

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

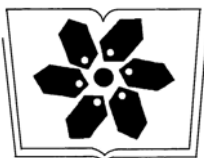
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 22 期 Vol.33 No.22 **2013**

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 33 卷 第 22 期 2013 年 11 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 利用分布有/无数据预测物种空间分布的研究方法综述 刘芳,李晟,李迪强 (7047)
- 景观服务研究进展 刘文平,宇振荣 (7058)
- 土壤呼吸组分分离技术研究进展 陈敏鹏,夏旭,李银坤,等 (7067)

个体与基础生态

- 平茬高度对四合木生长及生理特性的影响 王震,张利文,虞毅,等 (7078)
- 不同水分梯度下珍稀植物四数木的光合特性及对变化光强的响应 邓云,陈辉,杨小飞,等 (7088)
- 水稻主茎节位分蘖及生产力补偿能力 隗溟,李冬霞 (7098)
- 基于辐热积法模拟烤烟叶面积与烟叶干物质产量 张明达,李蒙,胡雪琼,等 (7108)
- 耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响 田慎重,王瑜,李娜,等 (7116)
- 不同光照强度下兴安落叶松对舞毒蛾幼虫生长发育及防御酶的影响 鲁艺芳,严俊鑫,李霜雯,等 (7125)
- 南方小花蝽在不同空间及笼罩条件下对西花蓟马的控制作用 莫利锋,郅军锐,田甜 (7132)
- 浮游植物对溶解态 AI 的清除作用实验研究 王召伟,任景玲,闫丽,等 (7140)
- 卧龙巴郎山川滇高山栎群落植物叶特性海拔梯度特征 刘兴良,何飞,樊华,等 (7148)
- 春夏季闽江口和兴化湾虾类数量特征 徐兆礼,孙岳 (7157)
- 啃食性端足类强壮藻钩虾对贫营养湖三种大型海藻的摄食选择性 郑新庆,黄凌风,李元超,等 (7166)

种群、群落和生态系统

- 4 种农业措施对三化螟种群动态的控制作用 张振飞,黄炳超,肖汉祥,等 (7173)
- 黄土高原沟壑区森林带不同植物群落土壤氮素含量及其转化 邢肖毅,黄懿梅,安韶山,等 (7181)
- 基于诊断学的生态系统健康评价 蔡霞,徐颂军,陈善浩,等 (7190)
- 稻田生态系统中植硅体的产生与积累——以嘉兴稻田为例 李自民,宋照亮,姜培坤 (7197)
- 自由搜索算法的投影寻踪模型在湿地芦苇调查中的应用 李新虎,赵成义 (7204)
- 贺兰山不同海拔典型植被带土壤微生物多样性 刘秉儒,张秀珍,胡天华,等 (7211)
- 内蒙古典型草原灌丛化对生物量和生物多样性的影响 彭海英,李小雁,童绍玉 (7221)
- 黄土丘陵沟壑区 80 种植物繁殖体形态特征及其物种分布 王东丽,张小彦,焦菊英,等 (7230)
- 基于 MAXENT 模型的贺兰山岩羊生境适宜性评价 刘振生,高惠,滕丽微,等 (7243)
- 太湖湖岸带浮游植物初级生产力特征及影响因素 蔡琳琳,朱广伟,李向阳 (7250)

景观、区域和全球生态

- 艾比湖地区土壤呼吸对季节性冻土厚度变化的响应..... 秦 璐,吕光辉,何学敏,等 (7259)
- 田间条件下黑垆土基础呼吸的季节和年际变化特征..... 张彦军,郭胜利,刘庆芳,等 (7270)

资源与产业生态

- 光核桃遗传资源的经济价值评估与保护 张丽荣,孟 锐,路国彬 (7277)
- 棉花节水灌溉气象等级指标..... 肖晶晶,霍治国,姚益平,等 (7288)

研究简报

- 云南红豆杉人工林萌枝特性..... 苏 磊,苏建荣,刘万德,等 (7300)
- 赣中亚热带森林转换对土壤氮素矿化及有效性的影响..... 宋庆妮,杨清培,余定坤,等 (7309)

学术信息与动态

- 2013 年 European Geosciences Union 国际会议述评 钟莉娜,赵文武 (7319)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 276 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2013-11



封面图说: 山坡岩羊图——岩羊属国家二级保护动物,因喜攀登岩峰而得名,又名石羊。贺兰山岩羊主要分布于海拔 1500—2300m 的山势陡峭地带,羊群多以 2—10 只小群为主。生境适宜区主要为贺兰山东坡(宁夏贺兰山国家级自然保护区)的西南部,而贺兰山西坡(内蒙古贺兰山国家级自然保护区)也有少量分布。贺兰山建立国家级自然保护区以来,随着保护区环境的不断改善,这里岩羊的数量也开始急剧增长,每平方公里的分布数量现居世界之首,岩羊的活动范围也相应扩大到低山 900 米处的河谷。贺兰山岩羊生境选择的主要影响因子为海拔、坡度及植被。

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

DOI: 10.5846/stxb201207191031

李新虎, 赵成义. 自由搜索算法的投影寻踪模型在湿地芦苇调查中的应用. 生态学报, 2013, 33(22): 7204-7210.

