

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第23期 Vol.33 No.23 **2013**

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 33 卷 第 23 期      2013 年 12 月      (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 基于树干液流技术的北京市刺槐冠层吸收臭氧特征研究..... 王 华, 欧阳志云, 任玉芬, 等 (7323)
- 三疣梭子蟹增殖过程对野生种群的遗传影响——以海州湾为例..... 董志国, 李晓英, 张庆起, 等 (7332)
- 土壤盐分对三角叶滨藜抗旱性能的影响..... 谭永芹, 柏新富, 侯玉平, 等 (7340)
- 南美斑潜蝇为害对黄瓜体内 4 种防御酶活性的影响..... 孙兴华, 周晓榕, 庞保平, 等 (7348)

### 个体与基础生态

- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物养分输入量的早期影响..... 肖银龙, 涂利华, 胡庭兴, 等 (7355)
- 茎瘤芥不同生长期植株营养特性及其与产量的关系..... 赵 欢, 李会合, 吕慧峰, 等 (7364)
- 雷竹覆盖物分解速率及其硅含量的变化..... 黄张婷, 张 艳, 宋照亮, 等 (7373)
- 渍水对油菜苗期生长及生理特性的影响..... 张树杰, 廖 星, 胡小加, 等 (7382)
- 广西扶绥黑叶猴的主要食源植物及其粗蛋白含量..... 李友邦, 丁 平, 黄乘明, 等 (7390)
- 氮素营养水平对膜下滴灌玉米穗位叶光合及氮代谢酶活性的影响..... 谷 岩, 胡文河, 徐百军, 等 (7399)
- PFOS 对斑马鱼胚胎及仔鱼的生态毒理效应 ..... 夏继刚, 牛翠娟, 孙麓垠 (7408)
- 浒苔干粉提取对东海原甲藻和中肋骨条藻的克生作用..... 韩秀荣, 高 嵩, 侯俊妮, 等 (7417)
- 基于柑橘木虱 CO I 基因的捕食性天敌捕食作用评估 ..... 孟 翔, 欧阳革成, Xia Yulu, 等 (7430)
- 健康和虫害的红松挥发物对赤松梢斑螟及其寄生蜂寄主选择行为的影响.....  
..... 王 琪, 严善春, 严俊鑫, 等 (7437)

### 种群、群落和生态系统

- 小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系.....  
..... 董 艳, 董 坤, 汤 利, 等 (7445)
- 喀斯特峰丛洼地不同生态系统的土壤肥力变化特征..... 于 扬, 杜 虎, 宋同清, 等 (7455)
- 黄土高原人工苜蓿草地固碳效应评估..... 李文静, 王 振, 韩清芳, 等 (7467)

### 景观、区域和全球生态

- 粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响..... 李轶冰, 逢焕成, 杨 雪, 等 (7478)
- 三峡库区典型农林流域景观格局对径流和泥沙输出的影响..... 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等 (7487)
- 基于 BP 神经网络与 ETM+ 遥感数据的盐城滨海自然湿地覆被分类..... 肖锦成, 欧维新, 符海月 (7496)
- 寒温带针叶林土壤 CH<sub>4</sub> 吸收对模拟大气氮沉降增加的初期响应..... 高文龙, 程淑兰, 方华军, 等 (7505)
- 寒温带针叶林土壤呼吸作用的时空特征..... 贾丙瑞, 周广胜, 蒋延玲, 等 (7516)

- 黄土高原小麦田土壤呼吸季节和年际变化..... 周小平,王效科,张红星,等 (7525)  
不同排放源周边大气环境中 NH<sub>3</sub>浓度动态..... 刘杰云,况福虹,唐傲寒,等 (7537)  
施加秸秆和蚯蚓活动对麦田 N<sub>2</sub>O 排放的影响 ..... 罗天相,胡 锋,李辉信 (7545)

#### 资源与产业生态

- 基于水声学方法的天目湖鱼类资源捕捞与放流的生态监测..... 孙明波,谷孝鸿,曾庆飞,等 (7553)  
应用支持向量机评价太湖富营养化状态..... 张成成,沈爱春,张晓晴,等 (7563)

#### 研究简报

- 亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征 ..... 徐旺明,闫文德,李洁冰,等 (7570)  
青蒿素对蔬菜种子发芽和幼苗生长的化感效应 ..... 白 祯,黄 玥,黄建国 (7576)  
NO 参与 AM 真菌与烟草共生过程 ..... 王 玮,赵方贵,侯丽霞,等 (7583)  
基于核密度估计的动物生境适宜度制图方法..... 张桂铭,朱阿兴,杨胜天,等 (7590)  
施氮方式对转基因棉花 Bt 蛋白含量及产量的影响 ..... 马宗斌,刘桂珍,严根土,等 (7601)

