

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **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 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
- 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
- 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
- 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护..... 刘吉平,吕宪国 (5894)
- 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
- 广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
- 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
- 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
- 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
- 放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
- 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
- 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响..... 蓝文陆 (5970)
- 万仙山油松径向生长与气候因子的关系 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
- 50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
- 热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性..... 王亚婷,范连连 (5992)
- 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
- 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
- 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
- 杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
- 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
- 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
- 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
- 短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较..... 张继义,赵哈林 (6060)
- 滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
- 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联..... 赵成章,任 珩 (6080)
- 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
- 臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
- 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
- 湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
- 锌对两个品种茄子果实品质的效应..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
- Cd²⁺ 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
- 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd ²⁺ 的生物吸附特性	李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子	苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用	杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响	何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响	汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变	程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例	赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例	张勃,刘秀丽 (6251)
专论与综述	
孤立湿地研究进展	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型	孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展	文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展	白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



封面图说: 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

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

文娅, 赵国柱, 周传斌, 曹爱新. 生态工程领域微生物菌剂研究进展. 生态学报, 2011, 31(20): 6287-6294.

Wen Y, Zhao G Z, Zhou C B, Cao A X. Research progress of microbial agents in ecological engineering. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6287-6294.

生态工程领域微生物菌剂研究进展

文 娅¹, 赵国柱^{1,*}, 周传斌², 曹爱新²

(1. 北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083;

2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要:阐述了微生物菌剂在生态工程领域的应用范围、效果和国内外的研究状况,总结了目前微生物菌剂研制中菌种的选育方法和常用的几类菌,并通过系统举例介绍了乳酸菌、酵母菌、光合细菌、芽孢杆菌这些常用菌种在污染物处理方面的效果及在废水处理生态工程方面的相关研究进展。同时,阐明了微生物混合培养技术在复合菌剂研究中的重要性,对微生物菌剂的作用机理进行了探讨,指出了目前关于微生物菌剂的研究大多只是集中于应用效果方面,而对作用机理研究得不够深入,以及复合菌系中微生物相互作用和影响的复杂性,并对此提出了一些建议。最后,对微生物菌剂的应用前景进行了展望。

关键词:微生物菌剂; 混合培养; 乳酸菌; 酵母菌; 光合细菌; 芽孢杆菌

Research progress of microbial agents in ecological engineering

WEN Ya¹, ZHAO Guozhu^{1,*}, ZHOU Chuanbin², CAO Aixin²

1 College of Biological Science and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 State Key Laboratory of Urban and Region Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: Microbial agents especially those composed by a variety of microorganisms with different degradation functions and symbiotic relationship in an appropriate ratio or prepared by mixed culture were an important researching area in applied microbiology recently, which accomplish transforming scientific theories into practical productive forces. Microbial agents have been gradually used in some aspects of ecological engineering to regulate the ecological balance and protect the environment, such as planting, breeding and pollutant treatment, and have achieved good results, especially in environmental protection. Their significant advantages have been widely recognized. Using microorganisms to solve environmental pollution has a good prospect, that is why more and more people are committed to the research and development of microbial agents. Since 1970, some products of complex microbial agents were developed in Europe, America and Japan, and were started large scale productions. The microbial agents were firstly applied to treating sewage, industrial wastewater, and other chemical pollutions. In this paper, the applying scope, effects and mechanism of microbial agents in the field of ecological engineering were summarized, from international and domestic literatures. The strains breeding methods and several types of bacteria commonly used in the development of microbial agents are summed up. And the effects of wastewater treating projects of through applying lactic acid bacteria, yeast, photosynthetic bacteria, bacillus were introduced through some examples. Meanwhile, mixed microbial culture and the interacting mechanisms in the study of microbial agents were discussed. Many studies showed that the degradation or transform of organic matters needs cooperation by varies types of microorganisms, and the complex biological and chemical interaction could not be completed by single category microorganism. We pointed out that the current researches on microbial agents are mostly focused on the effect of application, but few of the current researches was related to the molecules of mechanism, which was demonstrated the

基金项目:中央高校基础研究经费项目资助(YX2011-25);国家自然科学基金资助项目(31093440,30700647);万通公益基金项目(VF09017)

收稿日期:2011-06-20; **修订日期:**2011-07-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaoguozhu2003@yahoo.com.cn

mutual interaction of different microbial strains. In future researches, the internal degradation and synergistic reaction should be developed, and the detail affecting objectives in different habitat of microbial agents should be determined. When the synergistic and anticatalytic mechanisms of complex microbial agents were clearly demonstrated in the aspects of microbial physiology and metabolism, the technology of mixed cultivation could be promoted, and the selection of microbial agents groups could be optimized, and the degrading functions of microbial agents could be best developed. In the future, people will pay more attention to the quality of environment, the safe and efficient microbial agents will increasingly be welcomed. With the continuous development of science and technology, microbial mixed culture techniques and the efficiency of microbial agents will keep improving, and the range of application will more and more extensive. Maybe it can become a kind of daily necessities and replace some cleaning products we use now, which can largely reduce environmental pollution.