Li X H, Zhao C Y. Application of a free search-based projection pursuit model in investigating reed in wetlands. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(22): 7204-7210.

自由搜索算法的投影寻踪模型 在湿地芦苇调查中的应用

李新虎*, 赵成义

(中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830000)

摘要: 针对传统湿地芦苇调查统计方法中的问题, 建立了自由搜索的投影寻踪模型, 将芦苇的生理特征指标和环境因子指标作为投影指标构建了投影指标函数, 通过自由搜索算法优化得到最佳投影方向, 由最佳投影指标函数来反映各类芦苇的特征, 避免了人为赋予权重的干扰, 客观性强, 数学概念清晰, 并在博斯腾湖芦苇调查统计中进行了应用, 结果表明: 博斯腾湖芦苇的种类及群落特征没有发生显著的变化, 在 8 个环境因子中水质及水量是影响芦苇产量的主要环境因子, 土壤有机质对芦苇产量的影响最小; 通过实际应用表明模型应用效果较好, 为湿地芦苇资源调查及湿地芦苇的生态保护提供了新的思路。

关键词: 投影寻踪; 自由搜索算法; 芦苇调查; 博斯腾湖

Application of a free search-based projection pursuit model in investigating reed in wetlands

LI Xinhu*, ZHAO Chengyi

Xinjiang institute of ecology and geography, CAS, Urumqi 830000, China

Abstract: A projection pursuit model (PP) was used to solve the multi-factor problem in the synecological investigation of reed in Bosten Lake. A novel optimization algorithm called free search was introduced to optimize the projection direction of the PP model. The classification of reed and analysis of environmental factors that impact the growth of reed were compiled into a projection index to set up the projection index function. The multi-factor problem was converted into a single-factor problem according to the projection, which successfully avoids subjective disturbance and ensures objective results. In 2006, soil samples at 78 sampling sites in 11 areas were collected according to the reed distribution in Bosten Lake. Of these sites, 41 were in the region of Small Lake, 22 in the region of Huangshui Ditch, and 15 in the West Bank region of Big Lake. Plant height, stalk diameter, biomass density, number of node, wall thickness, and cellulose were observed. Organic matter, total and available nitrogen and phosphorus, and total salt in soil samples as well as the chemical oxygen demand and pH of water were selected for the analysis. Then, the relationship between reed biomass and these environmental factors were analyzed. The results showed that the reed in Bosten Lake could be divided into four classes (grades) of growth. Reeds grow best in the West Bank region of Big Lake, followed by the Southwest Small Lake Region, and growth is worst in the Huangshui Ditch Region. No significant change in community characteristics was observed. Soil and water quality is a key factor that influences the growth of reed. The effect of phosphorus on biomass is greater than nitrogen's, and soil organic matter has the least impact on reed biomass in Bosten Lake. To improve reed biomass, the

基金项目: 青年科学基金资助项目(41201040); 中国科学院“西部之光”人才计划西部博士专项资助项目(XBBS201207)

收稿日期: 2012-07-19; **修订日期:** 2013-03-01

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

discharge of upstream effluents, both agricultural and industrial, needs to be controlled; this method can also serve as the first step in protecting reed wetlands. The projection pursuit model can be used to analyze the relationship between reed biomass and its environmental impact factors, and the findings can reflect the main ecological and environmental problems in the Bosten Lake wetland as well as provide useful information for the environmental management of reed wetlands. The results of the projection pursuit model agree well with the actual situation, which indicates that this model is a powerful tool in research that involves multi-factor problems and could be a new method to conduct a synecological investigation of reed.

Key Words: projection pursuit; free search; investigation of reed; Bosten Lake

芦苇是湿地资源的重要组成部分,芦苇不仅可以作为建筑和轻工业的原料,还具有观光、旅游、娱乐等多种功能。芦苇作为湿地植物,能吸收二氧化碳等温室气体,处理工业发展所造成的环境污染^[1],具有很高的经济、社会、生态效益。近些年来,芦苇在北美的持续扩张^[2-3],而在欧洲却发生退化^[3-4],芦苇分布的变化以及生态学特性引起了许多学者的兴趣,因此芦苇的生态调查也成为研究的一个热点。芦苇的生态学调查是一个典型的多因素问题,例如其形态学特征包括株高、密度、茎粗、产量、壁厚、节数等多个因素,其环境因素,又包括土壤、水质、水量等因素,而多因素问题往往具有高维、非正态特性而不适合用传统统计方法进行分析的实际,因此这是有必要引入一种方法,将多因素问题转化为单因素问题。

投影寻踪^[5] (Projection pursuit, PP)是一能将多维问题转化为一维问题的有效方法,能够避免人为因素的干扰,客观的反映实际结果。PP 是用来处理和分析高位数据,尤其是来自非正态整体一类统计方法。PP 方法能够成功的克服高维数据的“维数祸根”所带来的严重困难。PP 的关键在于找到观察数据结构的角度的,得到完全由原始数据构成的低维特征量,反映原始数据的结构特征。随着科学技术的发展和计算机的普及,高维数据的分析显得越来越重要。大量的非正态、非线性数据出现和计算机技术的发展,使投影寻踪技术迅速表现出了它的优势^[6]。

