滤,滤液待测.微生物量 C 用重铬酸钾氧化、硫酸亚铁滴定法;微生物量 N 以吸取 50 mL 提取液,加入 5 mL 浓硫酸浓缩消煮,开氏定氮法定氮.

1.3.3 土壤微生物功能群 取 10 g 新鲜土样,加入 90 mL 2% 的盐水,加入玻璃珠在摇床 200 r/min 振荡 10 min,然后分别接种到氨化菌培养基、硝化菌培养基、固氮菌培养基、分解纤维

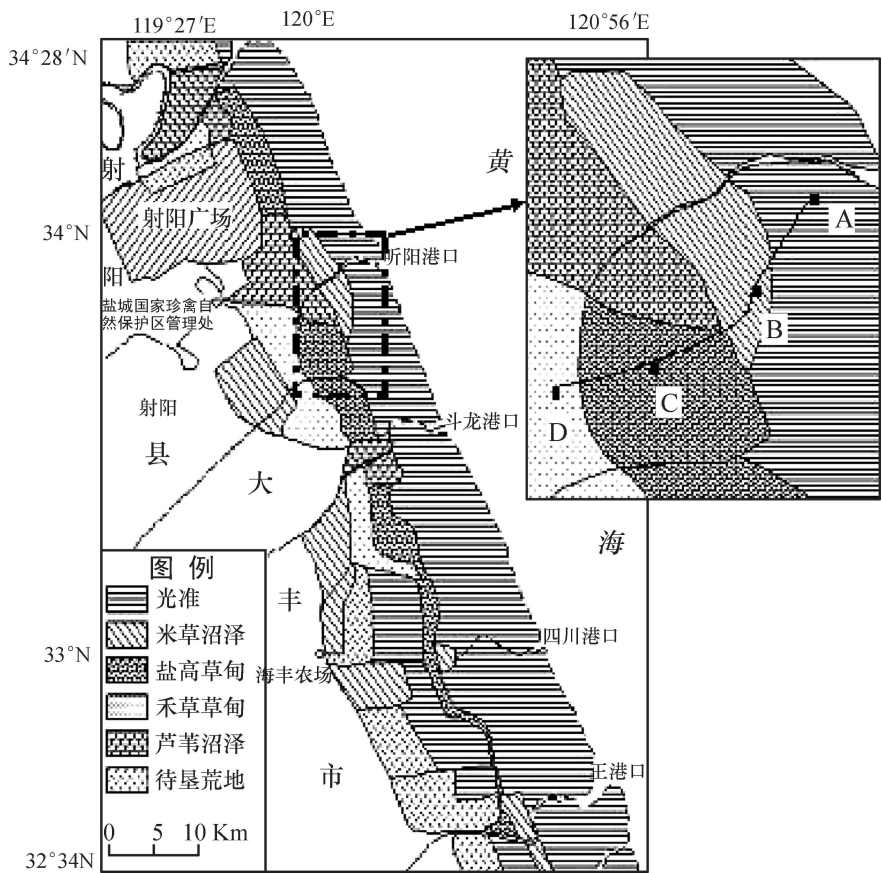


图 1 江苏海滨盐沼湿地植物样带分布:(A)光滩,(B)互花米草群落,(C)碱蓬群落,(D)獐毛群落
Fig. 1 The distribution of vegetation type in a coastal salt marsh of Jiangsu Province coast. The sample stands are marked as the letters : (A) mudflat , (B) *Spartina alterniflora* community , (C) *Suaeda salsa* community , (D) *Aeluropus littoralis* stand

素培养基和糖酵解菌培养基上进行培养^[17].pH 值 7 时培养细菌,pH 值为 5.5 时培养真菌.用划线分离法分离纯化各种细菌和真菌,用 MPN 法计算微生物功能群内种群的数量.