Key Words: microbial agents; mixed culture; lactic acid bacteria; yeast; photosynthetic bacteria; bacillus

微生物菌剂尤其是由多种微生物组成的复合微生物菌剂的研究和应用是近年来发展起来的应用微生物学的一个重要内容。将几种具有不同降解功能和具有互生或共生关系的微生物以适当的比例进行组合或混合培养所配制的复合微生物菌剂应用于种植、养殖、环保等方面,可以调节生态平衡,保护生态环境,目前已逐步应用于各种生态工程领域,并取得了良好的效果,特别是在污染物处理方面,其显著优势已得到了广泛认可,越来越多的人开始致力于微生物菌剂的研究和开发。随着环境问题不断恶化以及近年来各种生物技术飞速发展,在生态工程领域利用微生物解决环境污染问题具有巨大的发展潜力。此外,微生物菌剂使用方便,经济安全,其开发和利用的市场前景十分广阔。

1 微生物菌剂的研究进展及应用范围

自 20 世纪 70 年代以来,欧、美、日本等国家或地区都相继研制成功了一些复合菌剂,很多已经开始进行大规模的生产,并形成了系列化的产品,主要用于处理生活污水,工农业废水以及其他一些化合物污染的治理^[1]。其中由日本琉球大学比嘉照夫教授于 20 世纪 80 年代初期研制的 EM(有效微生物群)菌剂是最成功的,已经在 90 多个国家广泛用于种植业、养殖业及环境净化方面,产生了显著的经济、生态和社会效益^[2-3]。由于微生物菌剂在一些发达国家研究和推广得较早,相关技术也较成熟,所以目前在发达国家的应用也更普遍。现在 EM 技术在我国主要用于养殖业和种植业,在环保方面的应用还处于相对滞后阶段^[4]。近年来,国外有关微生物菌剂的报道较少,也没有再出现像 EM 那样在全世界都引起很大效应的菌剂。

我国是从 20 世纪 80 年代才开始微生物菌剂的相关研究,从理论到实践,从单一菌种的利用到多个菌种的混合应用,相继取得了一些成果。如:我国已研制出功效显著且具有完全自主知识产权的“神威”微生态制剂,经过全国多地的实际应用,取得了良好的经济、社会和生态效应,在畜牧、水产养殖及垃圾、污水、粪便处理等方面都开始了广泛应用^[5];由北京沃土天地生物科技有限公司和中国农业大学资源与环境技术中心联合研制的 VT 系列复合微生物菌剂,能有效改善养殖水体水质条件,对养殖场、垃圾场、污水处理厂等的除臭均有明显效果;中国科学院成都生物研究所针对重金属工业废水和高浓度有机工业废水处理的技术难题,从自然界分离、纯化出多种功能性菌株,在深入研究其生理生化特点和生态功能的基础上,筛选、优化组配成具有去除重金属离子和去除高浓度有机物的两种环保生物菌剂,此外还开发出了一种处理炼油废水的微生物菌剂,并已申请了专利。

最近几年,国内有很多关于复合菌剂研制的报道,主要利用微生物净化环境,在除臭、水质净化等方面表现良好。罗永华等^[6]利用从垃圾填埋场附近的土壤中筛选出来的菌株制成了微生物除臭剂,它对氨气、硫化氢、总烃、臭气浓度的去除率分别可达到 83.3%、80.7%、62.5%、86.8%;施安辉等^[7]利用从水产养殖的优良水质中分离得到的优势菌种研制出水质净化剂,将其用于淡水鱼养殖池中,对降低水体中的 COD, NH₃-N, 亚硝酸盐等起到了理想的效果。但这些大都还处于试验研究与初步应用水平,还没有广泛应用于实际。

2 菌种的选育方法

根据需要直接选用具有相应降解功能的菌种,再按一定比例混合是配制微生物菌剂最常用的方法。选育菌种最简单的方法是从自然环境中筛选出有效的菌株,再配制复合菌剂,用于相应的污染场所的治理^[8-10]。随着生物学技术的发展,人们可以通过基因工程技术或原生质体融合等手段来构建或改造一些高效降解菌。Chen 等^[11]的研究表明,利用原生质体融合得到的子代细胞降解脱氢双香草醛的能力比亲株提高了 2—4 倍。Friello 等^[12]通过质粒转导技术将降解不同污染物的质粒转移到同一个菌株中,构建出能同时降解芳烃、萜烃、多环芳烃和脂肪烃等石油组分的菌株。Mondello 等^[13]采用定点基因突变技术修改多氯联苯降解菌株的联苯双加氧酶的序列,显著提高了降解菌株的底物范围和活性。

3 环保微生物菌剂中常用的有效菌

目前,国内外研制成功的微生物菌剂以及有关微生物菌剂的研究报道中使用最多的菌种主要是乳酸菌、酵母菌、光合细菌、芽孢杆菌等。

3.1 乳酸菌

从一些商品化的微生物菌剂成分和相关的文献报道中,可以了解到用于环保方面的复合微生物菌剂中大部分都添加了乳酸菌,但是单独利用乳酸菌降解污染物的报道较少。研究证明乳酸菌能有效降解环境中的亚硝酸盐成分,Oh 等^[14]研究了从泡菜中分离出的 4 株乳酸菌在不同温度下对亚硝酸盐的降解,结果表明随着温度升高降解的效果较好,在 30℃ 和 36℃ 时降解率超过 90.0%。李卓佳等^[15]的试验结果显示乳酸杆菌 LH 能使养殖废水和饲料中的 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 明显降低,对 COD 影响不大,却使 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度升高,提出乳酸菌应该与其它降解菌联用才能对水质净化起到较好效果。