#### 学术信息与动态

- 未来地球——全球可持续性研究计划..... 刘源鑫,赵文武 (7610)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 292 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 33 \* 2013-12



**封面图说:** 兴安落叶松林景观——中国的寒温带针叶林属于东西伯利亚森林向南的延伸部分,它是大兴安岭北部一带的地带性植被类型,一般可分为落叶针叶林和常绿针叶林两类。兴安落叶松林景观地下部分为棕色森林土,中上部为灰化棕色针叶林土,均呈酸性反应。随着全球气候持续变暖,寒温带针叶林生态系统潜在的巨大碳库将可能成为大气 CO<sub>2</sub> 的重要来源,研究表明,温度是寒温带针叶林生态系统土壤呼吸作用的主要调控因子,对温度的敏感性随纬度升高而增加,根系和凋落物与土壤呼吸作用表现出相似的空间变异性。

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/stxb201302270314

张成成, 沈爱春, 张晓晴, 陈求稳. 应用支持向量机评价太湖富营养化状态. 生态学报, 2013, 33(23): 7563-7569.

Zhang C C, Shen A C, Zhang X Q, Chen Q W. Application of support vector machine to evaluate the eutrophication status of Taihu Lake. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(23): 7563-7569.

## 应用支持向量机评价太湖富营养化状态

张成成<sup>1</sup>, 沈爱春<sup>2</sup>, 张晓晴<sup>1</sup>, 陈求稳<sup>1,3,\*</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;

2. 太湖流域管理局水文水资源监测局, 无锡 214024; 3. 三峡大学, 宜昌 443002)

**摘要:** 根据湖泊富营养化程度评价标准, 随机生成大量学习样本, 运用支持向量机(SVM)算法建立富营养化评价模型。采用太湖 2012 年 7—9 月的监测数据, 分别应用 SVM 模型和线性插值评分法(SCO)对太湖 33 个监测点的富营养化状况进行了评价。结果表明太湖在 2012 年 7—9 月共出现 3 种营养类型, 其中, 中营养主要分布于东部湖区, 轻度富营养主要分布于湖心区和东部沿岸区, 中度富营养主要分布于西北部湖区, 太湖水体整体表现为轻度到中度富营养水平。通过 SVM 和 SCO 结果的对比分析, 发现两种评价方法的结果一致率为 78.8%, 出现不一致的个例均属于相邻营养等级, 表明该 SVM 模型是有效的, 能够应用于太湖的富营养化评价, 且具有更好的收敛性和泛化性。

**关键词:** 太湖; 富营养化评价; 支持向量机

## Application of support vector machine to evaluate the eutrophication status of Taihu Lake

ZHANG Chengcheng<sup>1</sup>, SHEN Aichun<sup>2</sup>, ZHANG Xiaoqing<sup>1</sup>, CHEN Qiuwen<sup>1,3,\*</sup>

1 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Bureau of Hydrology and Water Resources Monitoring, Taihu Basin Management Bureau, Wuxi 214024, China

3 China Three Gorges University, Yichang 443002, China

**Abstract:** The results of eutrophication assessment can not only reflect the conditions of water quality and the status of pollution, but also provide some evidence and guidance for eutrophication controls, watershed managements and policy decisions. Essentially, the process of eutrophication assessment could be considered as a multi-index classification problem. However, the relationship between the eco-environmental factors and the eutrophication status is complex, nonlinear and uncertain. In recent years, a variety of artificial intelligent methods have been used for eutrophication assessment, such as fuzzy synthetic evaluation, fuzzy mathematics, grey cluster, grey situation decision, evolutionary algorithm and artificial neural network (ANN). These methods have been playing important roles in eutrophication assessment, but there are still uncertainty and inconsistency in the results. The fuzzy and grey methods have great subjectivity in determining the structures of evaluation functions and the weights of evaluation indexes, the evolutionary algorithm is mainly used for parameter optimization of existing evaluation models; and the ANN has inherent problems such as uncertainty of network structure, potential of local optimum and no guarantee of model generality.