主成分分析(Principal Components Analysis, PCA)也属于处理多因素问题的方法,但是 PCA 只考虑了二阶矩会遗漏数据中一些隐藏的部分^[7],也有学者^[8-9]认为传统的 PCA 通常不能给出一个合理的结果。Caussinus 和 Ruiz-Gazen^[10]也注意到相对于 PCA 投影寻踪的应用较少。

Friedman^[11]指出投影寻踪非常强烈的依赖优化算法去寻找最优的投影方向,因此寻找最优的投影方向应用投影寻踪的一个关键问题。根据目前出版的相关文献可以看出,对于投影方向的寻优大部分采用遗传算法^[7,12-15],还有很多学者使用粒子群算法^[16-17],但是这些算法不能解释自由、不确定的个体行为,而且也容易落入局部最优的情况,因此本文引入一种新的算法自由搜索算法(Free Search, FS)^[18]来优化投影指标函数,许多学者^[18-19]通过实例也证明了该算法在寻优的结果上优于其遗传^[20]、粒子群^[21]等算法。

本研究的芦苇调查的内容主要包括芦苇的分类和芦苇环境影响因子的评价。本文以新疆博斯腾湖实地芦苇为应用实例,将基于自由搜索算法的投影寻踪模型(FSP)应用于湿地芦苇的统计调查,对为芦苇调查及其生态环境保护提供一条新的思路。

1 基于自由搜索算法的投影寻踪模型

20 世纪 60 年代末 70 年代初, Kruscal 首先提出了投影寻踪方法^[22], 1974 年, Friedman 和 Tukey^[6]等对投影寻踪方法作了深入的研究,明确地提出了投影寻踪思想, 1985 年 Huber 关于投影寻踪的综合性叙述论文的发表,系统的阐述了投影寻踪理论,标志着投影寻踪理论的正式形成^[23]。投影寻踪^[24-26]方法的基本思路是:将高维数据投影到低维子空间上,采用投影指标函数来衡量投影暴露某种结构的可能性大小,寻找出使投影指标函数达到最优的投影值,再根据投影值分析高维数据的结构特征,或根据投影值与研究系统的输入输出值之间的散点图构造适当的数学模型来模拟系统输出。

1.1 模型构建

投影寻踪模型的建模过程包括如下 3 个步骤:

步骤1 构造投影指标函数 $Q(a)$

设芦苇的生理特征和其环境因子各指标值的样本集为 $\{x^*(i,j) \mid i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,p\}$, y_i 为芦苇的产量指标, 其中 $x^*(i,j)$ 为第 i 观测区域样本第 j 个指标值, np 分别为样本的个数(样本容量)和指标数目。

PP 分类方法就是把 p 维数据 $\{x^*(i,j) \mid j=1-p\}$ 综合成以 $a = \{a(1), a(2), a(3), \dots, a(p)\}$ 为投影方向的一维投影值:

$$z(i) = \sum_{j=1}^p a(j)x(i,j) \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

然后根据 $\{z(i) \mid i=1,2,\dots,n\}$ 的一维散布图进行分类。式中 a 为单位长度向量, 综合投影指标值时, 要求投影值 $z(i)$ 的散布特征应为: 局部投影点尽可能密集, 最好凝成若干个团, 而在整体上投影点团之间尽可能散开, 因此, 投影指标函数可以表达成:

$$Q_c(a) = S_z D_z \quad (2)$$

$$S_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z(i) - E(z))^2}{n-1}} \quad (3)$$

$$D_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R - r(i,j)) \cdot u(R - r(i,j)) \quad (4)$$

式中, $E(z)$ 为序列 $\{z(i) \mid i=1,2,\dots,n\}$ 的平均值; R 为局部密度的窗口半径, 它的选取既要使包含在窗口内的投影点平均个数不太少, 避免滑动平均偏差太大, 又不能使它随着 n 的增大而太高, R 可以根据实验来确定; $r(i,j)$ 表示样本之间的距离, $r(i,j) = |z(i) - z(j)|$; $u(t)$ 为单位阶跃函数, 当 $t \geq 0$ 时, 其值为 1, 当 $t < 0$ 时, 其函数值为 0。

对于回归问题不仅要求投影值 $z(i)$ 能尽可能大地提取 $x(i,j)$ 中的变异信息, 同时要求 $z(i)$ 与 $y(i)$ 的相关系数的绝对值 $|R_{zy}|$ 尽可能大。这样得到的投影值就可望尽可能多地携带原指标系统 $x(i,j)$ 的变异信息, 并且能够保证投影值对因变量具有很好的解释性。基于此, 投影目标函数可构造为:

$$Q_e(a) = S_z |R_{zy}| \quad (5)$$

式中, S_z 为投影值 $z(i)$ 的标准差; $|R_{zy}|$ 为 $z(i)$ 与 $y(i)$ 的相关系数的绝对值。

步骤2 优化投影指标函数

当各指标值的样本集给定时, 投影指标函数 $Q_c(a)$ 和 $Q_e(a)$ 只随着投影方向就是最大可能暴露高维数据某类特征结构的投影方向反映不同的数据结构特征, 因此可以通过求解投影指标函数最大化问题来估计最佳投影方向, 即:

