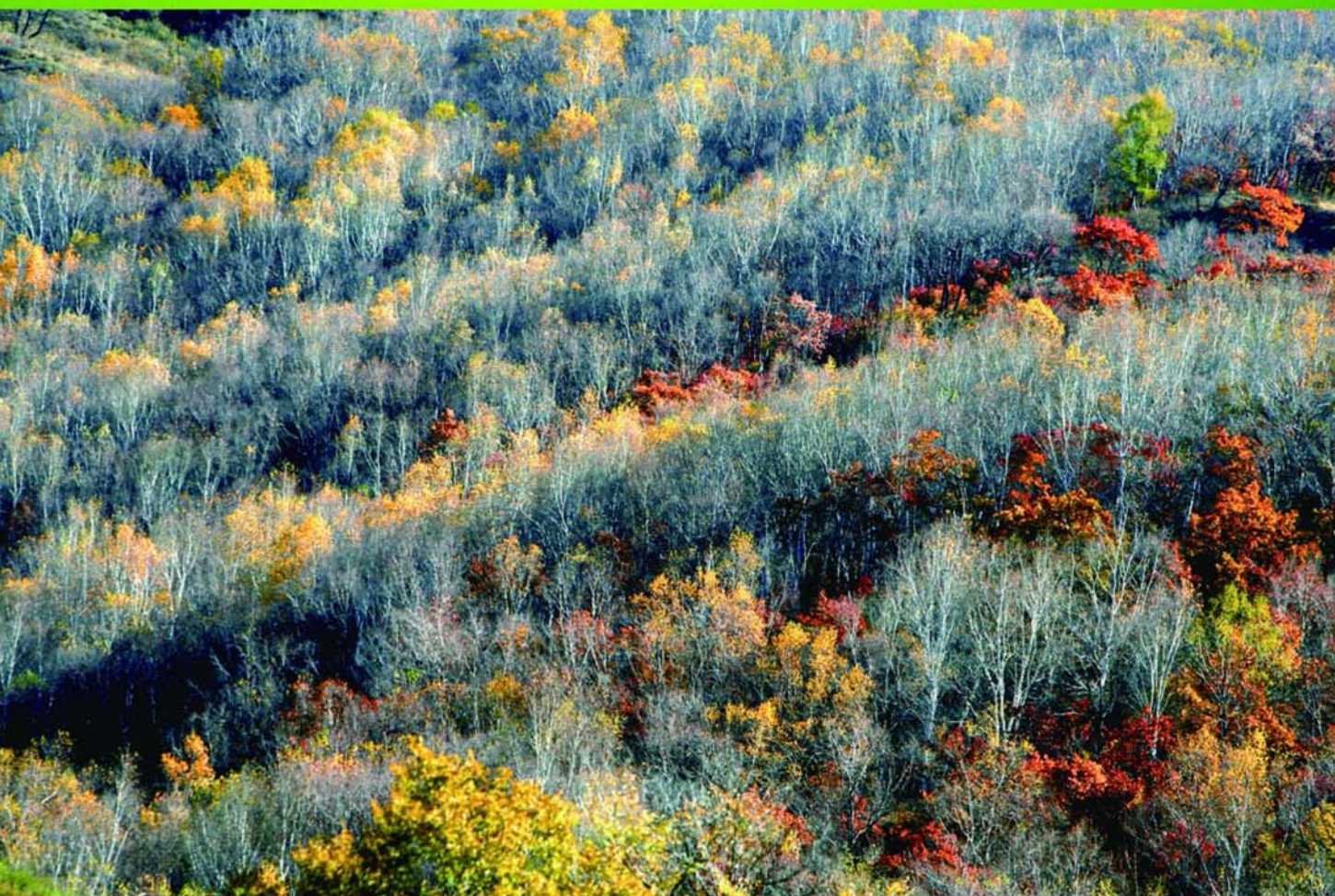


ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第16期 Vol.31 No.16 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 16 期

2011 年 8 月 (半月刊)

目次

人工和天然湿地芦苇根际土壤细菌群落结构多样性的比较·····	汪仲琼,王为东,祝贵兵,等 (4489)
不同土壤水分下山杏光合作用光响应过程及其模拟·····	郎莹,张光灿,张征坤,等 (4499)
不同颜色遮阳网遮光对丘陵茶园夏秋茶和春茶产量及主要生化成分的影响·····	秦志敏,付晓青,肖润林,等 (4509)
镉胁迫对烟草叶激素水平、光合特性、荧光特性的影响·····	吴坤,吴中红,邵付菊,等 (4517)
条浒苔和缘管浒苔对镉胁迫的生理响应比较·····	蒋和平,郑青松,朱明,等 (4525)
盐胁迫对拟南芥和盐芥莲座叶芥子油苷含量的影响·····	庞秋颖,陈思学,于涛,等 (4534)
长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响·····	高菊生,曹卫东,李冬初,等 (4542)
基于水量平衡下灌区农田系统中氮素迁移及平衡的分析·····	杜军,杨培岭,李云开,等 (4549)
苏北海滨湿地互花米草种子特征及实生苗生长·····	徐伟伟,王国祥,刘金娥,等 (4560)
基于 AnnAGNPS 模型的三峡库区秭归县非点源污染输出评价·····	田耀武,黄志霖,肖文发 (4568)
镉污染对不同生境拟水狼蛛氧化酶和金属硫蛋白应激的影响·····	张征田,庞振凌,夏敏,等 (4579)
印度洋南赤道流区水体叶绿素 a 的分布及粒级结构·····	周亚东,王春生,王小谷,等 (4586)
长江口滩涂围垦后水鸟群落结构的变化——以南汇东滩为例·····	张斌,袁晓,裴恩乐,等 (4599)
应用鱼类完整性指数 (FAII) 评价长江口沿岸碎波带健康状况·····	毛成贵,钟俊生,蒋日进,等 (4609)
基于渔业调查的南极半岛北部水域南极磷虾种群年龄结构分析·····	朱国平,吴强,冯春雷,等 (4620)
水稻模型 ORYZA2000 在湖南双季稻区的验证与适应性评价·····	莫志鸿,冯利平,邹海平,等 (4628)
旱地农田不同耕作系统的能量/碳平衡·····	王小彬,王燕,代快,等 (4638)
宁夏黄灌区稻田冬春休闲期硝态氮淋失量·····	王永生,杨世琦 (4653)
太湖沉积物有机碳与氮的来源·····	倪兆奎,李跃进,王圣瑞,等 (4661)
日偏食对乌鲁木齐空气可培养细菌群落的影响·····	马晶,孙建,张涛,等 (4671)
灰飞虱与褐飞虱种内和种间密度效应比较·····	吕进,曹婷婷,王丽萍,等 (4680)
圈养马来熊行为节律和时间分配的季节变化·····	兰存子,刘振生,王爱善,等 (4689)
塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征·····	韩路,王海珍,陈加利,等 (4699)
珍稀植物伯乐树一年生更新幼苗的死亡原因和保育策略·····	乔琦,秦新生,邢福武,等 (4709)
垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响·····	多立安,王晶晶,赵树兰 (4717)
CLM3.0-DGVM 中植物叶面积指数与气候因子的时空关系·····	邵璞,曾晓东 (4725)
基于生态效率的辽宁省循环经济分析·····	韩瑞玲,佟连军,宋亚楠 (4732)
专论与综述	
土壤食物网中的真菌/细菌比率及测定方法·····	曹志平,李德鹏,韩雪梅 (4741)
生态社区评价指标体系研究进展·····	周传斌,戴欣,王如松,等 (4749)
问题讨论	
不同胁迫条件下化感与非化感水稻 PAL 多基因家族的差异表达·····	方长甸,王清水,余彦,等 (4760)
研究简报	
钦州湾大型底栖动物生态学研究·····	王迪,陈丕茂,马媛 (4768)
人工恢复黄河三角洲湿地土壤碳氮含量变化特征·····	董凯凯,王惠,杨丽原,等 (4778)
基于地统计学丰林自然保护区森林生物量估测及空间格局分析·····	刘晓梅,布仁仓,邓华卫,等 (4783)
晋西黄土区辽东栎、山杨树干液流比较研究·····	隋旭红,张建军,文万荣 (4791)
小兴安岭典型苔草和灌木沼泽 N ₂ O 排放及影响因子·····	石兰英,牟长城,田新民,等 (4799)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-08