As a relatively new machine-learning algorithm, Support Vector Machine (SVM) has shown promising advantages in solving classification problems. The fundamental idea is to use certain kind of kernel functions to map the vectors in lower dimensional space to a higher dimensional space so that these vectors could be linearly classified into two parts, and then

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(50920105907); 中国科学院百人计划资助项目(A1049)

**收稿日期:** 2013-02-27; **修订日期:** 2013-10-10

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qchen@cees.ac.cn

conducting a hyperplane that has the largest distance to the nearest vector of any class to make the separation. Although sharing some similarities to ANN in process of model building, SVM has entirely different theoretical basis. Despite its broad applications, the method has been merely used in lake eutrophication assessment.

In this study, an eutrophication assessment model has been built by using the classification algorithm of LIBSVM (a simple, easy-to-use, and efficient software for SVM classification and regression), based on the learning data randomly generated from the existing eutrophication assessment standard for lakes and reservoirs. The model was then applied to the Taihu Lake, where data were collected from 33 monitoring sites during July to September in 2012. The results showed that there are 3 types of trophic status in the Taihu Lake with respect to space. The mesotrophic areas were mainly in the east part of the lake, and light eutrophication areas were mostly located in the central and eastern regions, and the moderate eutrophication areas were largely in the northwestern region. The eutrophication status of the entire lake is about light to moderate eutrophication. By comparing to the results from the well-accepted Linear Interpolation Scoring Method, the consistency is about 78.8%, indicating good effectiveness and applicability of the SVM method, owing to its addition feature of high convergence and generalization.

**Key Words:** Taihu Lake; eutrophication evaluation; Support Vector Machine

富营养化评价结果不仅可以客观反映水环境的质量和污染状况,而且能为富营养化防治、管理和决策提供依据和指导。从本质上讲,富营养化评价是一个多指标分类问题,各指标与分类等级之间存在复杂、非线性和不确定的关系<sup>[1]</sup>。近年来,智能方法在富营养化评价方面获得了大量应用,如模糊评价法<sup>[2-4]</sup>、灰色理论评价法<sup>[5-6]</sup>、进化算法评价法<sup>[7-8]</sup>、人工神经网络评价法<sup>[9-10]</sup>等。这些方法对富营养化评价的发展起到了一定的促进作用,但在评价过程中尚存在不足<sup>[11]</sup>。其中,模糊评价法和灰色评价法在确定评价函数结构和评价指标权重方面存在较大的主观性,进化算法评价法主要用于对现有评价模型进行参数的优化选取,而人工神经网络评价法存在固有的网络结构难以确定、容易陷入局部最优以及无法保证模型泛化性等问题。支持向量机(Support Vector Machine, SVM)是一种基于统计学习理论的新型机器学习算法<sup>[12]</sup>,比较适用于解决富营养化评价这类非线性多指标分类问题<sup>[13-15]</sup>。虽然它在建模过程和形式上与人工神经网络法相似,但理论基础完全不同,且有效克服了人工神经网络法收敛性和泛化性的不足,具有较好的应用前景。

目前,应用支持向量机法进行太湖富营养化评价方面的研究尚比较少,本研究采用该方法建立了太湖的富营养化评价模型,并进行了实际应用,以期太湖的富营养化评价提供一种新的可选方法。

## 1 支持向量机简介

支持向量机(SVM)是 Cortes 和 Vapnik 于 1995 年首先提出的,它在解决小样本、非线性及高维模式识别中表现出许多特有的优势,并能够推广应用到函数拟合等其他机器学习问题中<sup>[16]</sup>。其基本思想是,利用核函数(Kernel Function)将低维空间中线性不可分的点映射成高维特征空间中线性可分的点,并通过划分超平面,使所有的点到分类超平面的距离最大化。

所谓的支持向量,指的是高维空间中那些距离分类超平面最近的点对应的低维空间点。它们来源于原始样本,对分类超平面的位置起决定作用。换言之,就是它们支持起了分类超平面。

将向量从低维空间向高维空间映射,会使计算复杂度变大。为此,SVM 中引入了核函数,从而巧妙地避免了这个问题。核函数能接受两个低维空间向量,计算出它们在高维空间中的内积值。常用的核函数有:

线性核函数

$$K(x_i, x_j) = x_i^T \cdot x_j \quad (1)$$

多项式核函数

$$K(x_i, x_j) = (\gamma x_i^T \cdot x_j + r)^d, \gamma > 0 \quad (2)$$

径向基核函数(Radial Basis Function,简称 RBF)

