

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 19 期 Vol.32 No.19 **2012**

中国生态学会
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 32 卷 第 19 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

中国野生东北虎数量监测方法有效性评估	张常智, 张明海, 姜广顺 (5943)
城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例	于 洋, 崔胜辉, 赵胜男, 等 (5953)
珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构	袁俏君, 苗素英, 李恒翔, 等 (5962)
2010 年夏季雷州半岛海岸带浮游植物群落结构特征及其与主要环境因子的关系	 (5972)
阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颞的形态差异	龚玉艳, 张才学, 孙省利, 等 (5972)
黄河三角洲滨海草甸与土壤因子的关系	方 舟, 陈新军, 陆化杰, 等 (5986)
盘锦湿地净初级生产力时空分布特征	谭向峰, 杜 宁, 葛秀丽, 等 (5998)
菜豆根瘤菌对土壤钾的活化作用	王莉雯, 卫亚星 (6006)
花生植株和土壤水浸液自毒作用研究及土壤中自毒物质检测	张 亮, 黄建国, 韩玉竹, 等 (6016)
遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响	黄玉茜, 韩立思, 杨劲峰, 等 (6023)
火干扰对小兴安岭草丛、灌丛沼泽温室气体短期排放的影响	吕晋慧, 王 玄, 冯雁梦, 等 (6033)
古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类	顾 韩, 牟长城, 张博文, 等 (6044)
黄土高原樟子松和落叶松与其他树种枯落叶混合分解对土壤的影响	张 荣, 刘 彤 (6056)
长期集约种植对雷竹林土壤氨氧化古菌群落的影响	李 茜, 刘增文, 米彩红 (6067)
H ₂ O ₂ 参与 AM 真菌与烟草共生过程	秦 华, 刘卜榕, 徐秋芳, 等 (6076)
北京山区防护林优势树种分布与环境的的关系	刘洪庆, 车永梅, 赵方贵, 等 (6085)
旱直播条件下强弱化感潜力水稻根际微生物的群落结构	邵方丽, 余新晓, 郑江坤, 等 (6092)
不同森林类型根系分布与土壤性质的关系	熊 君, 林辉锋, 李振方, 等 (6100)
臭氧胁迫下硅对大豆抗氧化系统、生物量及产量的影响	黄 林, 王 峰, 周立江, 等 (6110)
垃圾填埋场渗滤液灌溉对土壤理化特征和草本花卉生长的影响	战丽杰, 郭立月, 宁堂原, 等 (6120)
稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响	王树芹, 赖 娟, 赵秀兰 (6128)
不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及 CO ₂ 排放量的影响	郑建初, 张岳芳, 陈留根, 等 (6138)
北方农牧交错区农业生态系统生产力对气候波动的响应——以准格尔旗为例	张俊丽, 高明博, 温晚霞, 等 (6147)
.....	孙特生, 李 波, 张新时 (6155)
辽宁省能源消费和碳排放与经济增长的关系	康文星, 姚利辉, 何介南, 等 (6168)
基于 FARSITE 模型的丰林自然保护区潜在林火行为空间分布特征	吴志伟, 贺红士, 梁 宇, 等 (6176)
不同后作生境对玉米地天敌的冬季保育作用	田耀加, 梁广文, 曾 玲, 等 (6187)
云南紫胶虫种群数量对地表蚂蚁多样性的影响	卢志兴, 陈又清, 李 巧, 等 (6195)
阿波罗绢蝶种群数量和垂直分布变化及其对气候变暖的响应	于 非, 王 吟, 王绍坤, 等 (6203)
专论与综述	
海水养殖生态系统健康综合评价: 方法与模式	蒲新明, 傅明珠, 王宗灵, 等 (6210)
海草场生态系统及其修复研究进展	潘金华, 江 鑫, 赛 珊, 等 (6223)
水华蓝藻对鱼类的营养毒理学效应	董桂芳, 解绶启, 朱晓鸣, 等 (6233)
环境胁迫对海草非结构性碳水化合物储存和转移的影响	江志坚, 黄小平, 张景平 (6242)
生态免疫学研究进展	徐德立, 王德华 (6251)
研究简报	
喀斯特峰丛洼地不同森林表层土壤有机质的空间变异及成因	宋 敏, 彭晚霞, 邹冬生, 等 (6259)
准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征	吕朝燕, 张希明, 刘国军, 等 (6270)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10



封面图说: 岸边的小白鹭——鹭科白鹭属共有 13 种, 其中有大白鹭、中白鹭、白鹭 (小白鹭)、黄嘴白鹭等, 体羽皆是全白, 世通称白鹭。夏季的白鹭成鸟繁殖时枕部着生两条狭长而软的矛状羽, 状若双辫, 肩和胸着生蓑羽, 冬季时蓑羽常全部脱落, 白鹭虹膜黄色, 嘴黑色, 脚部黑色, 趾呈黄绿色。小白鹭常常栖息于稻田、沼泽、池塘水边, 以及海岸浅滩的红树林里。白天觅食, 好食小鱼、蛙、虾及昆虫等。繁殖期 3—7 月。繁殖时成群, 常和其他鹭类在一起, 雌雄均参加营巢, 次年常到旧巢处重新修葺使用。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201108271252

谭向峰, 杜宁, 葛秀丽, 王炜, 王仁卿, 蔡云飞, 王越, 王成栋, 卢鹏林, 刘月良, 朱书玉, 王伟华, 郭卫华. 黄河三角洲滨海草甸与土壤因子的关系. 生态学报, 2012, 32(19): 5998-6005.

Tan X F, Du N, Ge X L, Wang W, Wang R Q, Cai Y F, Wang Y, Wang C D, Lu P L, Liu Y L, Zhu S Y, Wang W H, Guo W H. Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(19): 5998-6005.