最大化目标函数

$$\max Q_c(a) = S_z D_z \quad (6)$$

$$\max Q_e(a) = S_z |R_{zy}| \quad (7)$$

约束条件

$$\sum_{j=1}^p a^2(j) = 1 \quad (8)$$

这是一个以 a 为优化变量的复杂非线性问题, 尤其当 a 维数较大(研究问题的指标较多)时, 用常规的优化方法处理比较困难。本文引入 FS 算法, 令算法迭代过程中每个动物个体的位置向量代表投影方向, 可以简便有效地求解上述优化问题。

FS^[18] 是 Kalin Penev 和 Guy Littlefair 提出的一种新算法, 该算法原理简单, 需要用户确定的参数不多, 操作也很简便, 是一种基于群体的优化方法。FS 中所仿照的是一些高等群居动物在进行生物行为时, 如寻找水源或食物, 从种群整体而言, 处于一种有序的进程之中, 其中的个体又存在着与整体进程相协调的个体随意行为^[5]。这种动物群体的行为特性主要依靠以下两种动物本能: 直觉和运动。运动是获得最终目标的手段, 是

在直觉指引下的一种具体的决策实施过程。每个动物个体可以有两种运动:在邻域附近的小步幅搜索和在全局范围的大步幅勘测。

步骤3 把步骤3求得的最佳投影方向 a^* 带入(13)式后可得各样点的投影值 $z^*(i)$ 。将 $z^*(i)$ 与 $z^*(j)$ 进行比较,二者越接近,表示样本 i 与 j 越倾向于分为同一类。若按 $z^*(i)$ 值从大到小排序,可以将样本从优到劣进行排序。对于回归问题,再根据 $z^*(i) - y(i)$ 的散点图建立相应的数学模型。

2 应用实例分析

2.1 研究区概况

博斯腾湖地处干旱内陆地区,由大湖、小湖群、苇沼三部分组成,包括和静、和硕、焉耆、博湖、尉犁5个县和库尔勒市及10个兵团农业团场,总面积14.9万 km^2 。博斯腾湖是开都河的尾间,又是孔雀河的源头,兼有开都河来水的水资源调控、孔雀河流域农田灌溉、工业及城乡用水、流域生态保护等多种功能。

据水源、地理位置条件,博斯腾湖芦苇湿地可分为三大片^[27]:黄水沟片、大湖西岸片、西南小湖区片,总面积约 $3.58 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。黄水沟位于大湖北部,二十四团、清水河农场及包尔图以南,焉耆县五号渠乡、东风干渠以北,面积约 $0.59 \times 10^4 \text{hm}^2$;大湖西岸区位于大湖以西,焉耆东风干排以南到西南大河口,博湖县塔温觉肯乡、本布图乡、乌兰乡以东地带,湿地面积约 $0.08 \times 10^4 \text{hm}^2$;西南小湖区片位于大湖以西,孔雀河以北、解放一渠以东的焉耆县四十里城子乡、二十七团、永宁乡、博湖县查干诺尔乡、才坎诺尔乡以南地带,湿地总面积约 $2.88 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。各片地理位置、芦苇分布面积和蕴藏产量见表1。

表1 博斯腾湖芦苇分布一览表
Table 1 The reed distribution in Bosten Lake

年份 Year	黄水沟区 Region of Huangshui Ditch		大湖西岸区 West Bank Region of Big Lake		西南小湖区 Southwest Small Lakes region		合计 Total	
	面积 Area	蕴藏产量 Output	面积	蕴藏产量	面积	蕴藏产量	面积	蕴藏产量
	/ $(\times 10^4 \text{hm}^2)$	/ $(\times 10^7 \text{kg})$	/ $(\times 10^4 \text{hm}^2)$	/ $(\times 10^7 \text{kg})$	/ $(\times 10^4 \text{hm}^2)$	/ $(\times 10^7 \text{kg})$	/ $(\times 10^4 \text{hm}^2)$	/ $(\times 10^7 \text{kg})$
1965	0.33	3.5	0.70	7.0	2.98	29.5	4.01	40.0
1980	0.80	7.5	0.55	3.4	2.53	20.7	3.88	31.3
1992	0.17	1.5	0.13	0.8	2.27	17.7	2.30	20.0
1995	0.59	2.6	0.08	1.5	2.88	20.4	3.55	24.5
2000	0.5	3.1	0.21	1.9	3.12	22.5	3.90	28.1

2.2 试验材料与方法

根据博斯腾湖芦苇分布选取17个区域共计82个样点为研究对象,分别观测这82个点的株高、密度、茎粗、产量、壁厚、节数和最长节间长和水深,并采取土壤和水质样品,土样分析有机质、速效氮、全磷、速效磷、全磷、全盐,水样分析pH和COD。土壤有机质采用重铬酸钾—浓硫酸外加热法,土壤速效氮采用扩散法,土壤总磷用钼锑抗比色法,土壤总盐采用烘干法,pH值采用玻璃电极法,COD采用重铬酸钾法。

2.3 结果与讨论

2.3.1 聚类

以芦苇的株高、密度、茎粗、产量、壁厚、节数和最长节间长7个生理特征指标,根据前述投影寻踪分类模型建模步骤,经过优化计算得到最大投影指标函数值和最佳投影方向分别为0.9894和 $a^* = (-0.43737 \ 0.3573 \ 0.3189 \ 0.0416 \ 0.5540 \ 0.3436 \ 0.3948)$,再把 a^* 带入(13)式得到最佳投影值,再进行分类结果见表2。博斯腾湖芦苇按其生理特征可以分成4类(表2),和文献^[27]的结果比较一致,说明投影寻踪在芦苇分类中的应用是可行的,这也同时说明芦苇的种类及群落特征没有发生显著的变化。