乳酸菌发酵产生的乳酸有很强的杀菌能力,能有效抑制一些有害微生物的繁殖,加剧有机物的腐烂分解,还能促进木质素、纤维素等难分解的有机物的分解。研究人员依据乳酸菌的这些特点将其作为青贮接种菌应用到饲料青贮中,抑制不利于青贮发酵的微生物的生长,减少营养物质的损失,促进多糖与粗纤维的转化,从而有效提高青贮饲料的质量和性能。乳酸菌在青贮技术中的应用近几十年来一直都是国内外研究的热点^[16]。

3.2 酵母菌

Yoshizawa^[17-18]分别于 20 世纪 70 年代末和 80 年代初报道了利用酵母菌处理啤酒生产废水和食品加工废水,均取得了良好效果;Chigusa 等^[19]将从工业废水中分离得到的酵母菌接种到豆油废水中,结果表明废水的 COD、BOD 及油的去除率都达到 93% 以上;郑少奎等^[20-21]连续报道了利用酵母菌处理色拉油加工废水的研究结果,表明高浓度含油废水可以直接用酵母菌进行处理,在进水 COD 6000—7000mg/L、油 1500—1700 mg/L 时,COD 和油的去除率分别达到 94% 和 98%;而且酵母菌在处理废水时产生的剩余污泥富含蛋白质和多种氨基酸,可以回收用作饲料蛋白^[22]。目前,日本已成功利用酵母菌处理多种工业废水。

近年来,我国也相继开展了酵母菌处理废水的相关技术和应用研究,取得了一定的进展。Zheng 等^[23]进行混合酵母菌处理高浓度色拉油加工废水的研究,使废水中油脂的去除率达到了 98%,COD 也下降了 90% 以上。韩云等^[24]的研究发现在酵母菌处理色拉油加工废水系统中,投加氮源能提高油脂的去除率,同时也发现,色拉油加工废水中氮缺乏是引起污泥膨胀的主要原因。吴兰等^[25]用解脂酵母菌处理不同来源的含油废水,发现它对油脂类废水的降解效率高,对石油类废水的降解效率低。

酵母菌对环境污染物的去除还表现在以下几个方面:(1)对染料具有吸附脱色作用:Meehan 等^[26]发现耐热酵母 *Kluyveromyces marxianus* IMB3 在 37℃,pH 3.0—5.5 之间时,对 Remazol Black-B 的最高脱色效率可达到 98%;Angelis 等^[27]报道了一株假丝酵母在染料浓度为 100mg/L 时,2h 对 Procyon Black、Procyon Blue、Procyon Red、Procyon Orange 的吸附率均超过 94%;Kakuta 等^[28]还报道了能对偶氮染料进行降解脱色的酵母菌 *Candida curvata* AN723。(2)对 Hg^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cr^{2+} 等多种重金属离子具有吸附作用,并且死菌和活菌都具有吸附能力^[29-30]。(3)能降解三硝基甲苯(TNT)、苯酚和甲胺磷等污染物,还能提高一些有机物的降解速率,如赵

振焕等^[31]研究酵母菌对厨余垃圾厌氧发酵产乙酸的影响,发现接种酵母菌后,垃圾的水解速率明显提高。

3.3 光合细菌

光合细菌分布广泛,代谢途径灵活,能利用不同的有机物作为供氢体和碳源来合成自身的物质,因此对多种有机物具有分解转化的能力^[32]。国内外的研究发现光合细菌普遍具有降解卤代化合物和芳香化化合物的能力,对其中的一些降解途径的研究也取得了一些成果^[33]。

大量研究表明光合细菌对高浓度的有机废水可以起到明显的净化作用,对降低水体中的 COD 具有显著优势。谢红刚等^[34]用光合细菌处理啤酒废水,当光合细菌投加量在 30mL/L 时处理效果最佳,温度控制在 20—30℃ 为宜,其 COD 的去除率高达 80%。郑耀通^[35]研究表明:在中性 pH 环境,25—30℃,好氧光照条件下光合细菌对黄泔水去除效率最高,经过 96h 的处理,可使预先经过 24h 曝气的 COD 浓度为 25820mg/L 的黄泔水去除率达 98.7%。Young 等^[36]从猪废物的污水池中分离得到一株紫色非硫菌株,通过光合作用能够使污水池中不稳定的有机化合物减少 80%—93%,并显著改善垃圾池的气味。Nagadomi 等^[37]利用光合细菌在好氧条件下使污水的 COD 和硝酸盐含量大幅降低。目前,光合细菌已广泛用于多种工业废水的处理并取得了显著成效^[32]。