黄河三角洲滨海草甸与土壤因子的关系

谭向峰^{1,2}, 杜宁³, 葛秀丽³, 王炜^{1,2}, 王仁卿^{1,2,3}, 蔡云飞^{1,2}, 王越^{1,2},
王成栋^{1,2}, 卢鹏林^{1,2}, 刘月良⁴, 朱书玉⁴, 王伟华⁴, 郭卫华^{1,2,*}

(1. 山东大学生态学与生物多样性研究所, 济南 250100; 2. 山东大学山东省植被生态工程技术中心, 济南 250100;
(3. 山东大学环境研究院, 济南 250100; 4. 山东黄河三角洲国家级自然保护区管理局, 东营 257091)

摘要:黄河三角洲滨海草甸群落的分布和变化与土壤因子密切相关。于 2010 年 6 月对黄河三角洲的草甸植被进行了样方调查, 并对土壤进行了取样分析。在所调查的 67 个草本样方中, 共出现 52 种植物。利用典范对应分析(CCA)分析了 9 种土壤因子与草甸群落分布的关系, 结果显示, 前两轴总共解释了物种-环境关系方差的 46.4%, 土壤含水率和电导率对群落分布的影响最大。双向指示种分析(TWINSPAN)将 67 个样方分为 7 种群落类型, 将其标示在 CCA 排序图上后, 沿第一轴分成三大类群: 盐地碱蓬群落→芦苇-盐地碱蓬群落→其他草甸群落, 这反映了黄河三角洲滨海草甸群落在盐分梯度上的演替规律。相关分析显示, 物种多样性指数与土壤电导率、速效钾和速效磷呈极显著负相关($P < 0.01$), 与 pH 值呈显著正相关($P < 0.05$)。解释了黄河三角洲滨海草甸群落与土壤因子的关系和变化规律, 对黄河三角洲植被保护和恢复有一定的指导意义。

关键词:黄河三角洲; 草甸; 土壤因子; 双向指示种分析; 典范对应分析

Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta

TAN Xiangfeng^{1,2}, DU Ning³, GE Xiuli³, WANG Wei^{1,2}, WANG Renqing^{1,2,3}, CAI Yunfei^{1,2}, WANG Yue^{1,2},
WANG Chengdong^{1,2}, LU Penglin^{1,2}, LIU Yueliang⁴, ZHU Shuyu⁴, WANG Weihua⁴, GUO Weihua^{1,2,*}

1 Institute of Ecology and Biodiversity, School of Life Science, Shandong University, Jinan, Shandong Province 250100, China

2 Shandong Provincial Engineering and Technology Research Center for Vegetation Ecology, Shandong University, Jinan, Shandong Province 250100, China

3 Institute of Environment Research, Shandong University, Jinan, Shandong Province 250100, China

4 Shandong Yellow River Delta National Nature Reserve Authority, Dongying, Shandong Province 257091, China

Abstract: The Yellow River Delta, one of China's three major river deltas, has recently been the subject of numerous important research projects. Soil is an important environmental factor in the delta and heavily influences plant physiology and vegetation distribution. In previous studies, soil salinity and moisture have been proven to be main driving forces of terrestrial vegetation succession in the Yellow River Delta. However, vegetation in the Yellow River Delta is prone to retrograde succession and secondary succession resulting from both natural forces and human disturbance. Currently, changing salinity patterns and soil conditions in the Yellow River Delta are causing a deeper penetration of salinity into the soil. This change in soil salinity has been brought on by a rise in sea level and other natural or societal causes such as dredging, shoreline modifications, and so on, and the local vegetation is adapting to these changes out of necessity. Our research looked at the relationships between community diversity and soil conditions as well as analyzing the classification of

基金项目: 国家自然科学基金(30970166, 31140054); 山东大学自主创新基金(2010JC004, 2011DX008)

收稿日期: 2011-08-27; 修订日期: 2012-04-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: whguo@sdu.edu.cn

the coastal meadows in the Yellow River Delta. Gaining an understanding of these relationships will not only enlighten us on the relationships between vegetation and soil; it also has theoretical significance for vegetation conservation and restoration in the Yellow River Delta. Sixty-seven vegetation quadrats were selected in June, 2010, and nine soil characteristics were analyzed, including soil moisture content (MC), soil electrical conductivity (EC), soil pH (pH), total carbon (TC), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), available nitrogen (AN), available phosphorus (AP) and available potassium (AK). Vegetative analysis of the quadrants found 52 species, belonging to nineteen families and forty-six genera. The abundance of Compositae, Gramineae and Chenopodiaceae, the three plant families with the largest number of species found during this study, demonstrates their wide range of adaptability. Also, the species of the Chenopodiaceae are mostly salt-tolerant, and some of them are edifiers, or environment-forming species, in some communities, so this family is of special importance to the Yellow River Delta vegetation communities. Many past ecological studies confirm the rationality of the wide use of Canonical Correspondence Analysis (CCA) and Two-way Indicator Species Analysis (TWINSPAN) in quantitative vegetation ecology. Canonical Correspondence Analysis was performed to analyze the relationships between the vegetation quadrats and the nine soil factors. The CCA results show the first two axes explained 46.4% of the variance within the species-environmental relationships, and electrical conductivity and moisture content most heavily influenced the community distribution. Using TWINSPAN, we classified the quadrats into seven communities as follows: Community. *Aeluropus sinensis*, Com. *Phragmites australis*, Com. *Imperata cylindrica*+*Phragmites australis*, Com. *Cynanchum chinense*, Com. *Phragmites australis*-*Suaeda glauca*, Com. *Phragmites australis*-*Suaeda salsa* and Com. *Suaeda salsa*. The seven communities were classified into three groups along the first axis of the CCA: Com. *Suaeda salsa*, Com. *Phragmites australis*-*Suaeda salsa* and other meadow communities. The results indicate the succession series of coastal meadow in the Yellow River Delta develops along the salinity gradient, and may also indicate a transitional role for the Com. *Phragmites australis*-*Suaeda salsa*, a role which should be explored in the future studies. The Shannon-Wiener (H') and Simpson (D) indices were calculated. Correlation analysis shows species diversity had a highly significant negative correlation with EC, AP and AK ($P<0.01$), and a significant positive correlation with pH ($P<0.05$). In this study, the combination of CCA and TWINSPAN performed well since classification increased the effectiveness of ordination, and ordination helped one understand the classification results. These findings helped the authors develop a theoretical basis for vegetation conservation and restoration in the Yellow River Delta.