2.3.2 回归

芦苇的生长受到环境因素的影响,例如土壤养分、土壤水分、气候等对芦苇的生长起着重要的作用,但是对于芦苇的生长这些环境因子对芦苇的影响程度却不一样,基于前述投影寻踪回归模型建模步骤,对博斯腾

湖的芦苇生长的相关环境因子进行了评价。模型计算优化得到最大投影指标函数值为 1.0748,根据芦苇产量与环境综合因子(投影值)散点图分布的趋势性,可采用二次曲线描述芦苇产量与投影值之间的函数关系,所得的芦苇产量与环境综合因子数学模型为:

$$y = 17.7897z^2 + 213.89z + 904.95 \quad R^2 = 0.7072 \tag{9}$$

式中, y 为芦苇产量(kg), Z 为投影函数值。

表 2 博斯腾湖芦苇分类表

Table 2 The class of reed in Bosten Lake

群落特征 community characteristics	类型 Class			
	1 类 Class 1	2 类 Class 2	3 类 Class 3	4 类 Class 4
株高 Plant height/cm	363.3—452.3	268.6—351.1	178.5—247.5	98.1—161.8
密度 Density/(株/m ²)	46—86	74—104	95—134	105—159
茎粗 Stalk diameter/cm	0.99—1.3	0.55—0.86	0.41—0.65	0.28—0.40
产量 Output/(kg/hm ²)	26940—31410	15570—18705	12424.5—167.05	8500.5—3776.5
壁厚 Well thickness/mm	0.47—0.58	0.34—0.37	0.28—0.35	0.19—0.24
节数 Number of node/个	23.7—25.8	20.1—22.5	18—21.4	11.0—15.1
最长节间长 Most internode length/cm	30.9—33.7	24.9—29.0	19.5—25.1	12.5—20.1

表 3 各环境因子投影方向排序

Table 3 The ordering and projection direction of enviroment factors

环境因子 Environment factor	土壤全盐 Soil total salt	土壤有机质 Soil organic matter	土壤速效氮 Soil available nitrogen	土壤全磷 Soil total phosphorus	土壤速效磷 Soil available phosphorus	水层深度 Water level	pH	COD
投影方向 Projection direction	-0.2369	0.0727	0.5027	0.1122	0.1411	0.2006	-0.6436	-0.4459
排序 Order	4	8	2	7	6	5	1	3

最佳投影方向各分量的绝对值反映了各环境因子对芦苇产量的影响程度,各投影方向及排序结果见表 3。从计算结果(表 3)可以看出水的 pH 以及 COD 和水深和各土壤环境因子相比顺序均靠前,也就是说水质及水量是影响芦苇产量的主要影响因子,这主要是因为水是限制植物生长的主要因子,博斯腾湖芦苇大部分为沼泽芦苇,土壤表层均有积水,水质的好坏和水层深度直接影响到芦苇的生长;李冬林^[28]报道了地表积水深度对芦苇个体茎粗度、节间长度、节数均有着显著的影响。邓春暖^[29]等通过实验分析发现随着水深的增加,芦苇株高、生物量以及叶绿素含量等逐渐增加。Maucham^[30]等的研究发现,部分淹水(50%和 80%的叶片面积被淹)可以显著促进芦苇生长,增加生物量。王铁良等的研究表明芦苇是在不同水深情况下形态变异较高的物种,且在 15 cm 水层深度生长状况最好。

氮对产量的影响大于磷,速效磷大于全磷,这也说明芦苇对氮的吸收大于对磷的吸收,这是符合芦苇生长需肥规律^[31]的;土壤氮素含量在一定范围内 12—123.8mg/kg),含量越高芦苇产量也越高;土壤速效磷含量(5.3—20.9mg/kg)与芦苇产量无显著相关性,这和本研究的结果部分一致。芦苇虽然为耐盐植物,但是博斯腾地处干旱区,湖泊盐化情况严重,湿地土壤盐分含量高,在一定程度上限制了芦苇的生长;宋健^[32]等的研究表明芦苇是拒盐植物;王铁良等^[33]也报道了盐度和水深均是制约芦苇生长和产量的重要因子;沼泽芦苇多为腐殖质沼泽土和泥炭土,土壤有机质含量高,基本都能满足芦苇生长的需要,因此土壤有机质对芦苇的影响最小。

从总的排序情况来看,前 4 位分别为 pH、COD、土壤速效氮和土壤全盐,后 4 位分别为水层深度、土壤速效磷、土壤全磷、土壤有机质,而排序靠前的 pH、COD 和土壤全盐与芦苇的生长呈负相关,随着 pH、COD 和土壤全盐的增加芦苇的产量下降。赛迪古丽^[34]的研究也证明了芦苇株高和芦苇冠幅收受土壤 pH 值影响较大。而 pH、COD 和土壤全盐的增加均来源于上游农田排水和工业污水排入,博斯腾湖每年有近 400 万 t 工业污水