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2), \gamma > 0 \tag{3}$$

Sigmoid 核函数

$$K(x_i, x_j) = \tanh(\gamma x_i^T \cdot x_j + r) \tag{4}$$

式中,  $K$  为核函数;  $x_i, x_j$  为两个低维空间列向量, 在本研究中, 代表两组不同的样本, 且列向量中的每一个分量对应一个输入变量;  $d, \gamma$  和  $r$  为核参数。

由于 RBF 核函数能够将样本非线性地映射到更高维空间, 且数值条件和参数数目相对较少, 对模型选择的复杂度影响较小<sup>[13]</sup>, 一般都将其作为首选。确定核函数后, 需对相应参数进行优化选取, 通常采用基于交叉验证思想的网格搜索法<sup>[17]</sup>。SVM 的输入和输出, 一般如图 1 所示。

## 2 富营养化评价模型

### 2.1 评价标准

选取合适的评价标准, 对于评价结果的合理性与客观性至关重要。目前, 我国广泛使用的富营养评价方法有两种, 一是中国环境监测总站于 2001 年底推荐使用的综合营养状态指数法(简称 TLI 法)<sup>[18]</sup>, 二是中国水利部《地表水资源质量评价技术规程》(SL395—2007)

中采用的线性插值评分法(简称 SCO 法)。在评价指标选取和营养类型划分上, 二者是一致的。本研究采用与 SCO 法对应的湖库富营养化程度评价标准(表 1)。

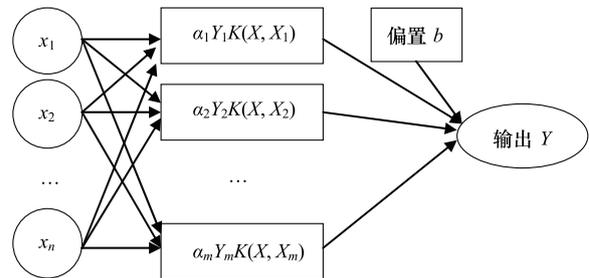


图 1 支持向量机的输入和输出

Fig.1 The inputs and outputs of SVM

其中,  $x_1-x_n$  为低维输入列向量, 用于替换核函数  $K$  中的  $X, X_1-X_m$  为支持向量,  $Y_1-Y_m$  为支持向量对应的目标值,  $\alpha_1-\alpha_m$  为系数, 输出  $Y$  为中间节点和偏置  $b$  之和

表 1 湖库富营养化程度评价标准

Table 1 The eutrophication evaluation standard of lakes and reservoirs

等级 Degree	营养类型 Nutrition type	评分 Score	叶绿素 a Chl-a/(mg/m <sup>3</sup> )	总磷 TP/(mg/L)	总氮 TN/(mg/L)	化学需氧量 COD/(mg/L)	透明度 SD/m
1	贫	10	0.5	0.001	0.02	0.15	10
		20	1	0.004	0.05	0.4	5
2	中	30	2	0.01	0.1	1	3
		40	4	0.025	0.3	2	1.5
		50	10	0.05	0.5	4	1
3	轻富	60	26	0.1	1	8	0.5
4	中富	70	64	0.2	2	10	0.4
		80	160	0.6	6	25	0.3
		90	400	0.9	9	40	0.2
5	重富	100	1000	1.3	16	60	0.12

### 2.2 指标归一化

为了消除不同量级数据对评价结果的影响, 按照公式 5 对表 1 中的评价指标和太湖实测数据进行了归一化处理:

$$X' = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \tag{5}$$

式中,  $X'$  为数据  $X$  归一化后的值,  $X_{\min}, X_{\max}$  分别为表 1 中与  $X$  对应的评价指标的最小值和最大值。

### 2.3 训练样本生成

在经过归一化处理的每个区间范围内随机生成 100 组样本, 以其中的 60 组作为训练样本, 剩余的 40 组作为验证样本。共获得训练样本 540 组, 验证样本 360 组。将 5 种营养等级分别“标记”为 {1, 2, 3, 4, 5}, 作

为模型输出的目标值。

## 2.4 评价模型建立

研究中采用 LIBSVM-3.16<sup>[19]</sup> 软件,对 SVM 分类算法进行了实现。首先,设置核函数为 RBF,相应参数为惩罚因子  $c$  和核参数  $g$ (公式 3 中的  $\gamma$ );然后,设置  $c \in \{2^{-10}, 2^{-9}, \dots, 2^{10}\}$ ,  $g \in \{2^{-10}, 2^{-9}, \dots, 2^{10}\}$ ,对训练样本进行 5 折交叉验证,得到最佳参数为  $c=4, g=32$ ;接着,按最佳参数取值,代入训练样本进行训练,即可建立评价模型;最后,将验证样本代入评价模型,得到验证准确率为 100% (360/360)。