封面图说:在长白山麓低海拔地区的晚秋季节,成片的白桦林用无数根白色的树干、树枝烘托着林冠上跳动的金黄色叶片,共生的柞木树冠用更浓重的颜色显示了它的存在,整个山梁层林尽染,秋意浓浓。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

多立安,王晶晶,赵树兰. 垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响. 生态学报, 2011, 31(16): 4717-4724.

Duo L A, Wang J J, Zhao S L. Effects of municipal compost extracted complex microbial communities on physio-ecological characteristics of turfgrass under drought stress. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16): 4717-4724.

垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪 植物生理生态特性的影响

多立安*, 王晶晶, 赵树兰

(天津师范大学生命科学学院, 天津 300387)

摘要:从生活垃圾堆肥中提取有益微生物菌种,配成不同浓度的复合微生物菌剂(CM),施入草坪基质,研究了复合微生物菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响。结果表明:在干旱胁迫下,接种过复合微生物菌剂的草坪植物叶片的丙二醛(MDA)含量显著低于未接种菌剂的对照,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性显著高于对照。不同草坪植物品种生理生态特性在接种CM后对干旱胁迫的响应程度不同。即高羊茅(*Festuca arundinacea* L.),当接种200倍稀释液的菌剂,叶片SOD、POD和CAT活性达到最大,分别是对照的8.13、1.53和2.46倍;而黑麦草(*Lolium perenne* L.)则当接种100倍稀释液的菌剂,POD和CAT活性分别高出对照64.4%和56.1%,而SOD活性是对照的6.50倍。和对照相比,各接种菌剂处理的脯氨酸(Pro)含量、可溶性蛋白含量明显降低,离体叶片持水力却保持了较高的水平。上述结果表明,接种复合微生物菌剂后,植物能够通过自身的保护酶活性和渗透调节物质含量来减轻干旱伤害,维持植物体的正常生理代谢功能,从而有效缓解干旱胁迫对草坪植物的伤害,提高草坪植物的抗旱性,为干旱环境草坪植物的建植提供依据。

关键词:干旱胁迫;城市生活垃圾堆肥;复合微生物菌剂;草坪植物;生理生态特征

Effects of municipal compost extracted complex microbial communities on physio-ecological characteristics of turfgrass under drought stress

DUO Lian*, WANG Jingjing, ZHAO Shulan

College of Life Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China

Abstract: In arid and semi-arid areas, drought stress is a key factor limiting plant growth and development. In recent years, much attention has been paid to enhancing plant adaptability to arid environment by inoculating plants with complex microbial communities. Many studies indicated that complex microbial communities are able to enhance drought resistance of plants and promote plant growth. However, in most of these studies microbial communities involved were extracted from soils. Little is known about the effect of similar microbial communities extracted from municipal solid waste compost (MSWC) on plant growth and drought tolerance. It is well known that MSWC consists of a rich variety of rapid succession microbial communities with the size of the population and community depending on the composition and content of organic matter in MSWC and the interaction among the microorganisms. In the study reported in this paper, extractions with different concentrations of complex microbial communities were prepared from MSWC, and were applied to turfgrass medium. The effects of complex microbial communities on physio-ecological indices of two turfgrass cultivars under drought stress were investigated. The results indicated that under drought stress, malondialdehyde (MDA) content in the turfgrass leaves with the treatments of being inoculated with complex microbial communities were significantly lower than that of the control. Superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) activities with the same treatments were

基金项目:天津市科技支撑计划重点项目(09ZCGYSH02100)

收稿日期:2010-07-15; 修订日期:2010-10-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: duolian_tjnu@163.com.