排入,开都河灌区每年通过农田排水带入博斯腾湖盐分高达 $5.299 \times 10^5 \text{ t}^{[14]}$,致使博斯腾湖矿化度和 COD 含量增加,pH 值升高生态环境恶化,由此可以看出要想提高芦苇的产量保护湿地芦苇,限制上游污水排入(包括农田和工业污水)是首要问题,因此通过芦苇产量与其环境影响因素的分析就可以反映出博斯腾湖的主要生态环境问题,这也为芦苇湿地的环境治理得出一个启示,保护芦苇湿地首先应该控制污染物的排放包括农田和工业污水的排放。

3 结论

(1)本研究通过应用基于自由搜索算法的投影寻踪模型对博斯腾湖湿地芦苇进行了统计调查。以芦苇的株高、密度、茎粗、产量、壁厚、节数和最长节间长 7 个生理特征指标为基础结合投影寻踪模型对芦苇进行了分类,结果表明博斯腾湖芦苇按其生理特征可以分成 4 类,博斯腾湖芦苇的种类及群落特征没有发生显著的变化。

以芦苇的 8 个环境因素(土壤速效磷、土壤全磷、土壤有机质、土壤速效氮、水层深度、pH、COD、和全盐)为环境指标,利用投影寻踪模型对博斯腾湖的芦苇生长的相关环境因子进行了评价。从总的排序情况来看,前 4 位分别为 pH、COD、土壤速效氮和土壤全盐,后 4 位分别为水层深度、土壤速效磷、土壤全磷、土壤有机质。在 8 个环境因子中水质及水量是影响芦苇的主要环境因子,氮对产量的影响大于磷,速效磷大于全磷,土壤盐分在一定程度上限制了芦苇的产量,土壤有机质对芦苇的产量影响最小。

(2)应用基于自由搜索算法的投影寻踪模型在芦苇调查中进行了应用,将芦苇指标作为多个投影参数来寻求其投影方向,由最佳投影指标函数来反映各类芦苇的特征,避免了人为赋予权重的干扰,不仅可以反映湿地芦苇的实际情况,还可以通过对芦苇的分析反映中整个湖泊湿地的生态环境问题。通过实际应用表明投影寻踪模型在芦苇调查中的应用有效可行,客观性强,为湿地芦苇调查提供了一条新的思路。

References:

- [1] Li J G, Li B G, Liu F, Wang D W, Chen G S. Reed resource and its ecological function & utilization in Baiyangdian Lake. South- to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2004, 2(5): 37-40.
- [2] Mack R N. Predicting the identity and fate of plant invaders: emergent and emerging approaches. Biological Conservation, 1996, 78(1/2): 107-121.
- [3] Graveland J, Coops H. Decline of reed belts in Netherlands: causes, consequences, and a strategy for reversing the trend (in Dutch). Landschap, 1997, 14: 67-76.
- [4] Ostendorp W. Schilfrückgang am Bodensee-Untersee Ursachen. Aquatic Botany, 1989, 51: 87-101.
- [5] Friedman J H, Turkey J W. A projection pursuit algorithm for exploratory data analysis. IEEE Transactions on Computers, 1974, C-23(9): 881-890.
- [6] Wang X. Study on Application of Projection Pursuit to the Assessment of Region Forest Resources Difference [D]. Beijing: Beijing Forest University, 2003.
- [7] Berro A, Marie-Sainte S L, Ruiz-Gazen A. Genetic algorithms and particle swarm optimization for exploratory projection pursuit. Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, 2010, 60(1/2): 153-178.
- [8] Li G Y, Cheng P. Some recent developments in projection pursuit in China. Statistica Sinica, 1993, 3: 35-51.
- [9] Chang H, Shi J, Chen Z. Projection pursuit principal component analysis and its application to meteorology. Acta Meteorologica Sinica, 1990, 4: 254-263.
- [10] Caussinus H, Ruiz-Gazen A. Exploratory projection pursuit // Govaert G. Data Analysis (Digital Signal and Image Processing Series). New Jersey: John Wiley & Sons, 2009: 95-150.
- [11] Friedman J H, Stuetzle W. Projection pursuit regression. Journal of the American Statistical Association, 1981, 76(376): 817-823.
- [12] Wang S J, Zhang X L, Yang Z F, Ding J, Shen Z Y. Projection pursuit cluster model based on genetic algorithm and its application in Karstic water pollution evaluation. International Journal of Environment and Pollution, 2006, 29(3/4): 253-260.
- [13] Fu Q, Xie Y G, Wei Z M. Application of projection pursuit evaluation model based on real-coded accelerating genetic algorithm in evaluating wetland soil quality variations in the Sanjiang Plain, China. Pedosphere, 2003, 13(3): 249-256.
- [14] Achard V, Landrevie A, Fort J C. Anomalies detection in hyperspectral imagery using projection pursuit algorithm, image and signal processing for