3.4 芽孢杆菌

一直以来,国内外很多文献都报道了芽孢杆菌具有降解有机污染物的作用,现在已经证实除了多环芳烃、苯酚、硝基苯等有机污染物之外,芽孢杆菌对一些有机磷农药和石油污染物也能起到良好的降解效果。最近几年,大量的研究集中在芽孢杆菌对各种工业废水的净化方面,目前已取得了较好的试验效果。Dawkar 等^[38]的研究发现芽孢杆菌 VUS 产生的各种酶对工业染料橙黄 T4LL 可以起到有效脱色作用,并提出芽孢杆菌 VUS 也能用于纺织废水的处理。Oliveira 等^[39]将短小芽孢杆菌和类芽孢杆菌用于造纸厂污水的脱色,发现在 PH=9 时,单独接种以上两种菌,48 h 后,脱色率分别达到 41.87% 和 42.30%,COD 分别下降 22.00% 和 22.89%。Gopinath 等^[40]报道了从制革工业废水中分离驯化得到的芽孢杆菌菌株可以提高偶氮染料刚果红的降解效率,并得出实验的最佳 pH 和温度分别是 7.0℃ 和 37℃。Singh 等^[41]将芽孢杆菌和粘质沙雷氏菌混合培养用来处理造纸厂废水,168h 时废水中五氯酚的降解高达 94%,可用于被五氯酚污染的环境修复。此外,枯草芽孢杆菌等还能降低养殖水体中亚硝酸盐、硫化物及氨氮的含量,明显改善水质,从而节约养殖成本和提高水产品质量^[42-43]。

除了以上特点,好氧的芽孢杆菌在混合培养时能迅速消耗环境中的氧气,促进乳酸菌等厌氧微生物的生长,这也许是复合菌剂中广泛添加芽孢杆菌的另一个原因。也许是相关技术还不成熟,虽然利用芽孢杆菌处理各种废水的研究很多,效果也不错,但却还没有像光合细菌和酵母菌那样在工业生产中得到广泛应用。

4 微生物菌剂的混合培养

4.1 混合培养的重要性

大量的研究证明很多有机物的降解或转化需要多种微生物的协同作用才能完成,降解过程中发生的一些重要的生化反应仅用单一菌株是不能或只能微弱的进行的。Chapalamadugu 等^[44]研究发现,一种 N-甲基氨基甲酸酯类杀虫剂需要两株假单胞菌 *Pseudomonas* spp. 50581 和 50552 的共同作用才能彻底降解,50581 只能将其降解为萘酚,需要靠 50552 菌株才能将萘酚再转化为 CO₂。Murray^[45]研究纤维素分解时将 *Bacteroides cellulosolvens* 和 *Clostridium saccharolyticum* 混合培养,发现前者分解纤维素的中间代谢产物可以被后者利用作为生长所需的碳源,同时后者又消除了前者分解纤维素过程中的反馈抑制,二者互相利用,促进代谢,从而提高纤维素的分解利用效率。Boonchan 等^[46]将真菌 (*Penicillium janthinellum* VUO 10, 201) 和细菌 (*Stenotrophomonas maltophilia* VUN 10,010 和 bacterial consortium VUN 10,009) 共同培养,接种到含多环芳烃的水体和土壤中,明显提高了多环芳烃的降解。张晓伦等^[47]发现将分离得到的 3 株分别为纤维单孢菌属、木霉属和青霉属的菌株分别两两组合,组成的混合菌对纤维素的分解能力均明显高于其中任何单一菌种,并且混合菌株达到最高纤维素酶活的时间也比单一菌种提前了。

因此,微生物混合培养技术非常重要,它是复合菌剂研制的理论基础和关键步骤。随着工农业生产的迅速发展和产业结构的变化,将会出现越来越多结构复杂的化合物,大多对环境有毒害作用,其生物降解过程更是需要多种微生物的参与。所以,利用微生物混合培养制成的复合菌剂比单一菌株制剂在实际生产生活中更具有重要意义。

4.2 混合培养的应用

1991年在台湾获得专利的 HSB 技术,就是微生物之间互相依赖形成特殊的分解链,具有高效净化水质的功能,已广泛应用于焦化废水、印染废水、生活污水的处理^[48]。现在很多商品化的复合菌剂也是利用微生物混合培养生产的,例如 EM 菌剂,各种厌氧和好氧的微生物通过共生增殖,形成复杂稳定的生物菌群,共同抑制有害微生物的生长繁殖,促进有机物的分解代谢^[5]。另外,还有多种维生素、氨基酸、有机酸等都可以利用微生物混合培养生产^[49]。

5 微生物菌剂应用于生态工程领域的作用机理

目前,对于某些单个微生物降解某种有机物的代谢途径研究得比较深入,但关于微生物菌剂应用于生态领域如污水净化、除臭等方面的研究主要集中在作用效果方面,其具体作用机理却很少有相关报道。