significantly higher than those of the control. However, turfgrass cultivars responded differently to drought under the treatments. With the treatment of inoculation of 200 times complex microbial communities diluent, leaf MDA content of *Festuca arundinacea* was 24.3% lower than that of control; while SOD, POD and CAT activities were 8.13, 1.53 and 2.47 times higher than that of control, respectively. For *Lolium perenne*, leaf MDA content decreased by 41.3% under the treatment of 100 times complex microbial communities diluent inoculation, while POD, CAT and SOD activities increased by 64.4%, 56.1% and 6.50 times respectively comparing with the control. The results also indicated that inoculation of complex microbial communities decreased proline and soluble protein contents in the leaves and enhanced excised leaf water retaining capacity. For *Festuca arundinacea*, with inoculation of 200 times complex microbial communities diluent, leaf proline and soluble protein contents were 30.1% and 78.6% lower than those of the control. While for *Lolium perenne*, leaf proline and soluble protein contents with treatment of 100 times complex microbial communities diluent decreased by 27.3% and 66.2% when compared with control. Excised leaf water retaining capacity of the two turfgrass cultivars with inoculation of complex microbial communities was higher than that of the control, and reached the maximum at inoculation of 200 times of complex microbial communities diluent for *Festuca arundinacea* and at inoculation of 100 times of complex microbial communities diluent for *Lolium perenne*. These results suggest that complex microbial communities inoculation could effectively alleviate the damage of drought stress in plants through regulating their own protective enzyme activities and osmoregulation substance contents, and maintaining the normal physiological and metabolic function. This ability of complex microbial communities in improving drought resistance of turfgrass provides a feasible approach to establish turf in arid and semi-arid environment. This study also revealed the importance of selecting and cultivating different group of high efficient complex microbial communities from MSWC for different turf species/cultivars in coping with the drought stress in arid and semi-arid environment.

Key Words: drought stress; municipal solid waste compost; complex microbial communities; turfgrass; physiological characteristics

干旱胁迫是制约干旱半干旱地区植物生长和发育的重要环境因子。通过接种外源基因和人工合成菌剂来提高植物在干旱环境中的适应能力,是近年来国内外研究的一个热点领域。微生物能够与 80% 以上的植物建立共生关系,而共生关系的建立往往可以提高植物的抗逆性,促进植物生长;对此,已有学者展开相关研究工作。贺学礼等人研究了水分胁迫条件下 AM 真菌对柠条锦鸡儿生长和抗旱性的影响^[1]。宋瑞勇等人利用人工合成微生物菌剂来提高作物抗逆性,证明了干旱胁迫条件下,微生物诱导剂可促进玉米根系的生长发育,提高根系的干物质积累,从而提高玉米的抗干旱能力^[2]。尽管植物接种微生物的效应研究报道较多,但大部分研究工作涉及的微生物菌剂只限于从土壤中提取。从城市生活垃圾堆肥中提取和制备微生物菌剂,并应用于植物抗旱性的研究还未见报道。

城市生活垃圾堆肥是由群落结构演替非常迅速的多种微生物群体共同作用而实现有机废弃物资源化、无害化的动态过程。堆肥中微生物数量及种群分布与堆肥有机物质成分和含量、微生物间的相互作用等多种因素密切相关。顾文杰等人研究接种外源菌剂对堆肥中微生物数量和酶活性变化的影响,为微生物菌剂的应用和堆肥工艺的改进提供依据^[3]。Ivone 等人对堆肥中细菌的群落多样性进行分析,以期深入认识堆肥过程的本质,为堆肥技术和工艺研究提供理论基础^[4]。但无论如何,在复合微生物菌剂研究过程中,有关堆肥微生物菌剂对植物生长和生理特性的影响等相关研究还未见报道。

本试验以堆肥微生物菌种作为接种剂,筛选出合适的有益微生物菌株,配制成不同浓度的复合微生物菌剂接种到草坪建植体系中。试验在中度干旱胁迫处理下进行,研究不同浓度的复合微生物菌剂对黑麦草和高羊茅生理生态特性的影响,目的是为筛选优良抗旱堆肥复合微生物菌剂,提高草坪植物抗旱性,促进干旱环境草坪植物的建植提供依据。

1 材料与方法

1.1 菌株的筛选

①富集:将采集的堆肥样品称取 10 g 置于无菌三角瓶中,加入 100 mL 无菌水和玻璃珠振荡均匀后,取 10 mL 悬浮液于盛有 100 mL 富集培养基的三角瓶中,在 28℃,220 r/min 下振荡培养 3—5d。②初筛:将富集后的培养液进行浓度梯度稀释后,涂布于分离筛选培养基上,倒置恒温培养,观察透明圈的大小,选取透明圈/菌落直径比值较大菌落的菌株进行复筛。③生长曲线的绘制:将初筛得到的枯草芽孢杆菌和酵母菌接种到相应摇瓶培养基中,分别在 37℃ 和 28℃,220 r/min 的条件下培养,并分别以波长 600 nm 和 560 nm 下的 OD 值为纵坐标,培养时间为横坐标,绘制菌株的生长曲线。

1.2 复合微生物菌剂制备

菌种培养:将筛选的枯草芽孢杆菌、放线菌、酵母菌在相应的培养基上扩大培养。具体步骤:①用无菌生理盐水洗涤保存斜面,至无菌三角瓶中摇匀即成菌悬液;②接种斜面培养物于种子瓶,枯草芽孢杆菌在 30℃,180r/min 培养 12 h 得到种子液,放线菌和酵母菌在 28℃,220 r/min 培养 48 h 得到种子液;③浓度 10% 的种子液接种到发酵瓶中扩大培养 48 h 得到发酵液,复合微生物菌液按以下处理进行配制^[5]。

1.3 复合微生物菌剂应用

采用单因素随机区组实验设计,受限因素分别为:①干旱胁迫,测得土壤田间最大持水量为 43.54%。本试验采用中度干旱胁迫,胁迫程度为 55%—65% 田间最大持水量(MFC);②不同浓度的复合微生物菌剂应用,在此干旱胁迫条件下设定处理方式——处理 1 为对照,不接种菌剂(CK);处理 2 加入原菌液(CM₁);处理 3 加入 100 倍稀释液的菌剂(CM₂);处理 4 加入 200 倍稀释液的菌剂(CM₃);处理 5 加入 300 倍稀释液菌剂(CM₄);处理 6 加入 400 倍稀释液菌剂(CM₅)。