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质 土壤理化性质见表 1.与光滩相比,互花米草盐沼土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾和含盐量均较高,而 pH 值相对较低,全磷则没有显著性差异.从季节变化来看互花米草盐沼中,有机质在 8 月和 10 月份较高;有效磷和速效钾在 5 月和 8 月份最高;土壤全氮、含盐量和 pH 值则在 2 月份和 10 月份较高;全氮和含盐量在 8 月份与 2 月份有显著差

异.而在光滩中,土壤全氮、含盐量、pH 值、有机质和有效磷季节变化与互花米草盐沼相似,但速效钾则在 8 月份和 10 月份最高;全磷没有显著性变化.8 月份 pH 值在互花米草盐沼和光滩中与其它月份都有显著性差异.

2.2 土壤微生物量 C、N 季节变化 土壤微生物 C、N 变化见表 2.与光滩相比,互花米草盐沼中微生物量 C 含量较高.在互花米草盐沼中,微生物量 C 在 10 月份最低,微生物量 C 在 8 月与 2 月和 10 月份有显著差异;微生物量 N 在 2 月份最高,且与其他月份有显著差异.在光滩中,微生物量 C 在 5 月份最高,但季节变化中没有显著差异;微生物量 N 在 2 月份最低,且与 5 月和 8 月差异显著.

表 1 互花米草盐沼和光滩土壤理化性质

参数	互花米草(<i>Spartina alterniflora</i>)				光滩(mudflat)			
	2 月	5 月	8 月	10 月	2 月	5 月	8 月	10 月
有机质(mg /g)	11.6±0.21 ^a	11.9±0.23 ^a	12.7±0.18 ^a	12.5±0.16 ^a	1.5±0.01 ^b	1.9±0.02 ^b	3.5±0.02 ^b	2.2±0.11 ^b
全氮(mg /g)	0.58±0.11 ^a	0.40±0.10 ^a	0.32±0.11 ^{ab}	0.46±0.13 ^a	0.13±0.01 ^b	0.11±0.01 ^b	0.11±0.01 ^b	0.12±0.01 ^b
全磷(mg /g)	0.60±0.01 ^a	0.65±0.02 ^a	0.72±0.02 ^a	0.62±0.02 ^a	0.70±0.02 ^a	0.73±0.04 ^a	0.72±0.01 ^a	0.73±0.01 ^a
有效磷(mg /kg)	22.4±1.14 ^a	25.6±0.84 ^a	28.3±1.25 ^a	19.6±0.76 ^a	5.7±0.25 ^b	6.7±0.42 ^b	7.5±0.20 ^b	6.0±0.14 ^b
速效钾(mg /kg)	422±38.8 ^a	480±23.12 ^a	540±18.61 ^a	470±17.54 ^a	157±1.41 ^b	164±5.71 ^b	178±15.46 ^b	171±4.85 ^b
含盐量(mg /g)	11.5±0.26 ^a	8.6±0.35 ^a	6.7±0.21 ^{ab}	10.7±0.14 ^a	5.7±0.06 ^b	3.8±0.02 ^b	3.5±0.01 ^b	6.2±0.05 ^b
pH 值	8.42±0.11 ^a	8.36±0.12 ^a	8.30±0.05 ^b	8.46±0.03 ^a	8.50±0.05 ^a	8.48±0.02 ^a	8.37±0.02 ^b	8.54±0.02 ^a

对结果进行 Ducan 多重比较,数字后的字母表示差异水平,α=0.05

表 2 互花米草盐沼和光滩土壤微生物量季节变化分析

参数	互花米草(<i>Spartina alterniflora</i>)				光滩(mudflat)			
	10 月	2 月	5 月	8 月	10 月	2 月	5 月	8 月
微生物量 C (mg /kg)	68.23±5.52 ^{ab}	75.26±8.25 ^a	84.24±4.36 ^a	64.45±5.52 ^{ab}	30.34±1.25 ^b	38.35±3.25 ^b	35.3±6.46 ^b	32.24±3.26 ^b
微生物量 N (mg /kg)	15.26±1.20 ^a	8.25±0.68 ^b	8.47±1.25 ^b	7.25±0.35 ^b	4.12±0.65 ^c	6.27±0.52 ^b	6.82±0.41 ^b	5.57±0.45 ^{bc}