Key Words: Yellow River Delta; meadow; soil factors; Two-way indicator species analysis; Canonical Correspondence Analysis

黄河三角洲是我国的三大河口三角洲之一,也是研究的热点区域。黄河三角洲植被具有脆弱性的特点,容易受到自然因素和人为干扰的影响而发生逆行演替和次生演替^[1]。张高生等提出黄河三角洲陆生植被的演替经过盐地碱蓬群落、怪柳群落、草地的阶段^[2],一些研究通过生态位来反映物种分布以及群落演替的数量动态等^[3-5]。土壤是重要的环境因子,黄河三角洲土壤受近海因素的影响,盐渍化程度较高,且营养含量水平较低^[6]。土壤对植物生理和植被分布有重要的影响^[7-9],土壤盐分和水是黄河三角洲陆生植被演替的主要动力^[3]。当前,海平面上升带来沿海地区土壤盐渍化程度加深^[10],受自然和社会因素的影响,黄河三角洲面积、格局和土壤条件等都在发生变化^[11-12],植被也会发生相应的变化,因此对黄河三角洲植被-土壤关系的研究对于植被保护和恢复具有重要的指导意义。

双向指示种分析(TWINSPAN)是数量分类中最重要的方法之一,它是基于 CA/RA 排序的分类方法,它的合理性在众多的研究中得到了印证^[13-16]。典范对应分析(CCA)是由 CA/RA 修改而来的排序方法,由于它能够结合多个环境因子一起分析,从而能更好地反映群落与环境的关系^[17-18]。

本研究以黄河三角洲滨海草甸植被为研究对象,结合运用 TWINSPAN 和 CCA 分析方法,试图研究以下

问题:(1)黄河三角洲滨海草甸群落多样性与土壤因子的关系;(2)黄河三角洲滨海草甸植被的分类及与土壤因子的关系。解决上述问题不仅有助于深化对植被-土壤关系的理解,而且对黄河三角洲植被保护和恢复有理论指导意义。

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究地概况

现代黄河三角洲是黄河入海地带的扇形冲积平原,位于渤海湾南岸和莱州湾西岸,地处 $117^{\circ}31'—119^{\circ}18' E$ 和 $36^{\circ}55'—38^{\circ}16' N$ 之间,是中国的三大三角洲之一。该区属暖温带半湿润大陆性气候,年平均气温 $12^{\circ}C$ 左右,年平均无霜期 200 d 左右,年平均降水 590 mm 左右。黄河三角洲湿地是典型的滨海河口湿地生态系统,自然植被为草甸植被,尤以盐生草甸占显著地位。

1.2 植物群落取样与分析

2010 年 6 月,对黄河三角洲典型滨海草甸植物群落进行随机取样,取样点主要布设在黄河三角洲自然保护区内部,也包括保护区之外的部分样点(图 1),尽量选择人为干扰较少的区域,每个样点随机设置 $1 m \times 1 m$ 草本样方 3—4 个,共得到 67 个样方,记录植物名称、数量、高度(一般/最高/最低)、盖度等群落特征。

重要值(IV):

$$IV = (\text{相对高度} + \text{相对盖度} + \text{相对密度}) / 3$$

相对盖度 = 某种植物的盖度 / 所有植物种的盖度和

相对密度 = 某种植物的密度 / 所有植物种的密度和

相对高度 = 某种植物的高度 / 所有植物种的高度和

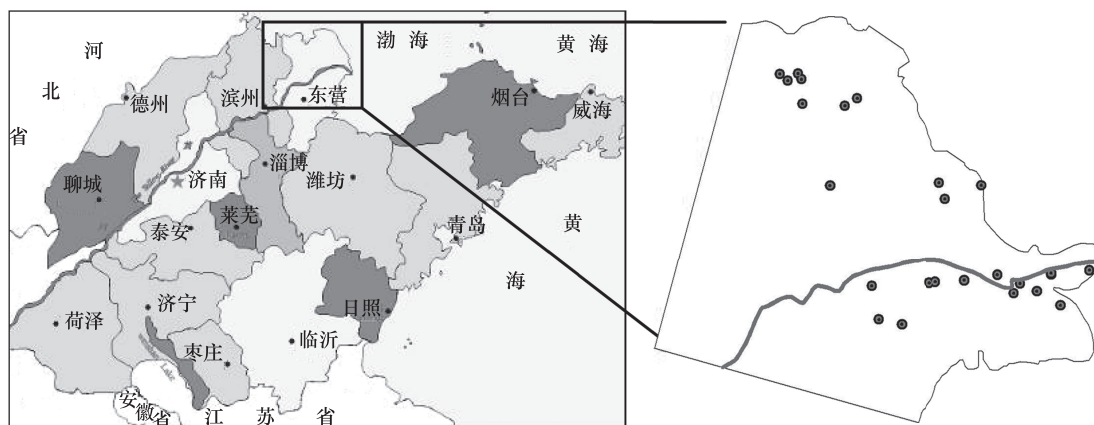


图 1 样点分布图

Fig. 1 Location of the Yellow River Delta and experiment sites

物种多样性指数采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Simpson 多样性指数(D)表示。

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

$$D = 1 - \sum P_i^2$$

式中, P_i 指的是物种 i 的重要值。

1.3 土壤取样与分析

在 67 个草本样方中采用五点取样法获取 0—20 cm 土层土样,带回实验室,测定含水率(MC)、电导率(EC)(代表土壤盐分)和 pH 值,风干、磨碎、过筛后测定全碳(TC)、全氮(TN)、全磷(TP)、速效氮(AN)、速效磷(AP)、速效钾(AK)等指标。

测定方法 含水率采用称重法;TC 采用重铬酸钾氧化容量法;TN 采用凯氏蒸馏定氮法;TP 采用氢氧化钠熔融钼锑抗比色法;AN 采用碱解扩散法;AP 采用 Olsen 法;AK 采用醋酸铵提取火焰光度法测定^[19];电导

率和 pH 值分别使用电导率仪和 pH 仪测定。

1.4 统计分析

利用 PC-ORD 5.0 对 67 个样方进行 TWINSpan 分类;利用 Canoco for Windows 4.5 进行 CCA 分析;利用 SPSS 13.0 进行相关分析和方差分析。

2 结果

2.1 群落类型及其生物多样性特征

在所调查的 67 个样方中,共出现 52 种植物,隶属于 19 科 46 属。其中,物种数最多的 3 个科是菊科、禾本科、藜科,分别有 15、8、5 种。藜科的种类虽然不如其他两科,但种类多数是耐盐种类,如盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、盐角草(*Salicornia europaea*)等。

对 67 个样方进行 TWINSpan 分类,结果做成树状图(图 2),基本采用第四级的分类结果,结合生态意义,将 18、23、24 与相邻的样方组合并,得到了根据优势种确定的 7 种草甸群落类型:A—G。得到 7 种草甸类型的组成。