1.4 草坪建植

选用我国北方比较常见的多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.)和高羊茅(*Festuca arundinacea* L.)为试验材料。供试草坪植物种子籽粒饱满、大小均匀。所用土壤为天津师范大学院内园土,其理化性质为:pH 7.44,饱和含水量 0.58 mL/g,有机质 4.68%,全氮 0.21%,有效磷 22.03 mg/kg,全钾 45.61g/kg。采集后,剔除植物残根和石砾等杂物,过 2 mm 筛,在 121℃ 下灭菌 30 min,备用。实验采用盆栽的方法,每培养容器内放置灭菌土壤 200 g,将 0.4 g 草坪种子播种其上。每天统一定量给水,以保持培养基质有较好的水分状况,经常调换各培养容器位置,以保证光照一致。当植株生长高度达到 6—7 cm 时,加入不同浓度的堆肥复合微生物菌剂,接种 CM 3d 后,再进行干旱胁迫。各处理 3 次重复,实验在温室植物培养台上进行,温度为 20—25℃,相对湿度为 30%—60%,光照为透入室内的自然光。处理 40d 后进行植物各指标的测定。

1.5 测定指标

采集新鲜的植物叶片,进行以下各指标的测定。脯氨酸含量的测定采用酸性茚三酮比色法^[6];丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸法^[7];POD 活性测定采用愈创木酚法^[7];SOD 活性测定采用 NBT 法^[8-9];CAT 活性测定采用紫外分光光度法^[10];可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法进行测定^[11]。

离体叶片持水力的测定如下:将准确称过鲜重的植物叶片,放入 25—30℃ 的干燥器中,在黑暗条件下干燥 2—6 h,再称量失水后叶片的重量,按下式计算失水率:

$$\text{失水率}(\%) = (\text{鲜重} - \text{失水后重}) / \text{鲜重} \times 100\%$$

失水率高,说明叶片干燥后失水较多,即叶片含水量高,则离体叶片持水力高。

1.6 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 11.5 软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 菌种筛选

初筛:通过平板分离筛选,得到透明圈/菌落直径比值较大且生长较快的菌落。将所得的枯草芽孢杆菌、

放线菌、酵母菌分别进行划线分离、编号并保藏于固体斜面培养基上。

复筛:通过测定枯草芽孢杆菌和酵母菌的生长曲线(图 1 和图 2),分析菌种生长活性最高和繁殖能力最好时期为对数期,将此期的菌种提取出来,稀释成不同浓度,用于草坪植物接种。由表 1 可以看出,所得微生物菌剂中富含枯草芽孢杆菌、放线菌和酵母菌,三菌种的菌落数在 2.44×10^9 — 2.47×10^9 之间,枯草芽孢杆菌的 OD_{600} 值为 0.545,酵母菌的 OD_{560} 值为 0.567。

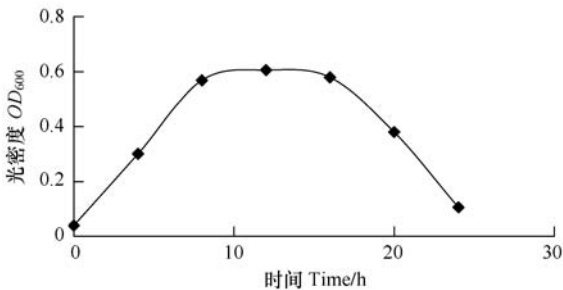


图 1 枯草芽孢杆菌的生长曲线
Fig. 1 Growth curve of *Bacillus subtilis*

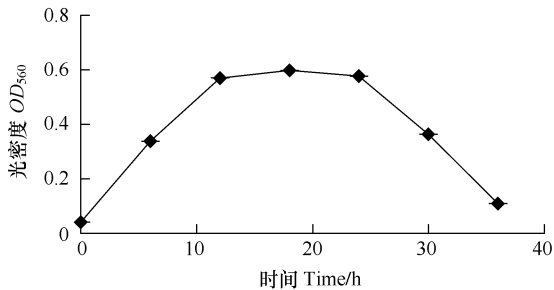


图 2 酵母菌的生长曲线
Fig. 2 Growth curve of Yeast

表 1 微生物菌剂所富含的菌落数
Table 1 Bacterial colonies in microbial agent

菌剂 Microbial communities	菌落数 Colonies /(number/mL)	菌落数 Colonies /(number/10 mL)	OD 值 OD value
枯草芽孢杆菌 <i>Bacillus subtilis</i>	$(2.47\pm0.03)\times10^9$	$(2.47\pm0.03)\times10^{10}$	0.567 ± 0.001
放线菌 <i>Actinomycetes</i>	$(2.44\pm0.083)\times10^9$	$(2.44\pm0.08)\times10^{10}$	—
酵母菌 Yeast	$(2.45\pm0.07)\times10^9$	$(2.45\pm0.07)\times10^{10}$	0.545 ± 0.001

2.2 CM 对于干旱胁迫下草坪植物叶片脯氨酸和可溶性蛋白含量的影响

干旱胁迫下复合微生物菌剂处理两种草坪植物叶片脯氨酸含量均显著低于未接种的对照植株(图 3)。在 200 倍稀释液复合菌剂处理下,高羊茅脯氨酸含量降低最多,比对照降低了 30.1%。在 100 倍稀释液菌剂处理下,黑麦草脯氨酸含量比对照降低了 27.3%。而其它稀释浓度下的处理组,草坪植物叶片脯氨酸含量和对照相比都有显著差异($P<0.05$)。

由图 4 可见,不同浓度复合微生物菌剂明显降低了两种草坪植物叶片细胞内可溶性蛋白含量。在干旱胁迫

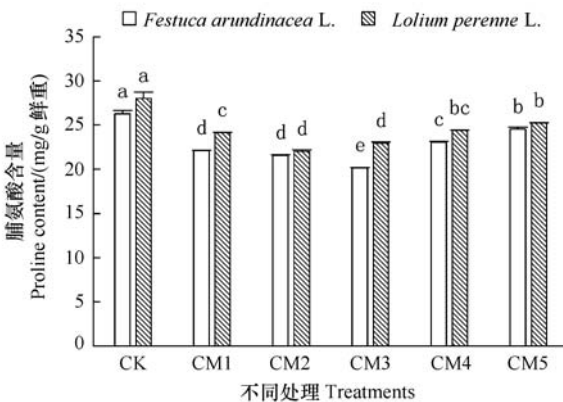


图 3 CM 对于干旱胁迫草坪植物叶片脯氨酸含量的影响
Fig. 3 Effect of CM on proline content of turfgrass under drought stress
同草种数据中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