- remote sensing X // Bruzzone L. Proceedings of the SPIE, 2004; 193-202.
- [15] Guo Q, Wu W, Questier F, Massart D L, Boucon C, De Jong S. Sequential projection pursuit using genetic algorithms for data mining of analytical data. *Analytical Chemistry*, 2000, 72(13): 2846-2855.
- [16] Larabi Marie-Sainte S, Berro A, Ruiz-Gazen A. An efficient optimization method for revealing local optima of projection pursuit indices // ANTS'10 Proceedings of the 7th International Conference on Swarm Intelligence. Heidelberg: Springer-Verlag, 2010; 60-71.
- [17] Jones M C, Sibson R. What is projection pursuit?. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A*, 1987, 150(1): 1-36.
- [18] Penev K, Littlefair G. Free search-a comparative analysis. *Information Sciences*, 2005, 172(1/2): 173-193.
- [19] Wang B, Zhang Z Y, Zhang G H, Chen Z P. Free search: A novel algorithm for optimizing irrigation schedule. *Advances in Water Science*, 2008, 19(5): 738-741.
- [20] Holland J H. Genetic algorithms. *Scientific American*, 1992, (4): 44-50.
- [21] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization // IEEE International Conference on Neural Networks. Perth Australia: IEEE, 1995; 1942-1948.
- [22] Kruskal J B. Toward a practical method which helps uncover the structure of a set of multivariate observations by finding the linear transformation which optimizes a new index of condensation // Milton R C, Nelder J A. *Statistical Computation*. New York: Academic Press, 1969; 427-440.
- [23] Huber P J. Projection pursuit. *Annals of Statistics*, 1985, 13(2): 435-475.
- [24] Fu Q. The Data Processing Method and Application of Agriculture. Beijing: Science Press, 2006; 283-323.
- [25] Friedman J H, Stuetzle W, Schroeder A. Projection pursuit density estimation. *Journal of the American Statistical Association*, 1984, 79(387): 599-608.
- [26] Friedman J H. Exploratory projection pursuit. *Journal of the American Statistical Association*, 1987, 82(397): 249-266.
- [27] Xia J, Zuo Q T, Shao M C. Sustainable Utilization of Water Resources of Bosten Lake-Theory, Method and Practice. Beijing: Science Press, 2003; 97-103.
- [28] Li D L, Zhang J L, Pan W M, Zhu Y Q. Effect of surface water accumulation on morphological structure and biomass of *Phragmites australis*. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 2009, 36(3): 17-20.
- [29] Deng C N, Zhang G X, Li H Y, Li R R. Eco-physiological responses of *Phragmites australis* to different water-salt conditions in Momoge Wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(13): 4146-4153.
- [30] Mauchamp A, Blanch S, Grillas P. Effects of submergence on the growth of *Phragmites australis* seedlings. *Aquatic Botany*, 2001, 69(2/4): 147-164.
- [31] Wang G S, Huang X S, Zhong Y S. The study on relation between reed yield and ratio of uptake N, P and K. *Liaoning Agricultural Sciences*, 1989, (1): 32-35.
- [32] Song J, Yang L X, Nie L L, Zhang Y, Liu Z Q. Comparative study on physiological characteristics of salt tolerance between *Phragmites communis* and *Puccinellia tenuiflora*. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2010, 16(6): 10-12.
- [33] Wang T L, Wang L Y, Su L L, Zhang X Y, Li G. Reasonable irrigation model of reed under saline water irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2009, 28(2): 120-123.
- [34] Sadigul H, Hamid Y. Spatial variability of soil pH value and its effects on the growth of *Phragmites australis* in Keriya oasis — Taking Karki Village as an example. *Journal of Xinjiang Normal University: Natural Sciences Edition*, 2012, 31(2): 9-15.

References:

- [1] 李建国, 李宝贵, 刘芳, 王殿武, 陈桂坤. 白洋淀芦苇资源及其生态功能与利用. *南水北调与水利科技*, 2004, 2(5): 37-40.
- [6] 王昕. 投影寻踪技术在区域森林资源差异性评价中的应用研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2003.
- [19] 王斌, 张展羽, 张国华, 陈子平. 一种新的优化灌溉制度算法——自由搜索. *水科学进展*, 2008, 19(5): 738-741.
- [24] 付强. 数据处理方法及其农业应用. 北京: 科学出版社, 2006; 283-323.
- [27] 夏军, 左其亭, 邵民诚. 博斯腾湖水资源可持续利用——理论、方法与实践. 北京: 科学出版社, 2003; 97-103.
- [28] 李冬林, 张纪林, 潘伟明, 朱铁群. 地表积水状况对芦苇形态结构及生物量的影响. *江苏林业科技*, 2009, 36(3): 17-20.
- [29] 邓春暖, 章光新, 李红艳, 李然然. 莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应. *生态学报*, 2012, 32(13): 4146-4153.
- [31] 王国生, 黄溪水, 钟玉书. 芦苇产量与植株吸收氮磷钾比例关系的研究. *辽宁农业科学*, 1989, (1): 32-35.
- [32] 宋建, 杨迎霞, 聂莉莉, 张越, 刘仲齐. 芦苇和碱茅耐盐生理特性的比较分析. *天津农业科学*, 2010, 16(6): 10-12.
- [33] 王铁良, 王立业, 苏芳莉, 张潇予, 李刚. 芦苇微咸水适宜灌溉模式研究. *灌溉排水学报*, 2009, 28(2): 120-123.
- [34] 赛迪古丽·哈西木, 海米提·依米提. 于田绿洲土壤 pH 值的空间异质性及其对芦苇生长的影响研究——以喀尔克乡为例. *新疆师范大学学报: 自然科学版*, 2012, 31(2): 9-15.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.22 Nov., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The review of methods for mapping species spatial distribution using presence/absence data LIU Fang, LI Sheng, LI Diqiang (7047)
- A research review of landscape service LIU Wenping, YU Zhenrong (7058)
- Progress on techniques for partitioning soil respiration components and their application in cropland ecosystem CHEN Minpeng, XIA Xu, LI Yinkun, MEI Xurong (7067)