(A) 獐毛群落(Community. *Aeluropus sinensis*)

该类型主要分布在低平的干旱区域,以獐毛为优势种(重要值 = 0.549 ± 0.269),主要伴生种为芦苇(*Phragmites australis*)(重要值 = 0.193 ± 0.181),群落内常见有海州蒿(*Artemisia fauriei*)(重要值 = 0.086 ± 0.174),偶见有碱菀(*Tripolium vulgare*)、萝藦(*Metaplexis japonica*)、盐地碱蓬等。包括 4、10、39 等 6 个样方。

(B) 芦苇群落(Com. *Phragmites australis*)

该类型群落主要分布在靠近河道等区域,土壤水分含量较高($MC = 0.270 \pm 0.035$),群落中以芦苇为单优势种(重要值 = 0.802 ± 0.263)。群落中常见香蒲(*Typha orientalis*)(重要值 = 0.049 ± 0.078),偶见拂子茅(*Calamagrostis epigeios*)、碱菀等。包括 16、17、19 等 10 个样方。

(C) 白茅+芦苇群落(Com. *Imperata cylindrica*+*Phragmites australis*)

该类型常呈带状分布,分布区域在雨季草地上,地上常有短期积水,禾草类的白茅(重要值 = 0.258 ± 0.307)和芦苇(重要值 = 0.232 ± 0.199)为共优势种,常伴生有罗布麻(*Apocynum venetum*)(重要值 = 0.122 ± 0.154),群落中常见荻(*Triarrhena sacchariflora*)(重要值 = 0.022 ± 0.044)、鹅绒藤(*Cynanchum chinense*)(重要值 = 0.034 ± 0.052)、野大豆(*Glycine soja*)(重要值 = 0.022 ± 0.042)等,偶见有蒙古鸦葱(*Scorzonera mongolica*)、碱菀等。包括 6、13、14、15 等 18 个样方。

(D) 鹅绒藤群落(Com. *Cynanchum chinense*)

该类型属于盐生杂类草草甸,主要分布在路边、荒地等较为干旱的地方。以鹅绒藤(重要值 = 0.288 ± 0.133)为优势种,常伴生有盐地碱蓬(重要值 = 0.031 ± 0.035)、葎草(*Humulus scandens*)(重要值 = 0.059 ± 0.068)、野大豆(重要值 = 0.023 ± 0.025)、长裂苦苣菜(*Sonchus brachyotus*)(重要值 = 0.132 ± 0.182)等,也见有灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)、小藜(*Chenopodium serotinum*)、茜草(*Rubia cordifolia*)等。包括 40、49—51、59、63 等 6 个样方。

(E) 芦苇-碱蓬群落(Com. *Phragmites australis*-*Suaeda glauca*)

该类型群落上层以芦苇(重要值 = 0.1985 ± 0.1823)为优势种,下层以碱蓬(重要值 = 0.138 ± 0.136)为优势种,群落中常见有碱菀(重要值 = 0.072 ± 0.114)、假苇拂子茅(*Calamagrostis pseudophragmites*)(重要值 = 0.075 ± 0.103),也见有蒙古鸦葱、萝藦、补血草(*Limonium sinense*)等。包括 1—3、12、18、22—25 等 10 个样方。

(F) 芦苇-盐地碱蓬群落(Com. *Phragmites australis*-*Suaeda salsa*)

该类型群落以芦苇(重要值 = 0.262 ± 0.187)和盐地碱蓬(重要值 = 0.257 ± 0.215)为共优势种,部分群落盐地碱蓬重要值大于芦苇,另一部分盐地碱蓬重要值小于芦苇,应为盐地碱蓬单优群落向该类型过渡的结果。蒙古鸦葱(重要值 = 0.144 ± 0.180)为常见伴生种,另见有海州蒿、补血草、獐毛等。包括 5、7、9、11 等 8 个样方。

(G) 盐地碱蓬群落(Com. *Suaeda salsa*)

该类型分布在近海低洼、土壤盐分高的区域,多为盐地碱蓬(重要值=0.983±0.051)单优群落,群落组成单一,9个样方中只有2种物种。偶见有盐角草(0.017±0.051)。包括8、27、28、32、52—56等9个样方。

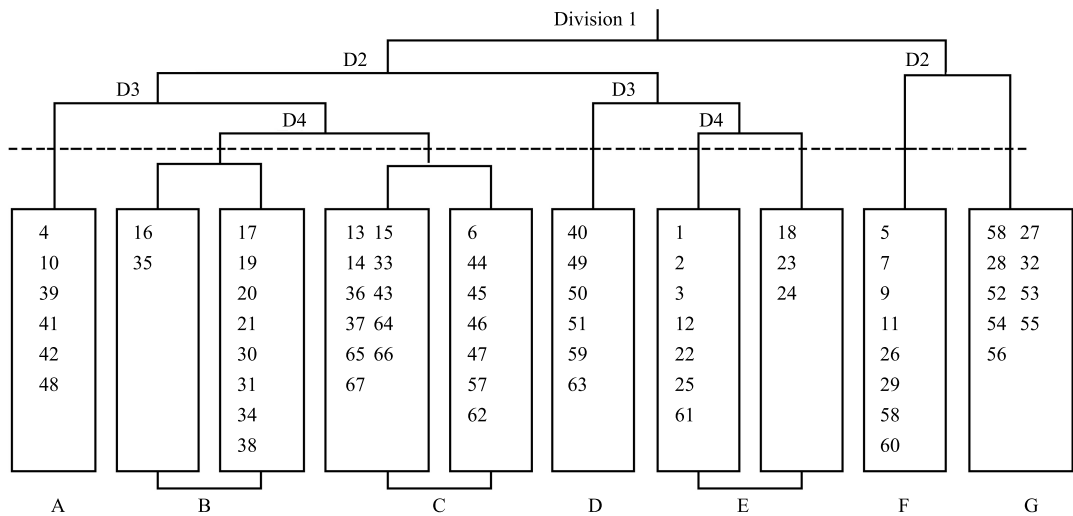


图2 TWINSpan 分类结果图

Fig. 2 Classification results of TWINSpan

A: 獐毛群落 Com. *Aeluropus sinensis*; B: 芦苇群落 Com. *Phragmites australis*; C: 白茅+芦苇群落 Com. *Imperata cylindrica*+*Phragmites australis*;D: 鹅绒藤群落 Com. *Cynanchum chinense*;E: 芦苇-碱蓬群落 Com. *Phragmites australis*-*Suaeda glauca*; F: 芦苇-盐地碱蓬群落 Com. *Phragmites australis*-*Suaeda salsa*; G: 盐地碱蓬群落 Com. *Suaeda salsa*