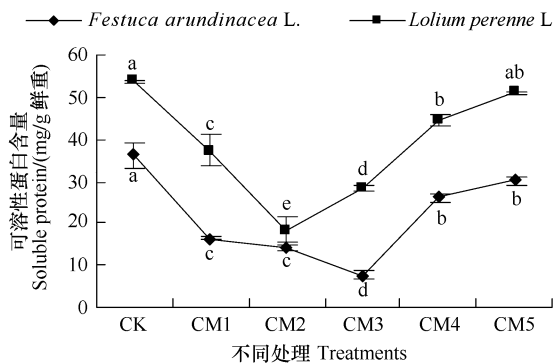


图 4 CM 对于干旱胁迫下草坪植物叶片可溶性蛋白的影响
Fig. 4 Effect of CM on soluble protein of turfgrass under drought stress
同草种数据中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

胁迫,高羊茅细胞内可溶性蛋白含量在 200 倍稀释液处理下为最低,与对照相比,降低了 78.6%;而黑麦草在 100 倍稀释液处理下最少,比对照低 66.2%,说明接种菌剂后,植物细胞体内的渗透作用能力增强,草坪植物抗旱能力提高。

2.3 CM 对干旱胁迫下草坪植物叶片 MDA 含量的影响

不同浓度堆肥复合微生物菌剂对干旱胁迫下两种草坪植物叶片 MDA 含量的影响见图 5。和对照相比,干旱胁迫下,接种堆肥复合微生物菌剂显著降低了两种草坪植物叶片的 MDA 含量。在高浓度下,高羊茅 MDA 含量随堆肥微生物菌剂浓度的降低而下降,在 200 倍稀释液处理下含量为最低,和对照相比,下降了 24.3%;然后随微生物菌剂浓度的降低,MDA 含量又表现出增加的趋势。

对于黑麦草而言,也表现出相同的趋势,所不同的是,在 100 倍稀释液下黑麦草 MDA 含量下降最多,比对照减少了 41.3%;然后又开始增加。

2.4 CM 对干旱胁迫下草坪植物叶片保护酶活性的影响

接种堆肥复合微生物菌剂显著提高了干旱胁迫下两草坪植物叶片 SOD、POD 和 CAT 活性(表 2)。在高浓度下,随着微生物菌剂浓度的降低,3 种保护酶活性显著地增加,在 200 倍稀释液时,高羊茅叶片 SOD、POD 和 CAT 活性达到最高,分别是对照的 8.13、1.53、2.46 倍;复合菌剂稀释液倍数为 100 时,黑麦草叶片 POD 和 CAT 活性为最高,分别比对照高出 64.4% 和 56.1%,SOD 活性为对照的 6.50 倍;然后,随着稀释倍数的增加,保护酶活性又开始下降。

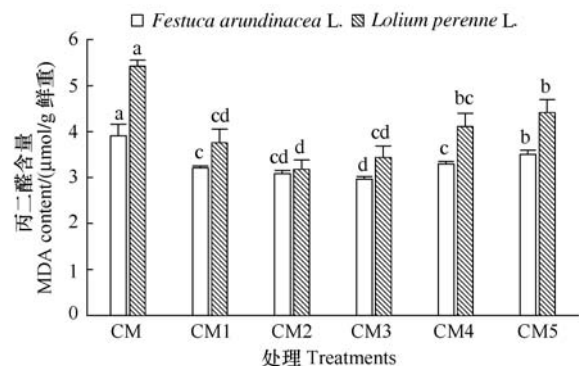


图 5 CM 对干旱胁迫草坪植物叶片 MDA 含量的影响

Fig. 5 Effect of CM on MDA content of turfgrass under drought stress

表 2 CM 对干旱胁迫下草坪植物叶片保护酶活性的影响

Table 2 Effects of CM on protective enzyme activities of turfgrass under drought stress

草坪植物 Turfgrass	处理 Treatments	测定指标 Indices		
		CAT 活性 CAT activity /(mgH ₂ O ₂ /g ⁻¹ 鲜重·min ⁻¹)	POD 活性 POD activity /(ΔA470/min·g ⁻¹ 鲜重)	SOD 活性 SOD activity /(U/g 鲜重)
高羊茅 <i>F. arundinacea</i>	CK	38.33±5.55e	1311.11±81.84d	82.94±12.11d
	CM ₁	85.56±0.56bc	1733.33±34.69b	259.32±10.02bc
	CM ₂	89.44±1.11ab	1916.67±25.46a	367.45±80.70b
	CM ₃	94.17±0.00a	2000.00±19.25a	674.02±52.04a
	CM ₄	78.33±0.96cd	1655.56±30.93bc	193.18±2.78cd
	CM ₅	71.67±1.44d	1533.33±41.94c	159.58±9.15cd
黑麦草 <i>L. perenne</i>	CK	64.44±1.94e	1294.44±43.39e	117.59±27.78e
	CM ₁	88.89±1.82c	1738.89±24.22bc	257.22±25.48d
	CM ₂	100.56±2.00a	2127.78±58.79a	764.30±39.94a
	CM ₃	94.44±0.28b	1861.11±33.79b	638.32±12.38b
	CM ₄	82.78±0.56d	1644.44±20.03c	563.78±32.17b
	CM ₅	80.83±0.48d	1494.44±55.56d	410.50±18.21c

同列同草种数据中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.5 CM 对干旱胁迫下草坪植物离体叶片持水力的影响

接种不同浓度堆肥微生物菌剂对干旱胁迫下两种草坪植物离体叶片持水力的影响见图 6。接种微生物菌剂处理离体叶片持水力均高于未接种的对照,高羊茅和黑麦草分别在 200 和 100 稀释倍数时达到峰值,然后又开始下降,这和其它指标的测定结果相吻合。黑麦草在接种 100 稀释液后,离体叶片的持水力比对照提