环境微生物菌剂应用于生态工程领域的基本原理是利用微生物本身及其代谢产物将环境中的污染物分解,这是一种由一系列物理、化学和生物反应所组成的极其复杂的过程。从相关研究来看^[50-52],微生物菌剂在环境保护方面的作用机理可能是以下 3 个方面:(1)微生物通过代谢反应将污染物氧化分解为 CO₂ 和 H₂O 等终产物或转化为微生物的营养物质,促进自身的生长繁殖,就像光合细菌和芽孢杆菌等能将 H₂S 转化成自身生长所需要的硫元素。(2)微生物的比表面积大并含有多糖类黏性物质,可以吸附环境中的一些污染物。(3)当环境中投加微生物菌剂后,这些微生物成为了环境中的优势菌,它们能有效抑制一些病原菌和腐败菌的生长,如乳酸菌等成为优势菌后就能抑制体系中大肠杆菌等的生长,从而减少氨气及臭味的产生^[53]。

6 微生物菌剂研究存在的问题及技术难点

迄今为止,国内外的相关报道对微生物菌剂的研究都存在一个相同的问题,就是应用效果研究的多,作用机理研究得少。对应用效果的解释还只是停留在概念性阐述的水平上,没有涉及到分子机理方面的研究,对复合菌剂中各种菌之间的相互关系和影响的研究也远不够深入。复合菌剂的组成复杂多样,其中的微生物更容易受到群体结构和环境因素的影响,导致微生物菌剂的稳定性下降,从而使菌剂的保质期和作用效果受到影响^[54-55]。由于在混合菌系中各种微生物之间的相互作用和影响,它们的代谢途径或代谢底物可能会发生改变,使得微生物的生长繁殖过程变得十分复杂,并且混合培养条件下的各项参数的最佳值与每种微生物单独培养时也不相同,这些都会给研究过程带来许多困扰。

在未来的研究中,应该加强微生物菌剂作用机理的探索,明确它们在不同环境中的具体作用对象,从微生物的生理、生化及代谢等方面研究混合菌系中微生物之间的协同或抑制机制,只有这样才能不断改进微生物混合培养技术,筛选最佳的菌种组合,发挥微生物群体的最大功效。

7 展望

未来,人们对环境质量的要求会越来越高,经济高效的环保产品也将愈加受到重视。随着各种科学技术的不断发展,人们会逐渐探索出微生物在不同环境条件下的相互影响,混合培养技术和微生物菌剂的功效也将不断得到提高,应用的领域也会更加广泛。将来,也许它会成为日常用品走进普通百姓的家庭替代人们现在使用的一些化学类清洁产品,这也能在很大程度上减少对环境的污染。

References:

- [1] Zhu Y G, Yang L, Zhang H Y, Liao Y Z, Li X D. Progress of research and development of microorganisms agents for bioaugmentation. *Sichuan Environment*, 2004, 23(3): 5-8.
- [2] Zheng J B. The application development and prospects of complex microbial agents. *Gansu Farming*, 2001, (3): 26-27.
- [3] Chen L Y, Zhang C X, Xie X W, Feng H. The application and research of Effective Microorganisms. *Journal of Microbiology*, 2000, 20(2):

54-59.