Autecology & Fundamentals

- Effect of different stubble height treatments on the annual growth index and physiological characteristics of *Tetraena mongolica* in two growing seasons WANG Zhen, ZHANG Liwen, YU Yi, et al (7078)
- Photosynthetic characteristics of an endangered species *Tetrameles nudiflora* under different light and water conditions DENG Yun, CHEN Hui, YANG Xiaofei, et al (7088)
- The compensation capacity of tillering and production of main stem nodes in rice WEI Ming, LI Dongxia (7098)
- Simulation of leaf area and dry matter production of tobacco leaves based on product of thermal effectiveness and photosynthetically active radiation ZHANG Mingda, LI Meng, HU Xueqiong, et al (7108)
- Effects of different tillage and straw systems on soil water-stable aggregate distribution and stability in the North China Plain TIAN Shenzhong, WANG Yu, LI Na, et al (7116)
- Effects of the *Larix gmelinii* grown under different light intensities on the development and defensive enzyme activities of *Lymantria dispar* larvae LU Yifang, YAN Junxin, LI Shuangwen, et al (7125)
- Biological control efficiency of *Orius similis* Zheng (Hemiptera: Anthocoridae) on *Frankliniella occidentalis* (Pergande) under different spatial and caged conditions MO Lifeng, ZHI Junrui, TIAN Tian (7132)
- Preliminary study on scavenging mechanism of dissolved aluminum by phytoplankton WANG Zhaowei, REN Jingling, YAN Li, et al (7140)
- Leaf-form characteristics of plants in *Quercus aquifolioides* community along an elevational gradient on the Balang Mountain in Wolong Nature Reserve, Sichuan, China LIU Xingliang, HE Fei, FAN Hua, et al (7148)
- Comparison of shrimp density between the Minjiang estuary and Xinhua bay during spring and summer XU Zhaoli, SUN Yue (7157)
- The feeding selectivity of an herbivorous amphipod *Ampithoe valida* on three dominant macroalgal species of Yundang Lagoon ZHENG Xinqing, HUANG Lingfeng, LI Yuanchao, et al (7166)

Population, Community and Ecosystem

- Effects of four different agricultural prevention and control measures on rice yellow stem borer *Tryporyza incertulas* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) ZHANG Zhenfei, HUANG Bingchao, XIAO Hanxiang, et al (7173)
- Soil nitrogen concentrations and transformations under different vegetation types in forested zones of the Loess Gully Region XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (7181)
- Ecosystem health assessment based on diagnosis CAI Xia, XU Songjun, CHEN Shanhao, et al (7190)
- The production and accumulation of phytoliths in rice ecosystems: a case study to Jiaxing Paddy Field LI Zimin, SONG Zhaoliang, JIANG Peikun (7197)
- Application of a free search-based projection pursuit model in investigating reed in wetlands LI Xinhua, ZHAO Chengyi (7204)

- Soil microbial diversity under typical vegetation zones along an elevation gradient in Helan Mountains
 LIU Bingru, ZHANG Xiuzhen, HU Tianhua, et al (7211)
- Effects of shrub encroachment on biomass and biodiversity in the typical steppe of Inner Mongolia
 PENG Haiying, LI Xiaoyan, TONG Shaoyu (7221)
- Research on diaspore morphology and species distribution of 80 plants in the hill-gully Loess Plateau
 WANG Dongli, ZHANG Xiaoyan, JIAO Juying, et al (7230)
- Habitat suitability assessment of blue sheep in Helan Mountain based on MAXENT modeling
 LIU Zhensheng, GAO Hui, TENG Liwei, et al (7243)
- Characteristic of phytoplankton primary productivity and influencing factors in littoral zone of Lake Taihu
 CAI Linlin, ZHU Guangwei, LI Xiangyang (7250)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Responses of soil respiration to changes in depth of seasonal frozen soil in Ebinur Lake area, arid area of Northwest China
 QIN Lu, LV Guanghui, HE Xuemin, et al (7259)
- Seasonal and annual variation characteristic in basal soil respiration of black loam under the condition of farmland field
 ZHANG Yanjun, GUO Shengli, LIU Qingfang, et al (7270)
- Resource and Industrial Ecology**
- Economic evaluation and protection of *Amygdalus mira* genetic resource ZHANG Lirong, MENG Rui, LU Guobin (7277)
- Meteorological grading indexes of water-saving irrigation for cotton XIAO Jingjing, HUO Zhiguo, YAO Yiping, et al (7288)
- Research Notes**
- Sprouts characteristic structure of *Taxus yunnanensis* plantation SU Lei, SU Jianrong, LIU Wande, et al (7300)
- The effects of forest conversion on soil N mineralization and its availability in central jiangxi subtropical region
 SONG Qingni, YANG Qingpei, YU Dingkun, et al (7309)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,280 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

本期责任副主编 杨志峰

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 33 卷 第 22 期 (2013 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 22 (November, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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: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@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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元