高了 7.00%。说明接种堆肥微生物菌剂使植物保持较高的离体叶片持水力,有利于植物提高自身的抗旱能力。

3 讨论

接种堆肥复合微生物菌剂促进草坪植株的生长发育,增强了植株对外界胁迫的抵抗能力。在干旱胁迫下,接种堆肥复合微生物菌剂能够通过增加对营养物质的吸收来促进草坪植物的生长,堆肥微生物菌剂不仅提供草坪植物所需的生长因子,而且加强了植株对水分的吸收利用,有利于植物适应逆境环境^[1]。因为枯草芽孢杆菌能产生多种抗菌素和酶,具有广谱抗菌活性和极强的抗逆能力,因此能够通过形成高度抗干燥的内孢子来逃避逆境环境。而放线菌最突出的功能则是产生大量的抗生素,调节微生物区系,对有机物有很强的降解能力,可降解难分解的物质如纤维素、木质素等,从而降解腐殖质,加速养分转化,有利于植物更好地吸收和利用这些营养物质。酵母菌其本身含有大量的蛋白质和丰富的营养素,可供微生物利用,是重要的营养功能性细菌;可对包括土壤等各种基质环境中有效养分进行合理的转化和高效率吸收,它的发酵分解作用,可促进堆肥复合微生物菌剂在应用和繁殖过程中各类有效微生物的增殖,对逆境胁迫条件下,草坪植物的生长起到一定的促进和缓冲作用。

渗透调节是植物适应干旱胁迫的一种重要生理保护机制,脯氨酸被认为是理想的渗透调节物质,它与其他有机溶质具有调节细胞渗透势、维持膨压、保护和稳定大分子物质的功能,从而使体内各种与膨压有关的生理过程得以正常进行^[12]。在草坪植物抗旱机理的研究中,对脯氨酸的研究为最多,普遍认为脯氨酸含量的高低能反映草坪植物抗旱性的强弱^[13];但也有研究认为,脯氨酸的含量只是反映植株受旱程度,不宜作为植物抗旱性的生理指标^[14]。研究表明,在干旱胁迫条件下,两种草坪植物接种堆肥复合微生物菌剂处理脯氨酸与可溶性蛋白含量均低于没有接种的对照,这可能是接种堆肥复合微生物菌剂后,降低草坪植株细胞质的渗透势,从而提高了对干旱的耐受性,受干旱胁迫的影响较小,脯氨酸与可溶性蛋白得以维持较低的浓度来保护酶的活性。

在干旱胁迫下,植物细胞由于代谢受阻而产生大量的活性氧、超氧自由基(H_2O_2 、 $\cdot OH$ 、 O_2^- 等),这些活性氧、超氧自由基得不到有效的清除会对细胞膜脂进行过氧化,导致膜系统损伤和细胞器伤害^[15-17]。MDA 是脂质过氧化的主要产物之一,其积累是活性氧毒害作用的表现,它的含量常被作为判断膜脂过氧化作用的一个主要指标。干旱胁迫下,两种草坪植物在接种堆肥复合微生物菌剂后,MDA 含量显著降低,说明堆肥微生物菌剂抑制了 MDA 的合成,减轻了干旱胁迫所造成的脂质过氧化程度。

为了应对逆境胁迫所产生的自由基,植物自身发展了一种保护系统来清除产生的自由基,以减轻逆境胁迫带来的伤害。其中,SOD、POD、CAT 是保护系统的主要酶,SOD 能将 O_2^- 清除而形成 H_2O_2 ,而 POD、CAT 可把 H_2O_2 变为 H_2O ,它们协调一致的作用,可使活性氧维持于一个较低水平^[12]。SOD、POD、CAT 酶活性越高,清除自由基的能力就越强,植物的抗旱能力也就越强。在干旱胁迫条件下,接种不同浓度堆肥复合微生物菌剂处理 3 种保护酶活性都显著高于未接种处理,表明微生物菌剂加速激活了植物体内的活性氧清除系统,减少膜脂过氧化产物 MDA 的合成,从而减轻细胞膜脂过氧化伤害,最终提高植株的抗旱性。贺学礼等人的研究结果也证实了这一点^[1]。3 种酶活性的变化表现出一致性,即 SOD、POD、CAT 酶活性开始随菌剂稀释倍数的增加而升高,随后又下降。对于高羊茅,3 种酶活性在菌剂稀释倍数为 200 时达到最大,而对于黑麦草而言,3 种酶活性在菌剂稀释倍数为 100 时达到最大;说明当菌剂的稀释倍数增加到一定的程度时,菌剂的加入不能完全清除干旱胁迫所产生的活性氧,3 种保护酶的活性开始下降。MDA 含量与保护酶系存在一定的相

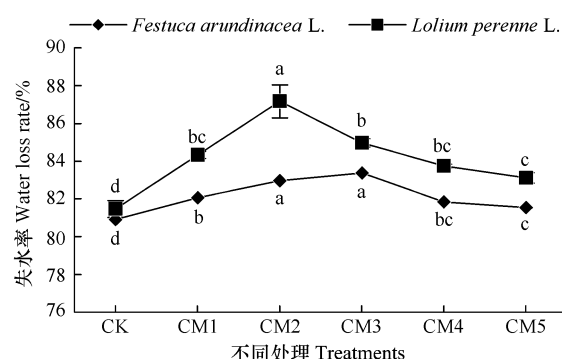


图 6 CM 对干旱胁迫下草坪植物离体叶片持水力的影响

Fig. 6 Effect of CM on excised leaf water retaining capacity of turfgrass under drought stress

关性,即 3 种酶的活性增加,MDA 含量降低;当酶活性降低时,MDA 含量增加,表明保护酶系对其有抑制作用,MDA 的积累对保护酶活性的增加有一定的诱导作用^[12]。本研究从 MDA 含量和 3 种保护酶的活性对接菌剂的反应可以看出,利用接种堆肥菌剂来减轻干旱胁迫对草坪植物的伤害要有一个适宜浓度,对于高羊茅,菌剂的稀释倍数为 200,而对于黑麦草则为 100。

离体叶片持水力是反应干旱条件下叶片抗脱水性能的综合指标之一,离体叶片在萎蔫过程中所保持的水分含量可作为叶片保水力的指标^[18]。干旱胁迫下,接种菌剂处理离体叶片持水力均高于未接种处理,说明接种菌剂能使叶片离体后维持较高的含水量,在水分亏缺时能为物质转化提供良好的细胞内环境,使其在干旱情况下能维持一定的生长。