- [4] Yang H J, Tan X D, Ye Z X. Research progress of application of EM technology to water environment protection in China. *Journal of Chengdu University of Information Technology*, 2006, 21(3): 445-448.
- [5] Li W J. *The Applied Research of Microbial Ecological Agent*. Beijing: Chemical Industry Press, 2007:34-36.
- [6] Luo Y H, Deng S E, Sun G P. Odor-removal experiments conducted with a new-type of microbial deodorizer. *Urban Environment and Urban Ecology*, 2003, 16(3): 23-25.
- [7] Shi A H, Bian J P, Han F X, Guan B, Shi Y L, Liu J. Selection, preparation and application of microorganism with highly effective water purification. *China Brewing*, 2010, (2): 54-56.
- [8] Parales R E, Adamus J E, White N, May H D. Degradation of 1, 4-dioxane by an actinomycete in pure culture. *Applied and Environmental Microbiology*, 1994, 60(12): 4527-4530.
- [9] Le Y Q, Zhu H G, Wang S F. Isolation and identification on a strain of high-efficient dye decolorizing bacteria and their characteristics of decolorization. *Shanghai Environmental Sciences*, 2003, 22(8): 556-558.
- [10] Sorkhoh N A, Ghannouma M A, Ibrahim A S, Stretton R J, Radwan S S. Crude oil and hydrocarbon-degrading strains of *Rhodococcus rhodochrous* isolated from soil and marine environments in Kuwait. *Environmental Pollution*, 1990, 65(1): 1-17.
- [11] Chen W, Ohmiya K, Shimizu S. Intergeneric protoplast fusion between *Fusobacterium varium* and *Enterococcus faecium* for enhancing dehydrodivanillin degradation. *Applied and Environmental Microbiology*, 1987, 53(3): 542-548.
- [12] Friello D A, Mylorie J R, Chakrabarty A M. Use of genetically engineered multi-plasmid microorganisms for rapid degradation of fuel hydrocarbons. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2001, 48(1/4): 232-242.
- [13] Mondello F J, Turcich M P, Lobos J H, Erickson B D. Identification and modification of biphenyl dioxygenase sequences that determine the specificity of polychlorinated biphenyl degradation. *Applied and Environmental Microbiology*, 1997, 63(8): 3096-3103.
- [14] Oh C K, Oh M C, Kim S H. The depletion of sodium nitrite by lactic acid bacteria isolated from Kimchi. *Journal of Medicinal Food*, 2004, 7(1): 38-44.
- [15] Li Z J, Zhou H P, Yang Y Y, Hong M N, Liang X H. The degradation of aquaculture contaminants by LH (*Lactobacillus* spp.). *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(1): 342-349.
- [16] Li M H, Chen Z L, Nan Z Q. Research progress of LAB additives. *Tibet's Science and Technology*, 2008, (11): 65-67.
- [17] Yoshizawa K. Treatment of waste-water discharged from a sake brewery using yeast. *Journal of Fermentation Technology*, 1978, 56(4): 389-395.
- [18] Yoshizawa K. Development of the new treating method of waste water from food industry using yeast. *Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan*, 1981, 55(8): 705-711.
- [19] Chigusa K, Hasegawa T, Yamamoto N. Treatment of wastewater from oil manufacturing plant by yeasts. *Water Science and Technology*, 2001, 34(11): 51-58.
- [20] Zheng S K, Wang Y M, Yan H, Yang M. Treatment of salad oil wastewater by yeast. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 1999, 5(S1): 109-112.
- [21] Zheng S K, Yang M, Liu F. Primary studies on laboratory-scale continuous treatment of salad oil manufacturing wastewater by yeasts. *China Environmental Science*, 2001, 21(4): 347-350.
- [22] Yang Q X, Jia Z J, Pan F, Yang M. Application of yeasts in wastewater treatment. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, 2005, 6(2): 1-4.
- [23] Zheng S K, Yang M, Li P R. Seed yeast cultivation for salad oil manufacturing wastewater treatment. *Journal of Environmental Sciences*, 2002, 14(1): 39-43.
- [24] Han Y, Yang Q X, Yang M, Zhang Y, Zheng S K. Bulking controls induced by nitrogen insufficiency in yeast system. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2003, 24(4): 68-72.
- [25] Wu L, Luo Y P, Wan J B, Li S G. Use of *Yarrowia Lipolytica* for the treatment of Oil/Grease Wastewater. *Research of Environmental Sciences*, 2006, 19(5): 122-125.
- [26] Meehan C, Banat I M, McMullan G, Nigam P, Smyth F, Marchant R. Decolorization of Remazol Black-B using a thermotolerant yeast, *Kluyveromyces marxianus* IMB3. *Environment International*, 2000, 26(1/2): 75-79.
- [27] Angelis D F, Rodrigues G S. Azo Dyes removal from industrial effluents using yeast biomass. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, 1987, 30(2): 301-309.
- [28] Kakuta T, Aoki F, Okada T, Shindo H, Yoshizawa K, Koizumi T, Nojiri K. Purification and properties of two different azoreductases from a yeast *Candida curvata* AN723. *Sen'I Gakkaishi*, 1998, 54(1): 18-25.
- [29] Li M C, Jiang H, Hou W Q, Xing L J. Study on heavy metal biosorption of yeasts. *Mycosystema*, 1998, 17(4): 367-373.