2.2 植物群落分布与土壤因子的关系

黄河三角洲滨海草甸样方与土壤因子的 CCA 排序结果显示前两轴共解释了物种-环境关系总方差的 46.4% (表 1)。蒙特卡罗检验显示第一轴和所有轴均是显著的 ($P<0.01$)。证明 CCA 排序的结果是可信的,可以较好地解释群落分布和土壤因子间的关系。

表 1 CCA 排序的特征根

Table1 The eigenvalues of CCA

项目 Item	轴 Axes			
	1	2	3	4
特征值 Eigenvalues	0.525	0.397	0.293	0.216
物种-环境相关性 Species-environment correlations	0.826	0.805	0.719	0.677
累计百分比方差 Cumulative percentage variance				
物种数据 Species data	5.2	9.2	12.1	14.3
物种-环境关系 Species-environment relation	26.4	46.4	61.1	72
总特征值 Sum of all eigenvalues			10.023	
总典范特征值 Sum of all canonical eigenvalues			1.988	

CCA 排序图中,箭头所处的象限表示环境因子与排序轴之间的正负相关性,箭头连线的长度代表着某个环境因子与样方分布相关程度的大小,箭头连线与排序轴的夹角代表这个环境因子与排序轴的相关性大小,夹角越小,相关性越高。CCA 排序图(图 3)显示,土壤电导率(EC)和土壤水分(MC)对样方分布的影响最大。EC 和 AP(速效磷)同第一轴相关性最高,MC 同第二轴的相关性最高,因此第一轴主要反映了 EC 和 AP 的变化,从左至右土壤盐分和速效磷升高,第二轴主要反映了 MC 的变化,从上至下,土壤水分升高。将 TWINSpan 分成的 7 中群落类型标示在 CCA 排序图中,沿第一轴方向群落很好地分散开,分成三大类群(图中虚线所示),从右至左分别代表了盐地碱蓬群落(群落类型 G)、芦苇-盐地碱蓬群落(F)和其他草甸群落类

型。在其他群落类型中, A、B、D、E 沿着第二轴较好地分散开, 从上到下, 分别为獐毛群落(A)、鹅绒藤群落(D)、芦苇-碱蓬群落(E)和芦苇群落(B), 白茅+芦苇群落(C)类型与 A、B、D、E 有不同程度重叠。对盐地碱蓬群落、芦苇-盐地碱蓬群落和其他草甸群落的土壤电导率进行方差分析和多重比较, 结果显示这 3 种类群的土壤电导率两两之间均有显著差异($P<0.05$)。

2.3 植物群落多样性与土壤因子的相关性

根据计算得到的 67 个样方的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Simpson 多样性指数(D), 对植物物种多样性和土壤因子进行相关性分析(表 2), 电导率(EC)、速效钾(AK)和速效磷(AP)与物种多样性指数呈极显著负相关($P<0.01$), pH 值与物种多样性指数为显著正相关($P<0.05$)。

图 4 以 Shannon-Wiener 多样性指数(H')为例比较了 TWINSpan 分类得到的 7 种群落类型的物种多样性, 计算每种群落类型电导率的平均值后, 按照从低到高的顺序排列, 即 $C<D<A<B<E<F<G$, 结果显示随着土壤电导率即土壤盐分的升高, 7 种群落类型的物种多样性总的趋势上是下降的, 但是在 E、F 两个群落类型有一次反弹。

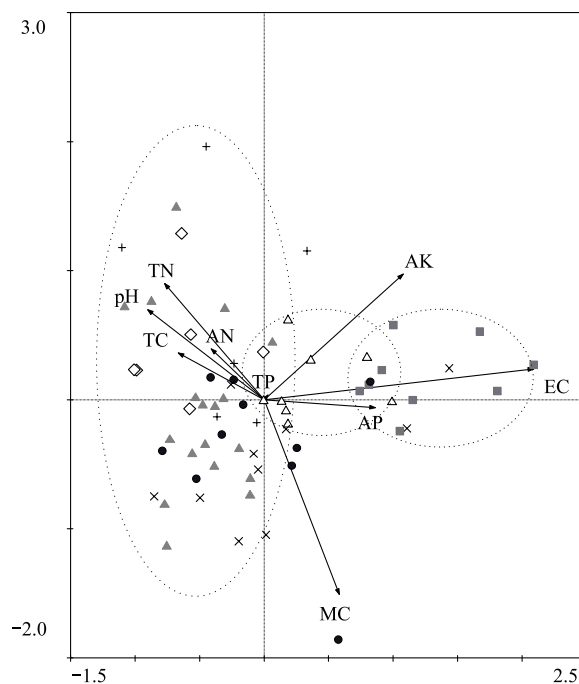


图 3 样方和土壤因子的 CCA 排序图

Fig. 3 CCA of samples and soil factors

图中群落类型标示方法 A: +; B: x; C: ▲; D: ◇; E: ●; F: △; G: ■

表 2 物种多样性指数与土壤因子的相关系数

Table 2 Correlation of species diversity with soil factors

	全碳 TC	全氮 TN	全磷 TP	速效氮 AN	速效磷 AP	速效钾 AK	电导率 EC	pH 值 pH	含水率 MC
H'	-0.141	-0.084	-0.088	-0.093	-0.326 **	-0.380 **	-0.485 **	0.276 *	-0.179
D	-0.141	-0.070	-0.078	-0.099	-0.325 **	-0.356 **	-0.474 **	0.268 *	-0.186