对结果进行 Ducan 多重比较,数字后的字母表示差异水平,α=0.05

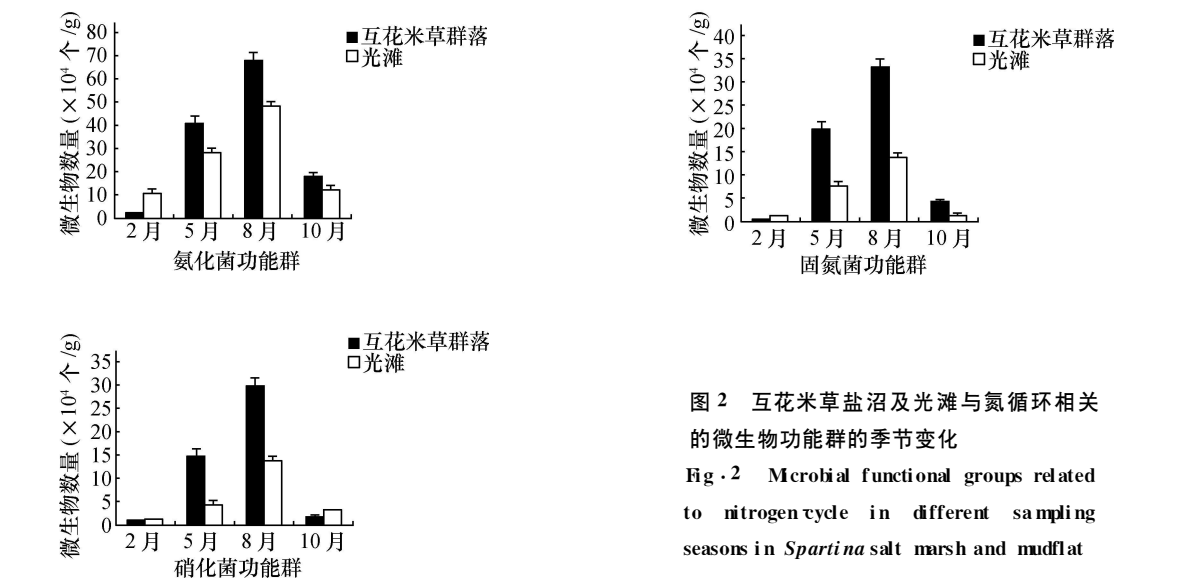


图 2 互花米草盐沼及光滩与氮循环相关的微生物功能群的季节变化

Fig.2 Microbial functional groups related to nitrogen cycle in different sampling seasons in *Spartina* salt marsh and mudflat

2.3 土壤微生物功能群的变化 与 N 循环相关的微生物功能群主要为 3 个,分别是氨化菌功能群、硝化菌功能群和固氮菌功能群.与 C 循环

相关的微生物功能群为 3 个,分别是分解纤维素真菌功能群、分解纤维素细菌功能群和糖酵解菌功能群.图 2 显示,互花米草盐沼中,除 2 月份与

N 相关的微生物功能群数量上比光滩少以外,其他月份均比光滩中要多,8 月份达到最高值.图 3 显示,互花米草盐沼中,与 C 相关的微生物功能

群数量上均比光滩要多,8 月份达到最高值,且在光滩中与 C 循环相关的功能群的数量极少,尤其在 2 月和 10 月非常明显.

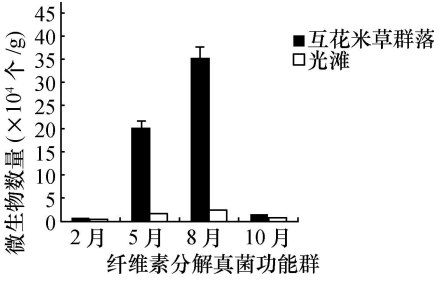
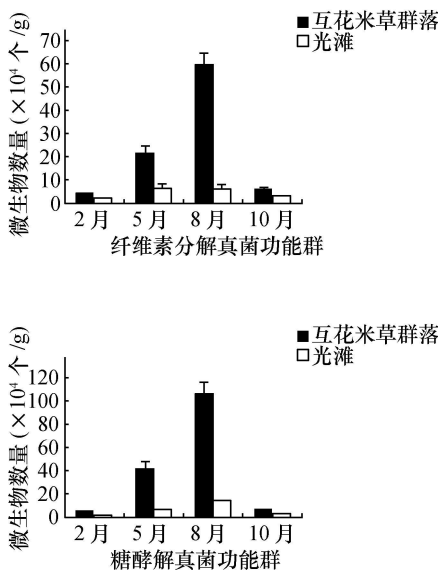