- [30] Gökşungur Y, Üren S, Güvenç U. Biosorption of cadmium and lead ions by ethanol treated waste baker's yeast biomass. *Bioresource Technology*, 2005, 96(1): 103-109.
- [31] Zhao Z H, Jin C J, Zhang P, Tian G B. Influence of yeast on anaerobic fermentation of kitchen waste for producing acetic acid. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2009, 3(10): 1885-1887.
- [32] Han M, Chen X S, Zhang L, Wang Y J. Photosynthetic bacteria and their applied situation. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2002, 33(5): 387-389.
- [33] Lü H, Zhou J T, Wang J. Review of organic contaminant degradation by photosynthetic bacteria. *Industrial Water Treatment*, 2003, 23(10): 9-11.
- [34] Xie H G, Wang S F, Chu R. Treatment of brewery wastewater with photosynthetic bacteria. *Industrial Water and Wastewater*, 2006, 37(5): 38-40.
- [35] Zheng Y T, Wu X P, Gao S F. A study on the treatment of bean products wastewater with photosynthetic bacteria. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis: Natural Sciences Edition*, 2002, 24(3): 393-397.
- [36] Do Y S, Schmidt T M, Zahn J A, Boyd E S, de la Mora A, DiSpirito A A. Role of *Rhodobacter* sp. strain PS9, a purple non-sulfur photosynthetic bacterium isolated from an anaerobic swine waste lagoon, in odor remediation. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(3): 1710-1720.
- [37] Nagadomi H, Takahashi T, Sasaki K, Yang H C. Simultaneous removal of chemical oxygen demand and nitrate in aerobic treatment of sewage wastewater using an immobilized photosynthetic bacterium of porous ceramic plates. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2000, 16(1): 57-62.
- [38] Dawkar V V, Jadhav U U, Tamboli D P, Govindwar S P. Efficient industrial dye decolorization by *Bacillus* sp. VUS with its enzyme system. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2010, 73(7): 1696-1703.
- [39] Oliveira P L, Duarte M C T, Ponezi A N, Durrant L R. Use of *Bacillus pumilus* CBMAI 0008 and *Paenibacillus* sp. CBMAI 868 for colour removal from paper mill effluent. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2009, 40(2): 354-357.
- [40] Gopinath K P, Sahib H A M, Muthukumar K, Velan M. Improved biodegradation of Congo red by using *Bacillus* sp.. *Bioresource Technology*, 2009, 100(2): 670-675.
- [41] Singh S, Chandra R, Patel D K, Reddy M M K, Rai V. Investigation of the biotransformation of pentachlorophenol and pulp paper mill effluent decolorisation by the bacterial strains in a mixed culture. *Bioresource Technology*, 2008, 99(13): 5703-5709.
- [42] Hu Y M, Ge X Y, Liang Y X. Water purification functions of the strain *Bacillus subtilis* FY99-01. *Journal of Huazhong Agriculture University*, 2006, 25(4): 404-407.
- [43] Yin W L, Shen J Y, Shen Z H, Cao Z, Pan X Y, Wu Y L. Research of *Bacillus subtilis* B115 on the improving results of water quality. *Fishery Modernization*, 2006, (6): 9-11.
- [44] Chapalamadugu S, Chaudhry G R. Hydrolysis of carbaryl by a *Pseudomonas* sp. and construction of a microbial consortium that completely metabolizes carbaryl. *Applied and Environmental Microbiology*, 1991, 57(3): 744-750.
- [45] Murray W D. Symbiotic Relationship of *Bacteroides cellulosolvens* and *Clostridium saccharolyticum* in Cellulose Fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 1986, 51(4): 710-714.
- [46] Boonchan S, Britz M L, Stanley G A. Degradation and mineralization of high-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons by defined fungal-bacterial cocultures. *Applied and Environmental Microbiology*, 2000, 66(3): 1007-1019.
- [47] Zhang X L, Liu X, Rao Z C. The mixed culture and ability of cellulolytic microbes. *Journal of Nanchang University: Natural Science*, 2005, 29(5): 500-502.
- [48] Chen H, Yan L H, Wang Y, Zhou S F. Progress in the research highly effective degrading bacteria of the refractory organics wastewater. *Industrial Water Treatment*, 2005, 25(4): 17-20.
- [49] Feng S, Zhou Y Q, Zhang Z Z. Mixed cultured microbial resources and their utilization. *Microbiology*, 2001, 28(3): 92-95.
- [50] Zhao J, Zhao X X, Lu D. Cultivation of compound microbial flocculant and its application in printing and dyeing wastewater treatment. *Industrial Water and Wastewater*. 2008, 39(6): 71-74.
- [51] Zou G X, Liu L. Transformation and elimination of nitrogen and organic compound in wastewater by compound microbial. *Journal of University of South China: Science and Technology*, 2007, 21(2): 79-82.
- [52] Wei Z H, Zhang X X, Ren Q, Hu Y, Wu H Z. The water pollution control of persistent organic pollutants: adsorption concentration, biological degradation and process analysis. *Environmental Chemistry*, 2011, 30(1): 300-309.
- [53] Chen J H, Wang M L, Zhou Z H, Zhang S Y, Sun Z H, Wang S Z. Isolation of effective microorganisms and the odor elimination tests. *Chia-Nan Annual Bulletin*, 2009, 35(35): 191-198.

- [54] Yang Y H, Wang B C, Shi L C, Wang Q H. Development of researching the synthetical application of compound microorganisms. *Journal of Chongqing University(Natural Science Edition)*, 2003, 26(6): 81-85.
- [55] Ding Q W, Huo L J, Yang G Q, Liu H F, Qian T W. Research on the regularity of the growth of microorganisms in wastewater treatment. *Journal of Taiyuan University of Science and Technology*, 2011, 32(2): 163-165.

参考文献:

- [1] 朱永光, 杨柳, 张火云, 廖银章, 李旭东. 微生物菌剂的研究与开发现状. *四川环境*, 2004, 23(3): 5-8.
- [2] 郑健斌. 复合微生物菌剂的应用与发展前景. *甘肃农业*, 2001, (3): 26-27.
- [3] 陈丽媛, 张翠霞, 谢玺文, 冯华. 有效微生物群 EM 的应用及研究现状. *微生物学杂志*, 2000, 20(2): 54-59.
- [4] 杨怀金, 谭显东, 叶芝祥. EM 技术在我国水环境保护中的应用研究进展. *成都信息工程学院学报*, 2006, 21(3): 445-448.
- [5] 李维炯. 微生态制剂的应用研究. 北京: 化学工业出版社, 2007:34-35.
- [6] 罗永华, 邓穗儿, 孙国平. 一种新型微生物除臭剂的垃圾除臭实验. *城市环境与城市生态*, 2003, 16(3): 23-25.
- [7] 施安辉, 卞建平, 韩璠修, 冠冰, 施亚林, 刘军. 高效水质净化剂菌种的选育、制剂研制及应用. *中国酿造*, 2010, (2): 54-56.
- [9] 乐毅全, 朱核光, 王士芬. 高效染料脱色菌的分离鉴定及其脱色特性. *上海环境科学*, 2003, 22(8): 556-558.
- [15] 李卓佳, 周海平, 杨莺莺, 洪敏娜, 梁晓华. 乳酸杆菌 (*Lactobacillus* spp.) LH 对水产养殖污染物的降解研究. *农业环境科学学报*, 2008, 27(1): 342-349.
- [16] 李梦寒, 陈芝兰, 南志强. 乳酸菌青贮添加剂的研究进展. *西藏科技*, 2008, (11): 65-67.
- [20] 郑少奎, 汪声明, 闫海, 杨敏. 酵母菌处理高浓度色拉油加工废水研究. *应用与环境生物学报*, 1999, 5(S1): 109-112.
- [21] 郑少奎, 杨敏, 刘芳. 利用酵母菌处理色拉油加工废水连续小试初探. *中国环境科学*, 2001, 21(4): 347-350.
- [22] 杨清香, 贾振杰, 潘峰, 杨敏. 酵母菌在废水处理中的应用. *环境污染治理技术与设备*, 2005, 6(2): 1-4.
- [24] 韩云, 杨清香, 杨敏, 张昱, 郑少奎. 酵母菌处理系统中氮缺乏引起的污泥膨胀控制. *环境科学*, 2003, 24(4): 68-72.
- [25] 吴兰, 罗玉萍, 王金保, 李思光. 解脂耶氏酵母菌处理含油废水的研究. *环境科学研究*, 2006, 19(5): 122-125.
- [29] 李明春, 姜恒, 侯文强, 邢来君. 酵母菌对重金属离子吸附的研究. *菌物系统*, 1998, 17(4): 367-373.
- [31] 赵振焕, 金春姬, 张鹏, 田国宾. 酵母菌对厨余垃圾厌氧发酵产乙酸的影响. *环境工程学报*, 2009, 3(10): 1885-1887.
- [32] 韩梅, 陈锡时, 张良, 王跃晶. 光合细菌研究概况及其应用进展. *沈阳农业大学学报*, 2002, 33(5): 387-389.
- [33] 吕红, 周集体, 王竞. 光合细菌降解有机污染物的研究进展. *工业水处理*, 2003, 23(10): 9-11.
- [34] 谢红刚, 王三反, 褚润. 光合细菌对啤酒废水处理的研究. *工业用水与废水*, 2006, 37(5): 38-40.
- [35] 郑耀通, 吴小平, 高树芳. 光合细菌处理高浓度黄泔水试验研究. *江西农业大学学报: 自然科学版*, 2002, 24(3): 393-397.
- [42] 胡咏梅, 葛向阳, 梁运祥. 枯草芽孢杆菌 FY99-01 菌株的净水作用. *华中农业大学学报*, 2006, 25(4): 404-407.
- [43] 尹文林, 沈锦玉, 沈智华, 曹铮, 潘晓艺, 吴颖蕾. 枯草芽孢杆菌 B115 株对水质改良效果研究. *现代渔业化*, 2006, (6): 9-11.
- [47] 张晓伦, 刘旭, 饶泽昌. 高效纤维素分解菌混合培养及其降解能力. *南昌大学学报: 理科版*, 2005, 29(5): 500-502.
- [48] 陈华, 严莲荷, 王瑛, 周申范. 难降解有机废水的高效优势菌的研究进展. *工业水处理*, 2005, 25(4): 17-20.
- [49] 冯树, 周樱桥, 张忠泽. 微生物混合培养及其应用. *微生物学通报*, 2001, 28(3): 92-95.
- [52] 韦朝海, 张小璇, 任源, 胡芸, 吴海珍. 持久性有机污染物的水污染控制: 吸附富集, 生物降解与过程分析. *环境化学*, 2011, 30(1): 300-309.
- [54] 杨艳红, 王伯初, 时兰春, 王庆红. 复合微生物制剂的综合利用研究进展. *重庆大学学报(自然科学版)*, 2003, 26(6): 81-85.
- [55] 丁庆伟, 霍丽娟, 杨改强, 刘宏芳, 钱天伟. 废水治理中微生物的生长规律研究. *太原科技大学学报*, 2011, 32(2): 163-165.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 20 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)

Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)

Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)

Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)

Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)

Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)

Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security: a case study of Jiansanjiang land reclamation area LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)

Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)

Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)

Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)

Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)

Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts LAN Wenlu (5970)

Response of radial growth Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)

Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)

Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute WANG Yating, FAN Lianlian (5992)

Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis* LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)

Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)

Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)

Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)

Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)

Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)

Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu; a FACE study	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd ²⁺	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd ²⁺ using the fruiting bodies of two macrofungi	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i>	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae)	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks; the case of Huaibei City	CHANG Hsiaoifei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model; a case study of Gansu Province, China	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
Review and Monograph	
A prospect for study on isolated wetland	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

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 20 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 20 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
主 管 中国科学技术协会
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

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
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
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@espg.net

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China
Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

订 购 全国各地邮局
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

Domestic All Local Post Offices in China
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