* 代表显著水平为 $P<0.05$; ** 代表显著水平为 $P<0.01$

3 讨论

3.1 物种多样性及其与土壤因子的相关关系

在本研究的野外调查中出现了 52 种草本植物。据王仁卿等在 20 世纪 90 年代的调查, 黄河三角洲的野生植物种类不超过 400 种^[20], 显示了较低的物种多样性, 在黄河三角洲中大面积分布的是以耐盐或适度耐盐的草本植物为主的盐生草甸植被。菊科、禾本科和藜科为物种数最多的 3 个科, 证明了其作为世界广布科对环境的高度适应性。尽管藜科的植物种类数要少于其他两科, 但是多数是耐盐种类, 如盐地碱蓬、碱蓬、盐角草等, 其中盐地碱蓬等在某些区域是主要的建群种。因此, 藜科在黄河三角洲植被中有特殊的地位。

相关分析显示, 电导率代表的土壤盐分与物种多样

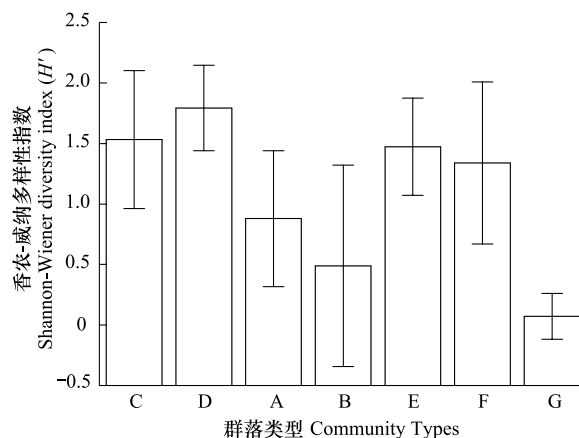


图 4 7 种群落类型香农-威纳多样性指数比较

Fig. 4 Comparison of Shannon-Wiener diversity index in 7 communities

性呈现出显著的负相关关系,这与大多数的研究结果一致^[21-22]。但物种多样性并不是随着土壤盐分的升高而一直降低的,芦苇-碱蓬群落和芦苇-盐地碱蓬群落处要高于临近的土壤盐分低的群落类型 B、E,其原因可能是在土壤盐分较高的区域,植物物种多以盐生植物为主,如蒙古鸭葱、盐角草、补血草等,包括芦苇等具有一定耐盐性的物种,所以群落物种多样性并不低,而随着演替的进行、土壤盐分的降低,盐生植物逐渐被芦苇、獐毛等植物替代,在有些地方可能会形成芦苇的单优群落,所以物种多样性反而不高。贺强等人对黄河三角洲河口盐沼植被的研究结果显示物种多样性与土壤盐分呈显著的正相关关系^[23],也可能有这方面的原因。pH 值没有同物种多样性呈现良好的负相关关系,而呈现出了显著的正相关关系,这一结果需要进一步的研究来解释。

3.2 草甸植被分类以及与土壤因子的关系

TWINSPAN 的结果客观地反映了调查结果,将调查的 67 个样方分为 7 种草甸类型。CCA 排序结果显示,土壤盐分和水分为影响群落分布最主要的两个因子,速效钾、pH 值、全氮等土壤因子也不同程度地影响了群落分布。将 TWINSPAN 分类的结果标示在 CCA 图中后,样方沿第一轴分为三大类群,由于第一轴反映了土壤盐分的变化趋势,因此这三大类群的分布代表了群落沿着盐分梯度的变化规律,随着土壤盐分的降低,群落类型的变化为盐地碱蓬群落→芦苇-盐地碱蓬群落→其他草甸群落。方差分析和多重比较显示这三大类群的土壤盐分两两之间均有显著差异,证明将其分成三大类群能够反映群落中土壤盐分的差异。盐地碱蓬群落分布在盐分最高的区域,除了盐地碱蓬外其他物种基本无法生存,在芦苇-盐地碱蓬群落中,出现了耐盐性相对较高的物种,如芦苇、蒙古鸭葱、补血草等。随着土壤盐分进一步降低,在其他草甸群落这一类群中,群落沿着第二轴很好地分散开,表明在相对低盐分的土壤条件下,土壤水分状况成为决定植被类型的主要因素,决定了群落的演替方向。白茅+芦苇群落与獐毛群落等 4 种类型群落有不同程度重叠,证明,白茅+芦苇群落分布广泛,具有广泛的适应性。本研究通过结合运用分类和排序的方法,取得了良好的效果,分类增加了排序的有效性,排序又有助于理解分类结果,两者相互印证,互补长短,能够加深对植被-土壤关系的理解。

本研究的结果显示,芦苇-盐地碱蓬群落在滨海草甸植被演替中似乎起着过渡的作用,该类型群落在土壤条件改善后逐步地被其他群落类型所代替。而张高生的研究结果将芦苇-盐地碱蓬群落于盐地碱蓬群落列在同一演替阶段^[2],关于这一点应该在接下来继续验证和深化研究。黄河三角洲植被恢复中常用生态调水、以水压盐的方法对土壤进行改造,在土壤改造之后选取什么样的物种,恢复到什么样的群落类型是重点和难点。芦苇-盐地碱蓬群落在条件合适的情况下可以自行演替到更复杂、更稳定的群落类型,在将来的研究中可以继续探讨芦苇-盐地碱蓬群落在草甸植被恢复中的作用。

References:

- [1] Zhang X L, Ye S Y, Yin P, Chen D J. Characters and successions of natural wetland vegetation in Yellow River Delta. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(1): 292-298.
- [2] Zhang G S, Wang R Q, Song B M. Plant community succession in modern Yellow River Delta, China. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2007, 8(8): 540-548.
- [3] Yuan X, Ma K M, Wang D. Explaining the abundance-distribution relationship of plant species with niche breadth and position in the Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(7): 1955-1961.
- [4] Bai S H, Ma F Y, Hou D, Wang D. Change in population niche during vegetation community succession in the Yellow River Delta. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(3): 581-587.
- [5] Hu Q M, Yang S Q, Li W, Cui B S. Niches of wetland plant species in the Yellow River Delta under soil nutrient gradients. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2009, 45(1): 75-79.
- [6] Yu J B, Chen X B, Sun Z G, Xie W J, Mao P L, Wu C F, Dong H F, Mu X J, Li Y S, Guan P, Shan K. The spatial distribution characteristics of soil nutrients in new-born coastal wetland in the Yellow River Delta. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(4): 855-861.
- [7] Song C Y, Huang C, Liu Q S, Liu G H. Simulation of Suaeda heteroptera potential distribution in the Yellow River Delta by using generalized additive models. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(4): 677-685.
- [8] Guo W H, Wang R Q, Zhou S L, Zhang S P, Zhang Z G. Genetic diversity and clonal structure of *Phragmites australis* in the Yellow River delta of China. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2003, 31(10): 1093-1109.