图 3 互花米草盐沼及光滩与碳循环相关的微生物功能群的季节变化
Fig.3 Microbial functional groups related to carbon cycle in different sampling seasons in *Spartina* salt marsh and mudflat

3 讨论

微生物量和活性大小与土壤肥力密切相关^[18].本研究表明,在互花米草盐沼中,土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾和含盐量均比光滩要高,这表明在互花米草盐沼中微生物量和活性都大于光滩,而微生物量C和微生物量N的测定结果证明了以上结论.高的微生物量C/N可能是因为占优势的活动微生物相对于休眠微生物具有更高的C/N^[19].在光滩中,土壤中原有C/N较低,互花米草的入侵,导致了土壤中C量增加大于N量,使土壤中C/N上升,相应的微生物类群发生了改变.互花米草盐沼中土壤微生物量C/N高于光滩,也说明了互花米草的生长使潮间带土壤中占优势的活动微生物群落组成发生了变化.土壤微生物在其生命活动中需要能量和养分,并对环境条件有一定的要求^[18],在互花米草盐沼中,2月份微生物量N最高,这是由于冬季互花米草地上部分死亡,大量的枯落物进入土壤后分解,使土壤全N提高,土壤微生物获得了充足的N供应,而光滩中由于得不到N的补充,导致微生物量N最低.

微生物功能群能敏感地反映生态环境的演变以及环境胁迫.土壤微生物数量及活性主要受碳源限制,对于根际微生物而言碳的限制作用更大^[20],因此,海滨盐沼植物的定植和固碳作用是提高土壤质量及微生物活性的决定性驱动因素.光滩土壤中有机质含量较低,可利用的C源相对较少,多数微生物处于不活跃状态,与C源相关的微生物功能群数量极少;而互花米草中由于有机质含量高,有丰富的C源,所以与C相关的微生物功能群数量较多.对于根际微生物来说,相比与N,C是更重要的限制因子^[21].研究中发现,在互花米草盐沼中,利用N源的微生物功能群在2月份数量均少与光滩,这与微生物量N的测定结果正好相反,主要是因为可培养条件下利用N源的微生物功能群较少,不可培养的微生物群落较多,这可能与互花米草地上部分死亡,产生大量凋落物,对可培养的微生物群落产生了一定的抑制作用有关^[22].

外来种互花米草在海滨盐沼中大面积的生

长,改善了土壤理化性质,为土壤微生物提供了较丰富的碳源,增强了微生物的活动,也改变了土壤微生物功能群,尤其是与C循环相关的土壤微生物功能群.本研究采用的微生物功能群的划分方法,初步阐明了外来种互花米草的入侵对土壤微生物功能群的影响.但互花米草入侵后土壤质量的演变特别是有机碳数量和质量变化对土壤微生物群落结构以及碳源利用特征的影响需要进一步研究.