4 结论

在干旱胁迫下,接种垃圾堆肥复合微生物菌剂,能明显提高草坪植物叶片保护酶活性,抑制 MDA 的合成,并保持较高的离体叶片持水力,从而缓解了干旱胁迫带来的伤害,提高了植株的抗旱性。所以,针对不同草坪植物和生长环境,筛选和培养优势堆肥微生物菌种进行人工接种,是提高草坪植物抗旱性的关键,这对于堆肥高效菌剂的研制和应用至关重要。

References:

- [1] He X L, Liu T, An X J, Zhao L L. Effects of AM fungi on the growth and drought resistance of *Caragana korshinskii* under water stress conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 47-52.
- [2] Song R Y, Jin Z H, Zhang L Y. Under water stress of composite microbial agents on maize root traits. *Shandong Agricultural Sciences*, 2006, (3): 36-38.
- [3] Gu W J, Zhang F B, Xu P Z, Xie K Z, Tang S H, Chen J S, Huang X. Inoculum additions during composting: Impacts on microbial populations and enzyme activity. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(8): 1718-1722.
- [4] Vaz-Moreira I, Silva M E, Manaia C M, Nunes O C. Diversity of bacterial isolates from commercial and homemade composts. *Microbial Ecology*, 2008, 55(4): 714-722.
- [5] Ye F, Zhang L L, Wu S J, Xiang Z X, Chen J M. Preparation of BTX degrading composite microorganism agent. *China Environmental Science*, 2009, 29(3): 300-305.
- [6] Li H S. *Modern Plant Physiology*. Beijing: Higher Education Press, 2000: 134-137.
- [7] Zhang Z L, Qu W J. *The Experimental Guide for Physiology*. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2003: 123-124, 274-277.
- [8] Sundar D, Perianayaguy B, Reddy A R. Localization of antioxidant enzymes in the cellular compartments of sorghum leaves. *Plant Growth Regulation*, 2004, 44(2): 157-163.
- [9] Li L, Staden J, Jäger A K. Effects of plant growth regulators on the antioxidant system in seedlings of two maize cultivars subjected to water stress. *Plant Growth Regulation*, 1998, 25(2): 81-87.
- [10] Drązkiewicz M, Skórzyńska-Polit E, Krupa Z. Copper-induced oxidative stress and antioxidant defence in *Arabidopsis thaliana*. *BioMetals*, 2004, 17(4): 379-387.
- [11] Gao J F. *Plant Physiology Experiments Technology*. Beijing: World Book Publishing House, 2000.
- [12] Dong Y C, Liu Y Q. Soil water influences on protective enzymes and osmolytes of *Urtica dioica* and their correlations with leaf photosynthesis and biomass. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 2845-2851.
- [13] Shi Y H, Wan L Q, Liu J N, Wang Y Q, Wu X M, Li X L. Effects of PEG stress on the drought resistance of six turfgrass varieties of *Lolium perenne* L. *Acta Agrestia Sinica*, 2009, 17(1): 52-57.
- [14] Wang B X, Huang J C, Wang H. The correlation of proline accumulation and drought resistance in various plants under water stress condition. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1989, 15(1): 46-51.
- [15] Nikolaeva M K, Maevskaya S N, Shugaev A G, Bukhov N G. Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2010, 57(1): 87-95.
- [16] Khalvati M, Bartha B, Dupigny A, Schröder P. Arbuscular mycorrhizal association is beneficial for growth and detoxification of xenobiotics of barley under drought stress. *Journal of Soil and Sediments*, 2010, 10(1): 54-64.
- [17] Zelinová V, Mistrík I, Pal'ove-Balang P, Tamás L. Peroxidase activity against guaiacol, NADH, chlorogenic acid, ferulic acid and coniferyl alcohol in root tips of *Lotus japonicus* and *L. corniculatus* grown under low pH and aluminium stress. *Biologia*, 2010, 65(2): 279-283.

- [18] Ge T D, Sui F G, Zhang J Z, Lu Y Y, Zhou G S. Response of leaf and root membrane permeability and leaf water to soil drought in maize. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(3): 507-512.

参考文献:

- [1] 贺学礼, 刘媿, 安秀娟, 赵丽莉. 水分胁迫下 AM 真菌对柠条锦鸡儿 (*Caragana korshinskii*) 生长和抗旱性的影响. *生态学报*, 2009, 29(1): 47-52.
- [2] 宋瑞勇, 金忠华, 张丽阳. 水分胁迫下复合微生物菌剂对玉米根系性状的影响. *山东农业科学*, 2006, (3): 36-38.
- [3] 顾文杰, 张发宝, 徐培智, 解开治, 唐拴虎, 陈建生, 黄旭. 接种菌剂对堆肥微生物数量和酶活性的影响. *农业环境科学学报*, 2009, 28(8): 1718-1722.
- [5] 叶峰, 张丽丽, 吴石金, 项正心, 陈建孟. 降解三苯类复合微生物菌剂的制备及性能. *中国环境科学*, 2009, 29(3): 300-305.
- [6] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134-137.
- [7] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导 (第三版). 北京: 高等教育出版社, 2003: 121-124, 274-277.
- [11] 高俊凤. 植物生理学实验技术. 北京: 世界图书出版社, 2000.
- [12] 董伊晨, 刘悦秋. 土壤水分对异株荨麻 (*Urtica dioica*) 保护酶和渗透调节物质的影响及其与叶片光合和生物量的相关性. *生态学报*, 2009, 29(6): 2845-2851.
- [13] 石永红, 万里强, 刘建宁, 王运琦, 吴欣民, 李向林. 干旱胁迫对 6 个坪用多年生黑麦草品种抗旱性的影响. *草地学报*, 2009, 17(1): 52-57.
- [14] 王邦锡, 黄久常, 王辉. 不同植物在水分胁迫条件下脯氨酸的积累与抗旱性的关系. *植物生理学报*, 1989, 15(1): 46-51.
- [18] 葛体达, 隋方功, 张金政, 吕银燕, 周广胜. 玉米根、叶质膜透性和叶片水分对土壤干旱胁迫的反应. *西北植物学报*, 2005, 25(3): 507-512.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31 ,No. 16 August ,2011 (Semimonthly)