- [9] Zhang G S, Wang R Q. Quantitative classification of plant communities in the modern Yellow River Delta. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(3): 31-36.
- [10] Baldwin A H, Mendelsohn I A. Effects of salinity and water level on coastal marshes: an experimental test of disturbance as a catalyst for vegetation change. *Aquatic Botany*, 1998, 61(4): 255-268.
- [11] Li Y Z, Yu J B, Han G X, Wang X H, Wang Y L, Guan B. Dynamic evolution of natural wetlands in Yellow River Delta and related driving factors. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(7): 1535-1541.
- [12] Ma X, Xia M J, Lu Z H, Pei D Y, Liu Z M, Miao Y. The influence of irrigation with paper mill effluent on soil chemical properties of the heavily degraded coastal saline-alkaline wetlands in the Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(11): 3001-3009.
- [13] Song T Q, Peng W X, Zeng F P, Wang K L, Qin W G, Tan W N, Liu L, Du H, Lu S Y. Spatial pattern of forest communities and environmental interpretation in Mulun National Nature Reserve, karst cluster-peak depression region. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(3): 298-308.
- [14] Yang X L, Zhao K T, Ma H P, Lu S H, Luo J. Ecological studies on vegetation quantity in the Semi-Arid Valley Region of Lasa. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(10): 15-22.
- [15] Xu X L, Ma K M, Fu B J, Song C J, Liu W. Relationships between vegetation and soil and topography in a dry warm river valley, SW China. *Cetena*, 2008, 75(2): 138-145.
- [16] Andreasen C, Skovgaard I M. Crop and soil factors of importance for the distribution of plant species on arable fields in Denmark. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, 133(1/2): 61-67.
- [17] Zhang J T. *Method of Quantitative Vegetation Ecology*. Beijing: China Science and Technology Press, 1995.
- [18] Wang S X, Wang X A, Li G Q, Guo H, Zhu Z H. Species diversity and environmental interpretation in the process of community succession in the Ziwu Mountain of Shaanxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(6): 1638-1647.
- [19] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [20] Wang R Q, Zhang Z G, Wang Q. The vegetation classification and its system of the Yellow River Delta of China. *Journal of Shandong University: Natural Science Edition*, 1993, 28(Suppl): 23-28.
- [21] Wu T G, Wu M J, Xiao J H. Dynamics of community succession and species diversity of vegetations in beach wetlands of Hangzhou Bay. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(8): 1284-1289.
- [22] Du Q Y, Li Z, Liu S R, Liu H Y. Dynamics of species diversity and characteristics of halophytic plant communities around saline lakes in arid and semi-arid regions of Inner Mongolia. *Biodiversity Science*, 2007, 15(3): 271-281.
- [23] He Q, Cui B S, Zhao X S, Fu H L, Liao X L. Relationships between salt marsh vegetation distribution/diversity and soil chemical factors in the Yellow River Estuary, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 676-687.

参考文献:

- [1] 张绪良, 叶思源, 印萍, 陈东景. 黄河三角洲自然湿地植被的特征及演化. *生态环境学报*, 2009, 18(1): 292-298.
- [3] 袁秀, 马克明, 王德. 黄河三角洲植物生态位和生态幅对物种分布-多度关系的解释. *生态学报*, 2011, 31(7): 1955-1961.
- [4] 白世红, 马风云, 侯栋, 王迪. 黄河三角洲植被演替过程种群生态位变化研究. *中国生态农业学报*, 2010, 18(3): 581-587.
- [5] 胡乔木, 杨舒茜, 李韦, 崔保山. 土壤养分梯度下黄河三角洲湿地植物的生态位. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2009, 45(1): 75-79.
- [6] 于君宝, 陈小兵, 孙志高, 谢文军, 毛培利, 吴春发, 董洪芳, 牟晓杰, 栗云召, 管博, 单凯. 黄河三角洲新生滨海湿地土壤营养元素空间分布特征. *环境科学学报*, 2010, 30(4): 855-861.
- [7] 宋创业, 黄翀, 刘庆生, 刘高焕. 黄河三角洲典型植被潜在分布区模拟——以翅碱蓬群落为例. *自然资源学报*, 2010, 25(4): 677-685.
- [9] 张高生, 王仁卿. 现代黄河三角洲植物群落数量分类研究. *北京林业大学学报*, 2008, 30(3): 31-36.
- [11] 栗云召, 于君宝, 韩广轩, 王雪宏, 王永丽, 管博. 黄河三角洲自然湿地动态演变及其驱动因子. *生态学杂志*, 2011, 30(7): 1535-1541.
- [12] 马欣, 夏孟婧, 陆兆华, 裴定宇, 刘志梅, 苗颖. 造纸废水灌溉黄河三角洲重度退化滨海盐碱湿地对土壤化学性质的影响. *生态学报*, 2010, 30(11): 3001-3009.
- [13] 宋同清, 彭晚霞, 曾馥平, 王克林, 覃文更, 谭卫宁, 刘璐, 杜虎, 鹿士杨. 木论喀斯特峰丛洼地森林群落空间格局及环境解释. *植物生态学报*, 2010, 34(3): 298-308.
- [14] 杨小林, 赵垦田, 马和平, 禄树辉, 罗健. 拉萨半干旱河谷地带的植被数量生态研究. *林业科学*, 2010, 46(10): 15-22.
- [17] 张金屯. *植被数量生态学方法*. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [18] 王世雄, 王孝安, 李国庆, 郭华, 朱志红. 陕西子午岭植物群落演替过程中物种多样性变化与环境解释. *生态学报*, 2010, 30(6): 1638-1647.
- [19] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] 王仁卿, 张治国, 王清. 黄河三角洲植被的分类. *山东大学学报: 自然科学版*, 1993, 28(增刊): 23-28.
- [21] 吴统贵, 吴明, 萧江华. 杭州湾滩涂湿地植被群落演替与物种多样性动态. *生态学杂志*, 2008, 27(8): 1284-1289.
- [22] 杜泉滢, 李智, 刘书润, 刘鸿雁. 干旱、半干旱区湖泊周围盐生植物群落的多样性格局及特点. *生物多样性*, 2007, 15(3): 271-281.
- [23] 贺强, 崔保山, 赵欣胜, 付华龄, 廖晓琳. 黄河河口盐沼植被分布、多样性与土壤化学因子的相关关系. *生态学报*, 2009, 29(2): 676-687.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 19 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Assessment of monitoring methods for population abundance of Amur tiger in Northeast China	5943
..... ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai, JIANG Guangshun (5943)	
Changes of residents nitrogen consumption and its environmental loading from food in Xiamen	5953
..... YU Yang, CUI Shenghui, ZHAO Shengnan, et al (5953)	
Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River Estuary in summer	5962
..... YUAN Qiaojun, MIAO Suying, LI Hengxiang, et al (5962)	
Community characteristics of phytoplankton in the coastal area of Leizhou Peninsula and their relationships with primary environmental factors in the summer of 2010	5972
..... GONG Yuyan, ZHANG Caixue, SUN Xingli, et al (5972)	
Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for <i>Illex argentinus</i>	5986
..... FANG Zhou, CHEN Xinjun, LU Huajie, et al (5986)	
Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta	5998
..... TAN Xiangfeng, DU Ning, GE Xiuli, et al (5998)	
Variation analysis about net primary productivity of the wetland in Panjin region	6006
..... WANG Liwen, WEI Yaxing (6006)	
Mobilization of potassium from Soils by <i>rhizobium phaseoli</i>	6016
..... ZHANG Liang, HUANG Jianguo, HAN Yuzhu, et al (6016)	
Autotoxicity of aqueous extracts from plant, soil of peanut and identification of autotoxic substances in rhizospheric soil	6023
..... HUANG Yuqian, HAN Lisi, YANG Jinfeng, et al (6023)	
Effects of shading on the photosynthetic characteristics and anatomical structure of <i>Trollius chinensis</i> Bunge	6033
..... LV Jinhui, WANG Xuan, FENG Yanmeng, et al (6033)	
Short-term effects of fire disturbance on greenhouse gases emission from sedge and shrubs forested wetland in Lesser Xing'an Mountains, Northeast China	6044
..... GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen, et al (6044)	
Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert	6056
..... ZHANG Rong, LIU Tong (6056)	
Effects of mixing leaf litter from <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> and <i>Larix principis-rupprechtii</i> with that of other trees on soil properties in the Loess Plateau	6067
..... LI Qian, LIU Zengwen, MI Caihong (6067)	
Effects of long-term intensive management on soil ammonia oxidizing archaea community under <i>Phyllostachys praecox</i> stands	6076
..... QIN Hua, LIU Borong, XU Qiufang, et al (6076)	
Hydrogen peroxide participates symbiosis between AM fungi and tobacco plants	6085
..... LIU Hongqing, CHE Yongmei, ZHAO Fanggui, et al (6085)	
Relationships between dominant arbor species distribution and environmental factors of shelter forests in the Beijing mountain area	6092
..... SHAO Fangli, YU Xinxiao, ZHENG Jiangkun, et al (6092)	
Analysis of rhizosphere microbial community structure of weak and strong allelopathic rice varieties under dry paddy field	6100
..... XIONG Jun, LIN Huifeng, LI Zhenfang, et al (6100)	
Root distribution in the different forest types and their relationship to soil properties	6110
..... HUANG Lin, WANG Feng, ZHOU Lijiang, et al (6110)	
Effect of silicon application on antioxidant system, biomass and yield of soybean under ozone pollution	6120
..... ZHAN Lijie, GUO Liye, NING Tangyuan, et al (6120)	
Effect of landfill leachate irrigation on soil physiochemical properties and the growth of two herbaceous flowers	6128
..... WANG Shuqin, LAI Juan, ZHAO Xiulan (6128)	
Nitrous oxide emissions affected by tillage measures in winter wheat under a rice-wheat rotation system	6138
..... ZHENG Jianchu, ZHANG Yuefang, CHEN Liugen, et al (6138)	
Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO ₂ emission in dry-land of maize	6147
..... ZHANG Junli, GAO Mingbo, WEN Xiaoxia, et al (6147)	
The response of agro-ecosystem productivity to climatic fluctuations in the farming-pastoral ecotone of northern China: a case study in Zhunger County	6155
..... SUN Tesheng, LI Bo, ZHANG Xinshi (6155)	
The relationship between energy consumption and carbon emission with economic growth in Liaoning Province	6168
..... KANG Wenxing, YAO Lihui, HE Jienan, et al (6168)	
Spatial distribution characteristics of potential fire behavior in Fenglin Nature Reserve based on FARSITE Model	6176
..... WU Zhiwei, HE Hongshi, LIANG Yu, et al (6176)	
Chill conservation of natural enemies in maize field with different post-crop habitats	6187
..... TIAN Yaojia, LIANG Guangwen, ZENG Ling, et al (6187)	
Effect of population of <i>Kerria yunnanensis</i> on diversity of ground-dwelling ant	6195
..... LU Zhixing, CHEN Youqing, LI Qiao, et al (6195)	
Response of <i>Parnassius apollo</i> population and vertical distribution to climate warming	6203
..... YU Fei, WANG Han, WANG Shaokun, et al (6203)	
Review and Monograph	
Integrated assessment of marine aquaculture ecosystem health: framework and method	6210
..... PU Xinming, FU Mingzhu, WANG Zongling, et al (6210)	
Seagrass meadow ecosystem and its restoration: a review	6223
..... PAN Jinhua, JIANG Xin, SAI Shan, et al (6223)	
Nutri-toxicological effects of cyanobacteria on fish	6233
..... DONG Guifang, XIE Shouqi, ZHU Xiaoming, et al (6233)	
Effect of environmental stress on non-structural carbohydrates reserves and transfer in seagrasses	6242
..... JIANG Zhijian, HUANG Xiaoping, ZHANG Jingping (6242)	
Advances in ecological immunology	6251
..... XU Deli, WANG Dehua (6251)	
Scientific Note	
The causes of spatial variability of surface soil organic matter in different forests in depressions between karst hills	6259
..... SONG Min, PENG Wanxia, ZOU Dongsheng, et al (6259)	
Characteristics of seed rain of <i>Haloxylon ammodendron</i> in southeastern edge of Junggar Basin	6270
..... LÜ Chaoyan, ZHANG Ximing, LIU Guojun, et al (6270)	

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 19 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 19 (October, 2012)

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:1000717	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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.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