References

- [1] Zhao J, Miao Y N, Zhang G Z, *et al*. Soil microbial ecology on the grassland ecosystem. Grassland of China, 1999, 3: 57~67.
- [2] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology, 1963, 44: 332~331.
- [3] Kell J J, Tate R L. Effects of heavy metal contamination and remediation on soil microbial communities in the vicinity of a zinc smelter. Journal of Environmental Quality, 1998, 27(3): 609~617.
- [4] Jacek K, Jan K E. Response of the bacterial community to root exudates in soil polluted with heavy metals assessed by molecular and cultural approaches. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32: 1405~1417.
- [5] Garland J L. Patterns of potential C source utilization by rhizosphere communities. Soil Biology and Biochemistry, 1996, 28: 223~230.
- [6] Campbell C D, Grayston S J, Hirst D J. Use of rhizosphere carbon sources in sole carbon source tests to discriminate soil microbial communities. Journal of Microbiological Methods, 1997, 30(1): 33~41.
- [7] Chen H Y. The resource and utilization of *Spartina* at intertidal area in north Jiangsu. Natural Resources, 1990, 18(6): 56~63. (陈宏友. 苏北潮间带米草资源及其利用. 自然资源, 1990, 18(6): 56~63).
- [8] Ma Y J, Li L, Yuan B J, *et al*. Studies on component of *Spartina alterniflora* Loisel I. Fatty acids in lamina with GC-MS. Chinese Journal of Biochemical Pharmacology, 2001, 22(4): 184~186. (马永建, 李莉, 袁宝君等. 互花米草成分研究 I. GC-MS 法研究叶片中脂肪酸. 中国生化药物杂志, 2001, 22(4): 184~186).
- [9] Ma Y J, Yuan B J, Li L, *et al*. Studies on component of *Spartina alterniflora* Loisel II. The research of volatile component with GC-MS. Chinese Journal of Biochemical Pharmacology, 2002, 23(1): 36~37. (马永建, 袁宝君, 李莉等. 互花米草成分研究 II. GC-MS 法研究挥发性成分. 中国生化药物杂志, 2002, 23(1): 36~37).
- [10] Qin P, Xie M, Jiang Y. *Spartina* green food ecological engineering. Ecological Engineering, 1998, 11(14): 147~156.
- [11] Zhang C T, Qin P, Wan S W. Emery analysis of *Spartina alterniflora* ecological engineering. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2000, 36(5): 592~597. (张晨途, 钦佩, 万树文. 互花米草生态工程能值分析. 南京大学学报(自然科学), 2000, 36(5): 592~597).
- [12] Zhou H X, Liu J E, Qin P. Effect of an alien species (*Spartina alterniflora*) on soil microorganism diversity in salt marshes, Jiangsu coastal intertidal ecosystem. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9): 2304~2311. (周虹霞, 刘金娥, 钦佩. 外来种互花米草对盐沼土壤微生物多样性的影响——以江苏滨海为例. 生态学报, 2005, 25(9): 2304~2311).
- [13] Ren M E, Xu T G, Zhu J W, *et al*. Survey of the coastal and salt marsh resource in Jiangsu Province. Beijing: China Ocean Press, 1985, 25~46, 110~120. (任美镔, 许廷官, 朱季文等. 江苏省海岸带和海涂资源综合调查报告. 北京: 海洋出版社, 1985, 25~46, 110~120).
- [14] Liu G S, Jiang N H, Zhang L D, *et al*. Standard methods for observation and analysis in Chinese ecosystem research network: Soil physical and chemical analysis and description of Soil Profiles. Beijing: Standard Press of China, 1996, 86~92. (刘光菽. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996, 86~92).

- [15] Brookes P C, Landman A, Pruden G, *et al*. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985, 17: 837~842.
- [16] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19: 703~707.
- [17] Torresa P A, Abrila A B, Bucherb E H. Microbial succession in litter decomposition in the semi arid Chaco woodland. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37: 49~54.
- [18] He Z L. Soil microbial biomass and its significance in nutrients cycle and environmental quality evaluation. *Soils*, 1997, 2: 61~69. (何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义. *土壤*, 1997, 2: 61~69).
- [19] Bremer E, van Kessel C. Seasonal and microbial biomass dynamics after addition of lentil and wheat residues. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56: 1141~1146.
- [20] Dick R P. A review: Long term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agricultural Ecosystem Environment*, 1992, 40: 25~36.
- [21] Bottner P, Sallih Z, Billes G. Root activity and carbon metabolism in soils. *Biology and Fertility of Soils*, 1988, 7: 71~78.
- [22] Gao Y C, Zhu W S, Chen W X. The ecological character and nutrient translation of soil fungi community. *Ecological Science*, 1998, 17(1): 60~66. (高云超, 朱文珊, 陈文新. 土壤真菌群落生态特征与养分转化. *生态科学*, 1998, 17(1): 60~66).