CONTENTS

A comparative study on the diversity of rhizospheric bacteria community structure in constructed wetland and natural wetland with reed domination	WANG Zhongqiong, WANG Weidong, ZHU Guibing, et al (4489)
Light response of photosynthesis and its simulation in leaves of <i>Prunus sibirica</i> L. under different soil water conditions	LANG Ying, ZHANG Guangcan, ZHANG Zhengkun, et al (4499)
Effects of colour shading on the yield and main biochemical components of summer-autumn tea and spring tea in a hilly tea field	QIN Zhimin, FU Xiaoqing, XIAO Runlin, et al (4509)
Effects of cadmium on the contents of phytohormones, photosynthetic performance and fluorescent characteristics in tobacco leaves	WU Kun, WU Zhonghong, TAI Fujun, et al (4517)
Comparative physiological responses of cadmium stress on <i>Enteromorpha clathrata</i> and <i>Enteromorpha linza</i>	JIANG Heping, ZHENG Qingsong, ZHU Ming, et al (4525)
Effects of salt stress on glucosinolate contents in <i>Arabidopsis thaliana</i> and <i>Thellungiella halophila</i> rosette leaves	PANG Qiuying, CHEN Sixue, YU Tao, et al (4534)
Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field	GAO Jusheng, CAO Weidong, LI Dongchu, et al (4542)
Nitrogen balance in the farmland system based on water balance in Hetao irrigation district, Inner Mongolia	DU Jun, YANG Peiling, LI Yunkai, et al (4549)
Seed characteristics and seedling growth of <i>Spartina alterniflora</i> on coastal wetland of North Jiangsu	XU Weiwei, WANG Guoxiang, LIU Jin'e, et al (4560)
Assessment of non-point source pollution export from Zigui county in the Three Gorges Reservoir area using the AnnAGNPS model	TIAN Yaowu, HUANG Zhilin, XIAO Wenfa (4568)
Effects of Cadmium pollution on oxidative stress and metallothionein content in <i>Pirata subpiraticus</i> (Araneae: Lycosidae) in different habitats	ZHANG Zhengtian, PANG Zhenling, XIA Min, et al (4579)
The distribution of size-fractionated chlorophyll a in the Indian Ocean South Equatorial Current	ZHOU Yadong, WANG Chunsheng, WANG Xiaogu, et al (4586)
Change of waterbird community structure after the intertidal mudflat reclamation in the Yangtze River Mouth: a case study of NanHui Dongtan area	ZHANG Bin, YUAN Xiao, PEI Enle, et al (4599)
Application of fish assemblage integrity index (FAII) in the environment quality assessment of surf zone of Yangtze River estuary	MAO Chengze, ZHONG Junsheng, JIANG Rijin, et al (4609)
Population age structure of Antarctic krill <i>Euphausia superba</i> off the northern Antarctic Peninsula based on fishery survey	ZHU Guoping, WU Qiang, FENG Chunlei, et al (4620)
Validation and adaptability evaluation of rice growth model ORYZA2000 in double cropping rice area of Hunan Province	MO Zhihong, FENG Liping, ZOU Haiping, et al (4628)
Coupled energy and carbon balance analysis under dryland tillage systems	WANG Xiaobin, WANG Yan, DAI Kuai, et al (4638)
The nitrate-nitrogen leaching amount in paddy winter-spring fallow period	WANG Yongsheng, YANG Shiqi (4653)
The sources of organic carbon and nitrogen in sediment of Taihu Lake	NI Zhaoxui, LI Yuejin, WANG Shengrui, et al (4661)
Effect of partial solar eclipse on airborne culturable bacterial community in Urumqi	MA Jing, SUN Jian, ZHANG Tao, et al (4671)
Comparative study on density related intra- and inter-specific effects in <i>Laodelphax striatellus</i> (Fallen) and <i>Nilaparvata lugens</i> (Stål)	LÜ Jin, CAO Tingting, WANG Liping, et al (4680)
Behavior rhythm and seasonal variation of time budget of sun bear (<i>Helarctos malayanus</i>) in captivity	LAN Cunzi, LIU Zhensheng, WANG Aishan, et al (4689)
Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River	HAN Lu, WANG Haizhen, CHEN Jiali, et al (4699)
Death causes and conservation strategies of the annual regenerated seedlings of rare plant, <i>Bretschneidera sinensis</i>	QIAO Qi, QIN Xinsong, XING Fuwu, et al (4709)
Effects of municipal compost extracted complex microbial communities on physio-ecological characteristics of turfgrass under drought stress	DUO Lian, WANG Jingjing, ZHAO Shulan (4717)
Spatiotemporal relationship of leaf area index simulated by CLM3.0-DGVM and climatic factors	SHAO Pu, ZENG Xiaodong (4725)
Analysis of circular economy of Liaoning Province based on eco-efficiency	HAN Ruiling, TONG Lianjun, SONG Yanan (4732)
Review and Monograph	
The fungal to bacterial ratio in soil food webs, and its measurement	CAO Zhiping, LI Depeng, HAN Xuemei (4741)
Indicators for evaluating sustainable communities: a review	ZHOU Chuanbin, DAI Xin, WANG Rusong, et al (4749)
Discussion	
Differential expression of <i>PAL</i> multigene family in allelopathic rice and its counterpart exposed to stressful conditions	FANG Changxun, WANG Qingshui, YU Yan, et al (4760)
Scientific Note	
Ecology study on the benthic animals of QinZhou Bay	WANG Di, CHEN Pimao, MA Yuan (4768)
Change characteristics of soil carbon and nitrogen contents in the Yellow River Delta soil after artificial restoration	DONG Kaikai, WANG Hui, YANG Liyuan, et al (4778)
Estimation and spatial pattern analysis of forest biomass in Fenglin Nature Reserve based on Geostatistics	LIU Xiaomei, BU Rencang, DENG Huawei, et al (4783)
Study on sap flow in forest of <i>Quercus liaotungensis</i> and <i>Populus davidiana</i> by using the TDP method	SUI Xuhong, ZHANG Jianjun, WEN Wanrong (4791)
N ₂ O Emission and its driving factors from typical marsh and shrub swamp in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	SHI Lanying, MU Changcheng, TIAN Xinmin, et al (4799)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 16 期 (2011 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 16 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元