## 3 实例应用

### 3.1 研究区域和数据

由《2012 太湖健康状况报告》可知,太湖通常被划分为 9 个湖区(图 2),各湖区富营养化状况不同。每年的夏季和秋季,为蓝藻水华发生较为严重的时期。为使评价结果更具代表性,选取对太湖 33 个监测点(图 2) 2012 年 7—9 月份的月监测数据(共 99 组)进行营养状况评价。研究所采用的数据通过合作从太湖流域管理局水文水资源监测局获得。

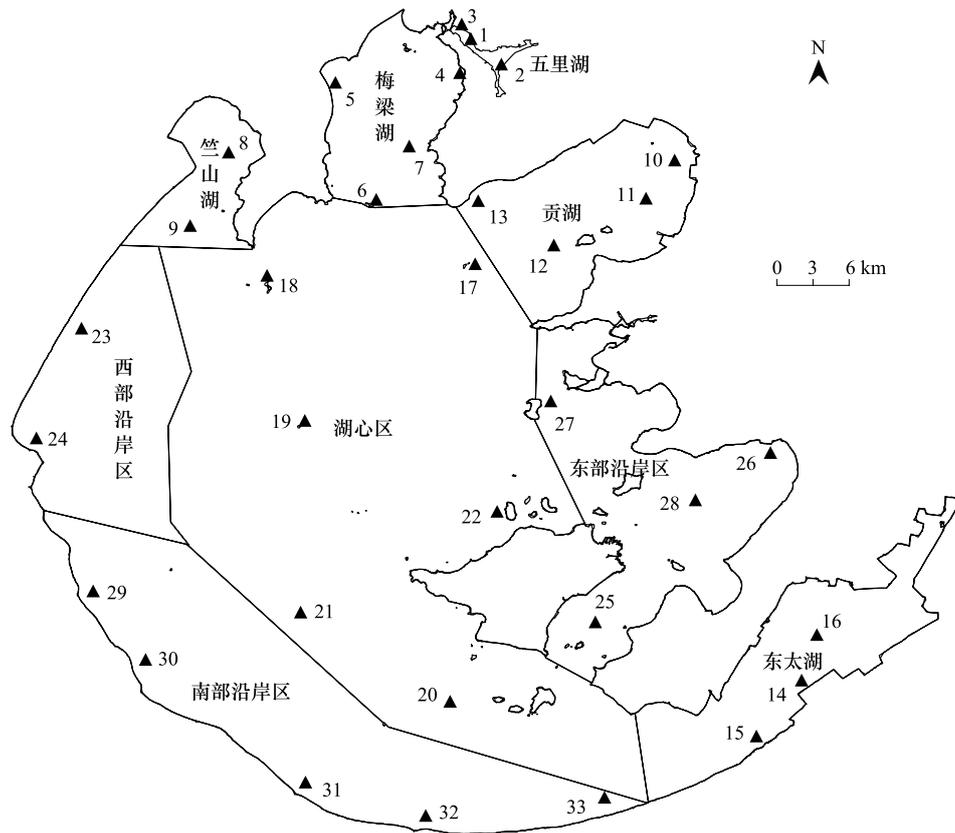


图 2 太湖分区及 33 个监测点位置

Fig.2 The partitions of Taihu Lake and the locations of 33 monitoring sites

### 3.2 评价结果和讨论

分别运用 SVM 评价法和 SCO 评价法,对 99 组数据进行评价,得到 33 个监测点 7—9 月的营养类型如图 3 所示,评分值以及两种方法的评价营养等级如表 2 所示。经统计,两种评价法的结果一致率为 78.8% (其中,7 月份为 100%,8 月份为 60.6%,9 月份为 75.8%),其中不一致的个例均属于相邻营养等级。

通过对两种方法的评价结果进行综合可知,2012 年 7—9 月份,太湖水体共出现 3 种营养类型,分别为中营养、轻度富营养和中度富营养。其中,中营养主要分布于东太湖,轻度富营养主要分布于湖心区和东部沿岸区,中度富营养主要分布于西北部湖区,这种水质分布状况与张晓晴等<sup>[20]</sup>的研究结果基本一致。太湖水体整

体表现为轻度到中度富营养状态。

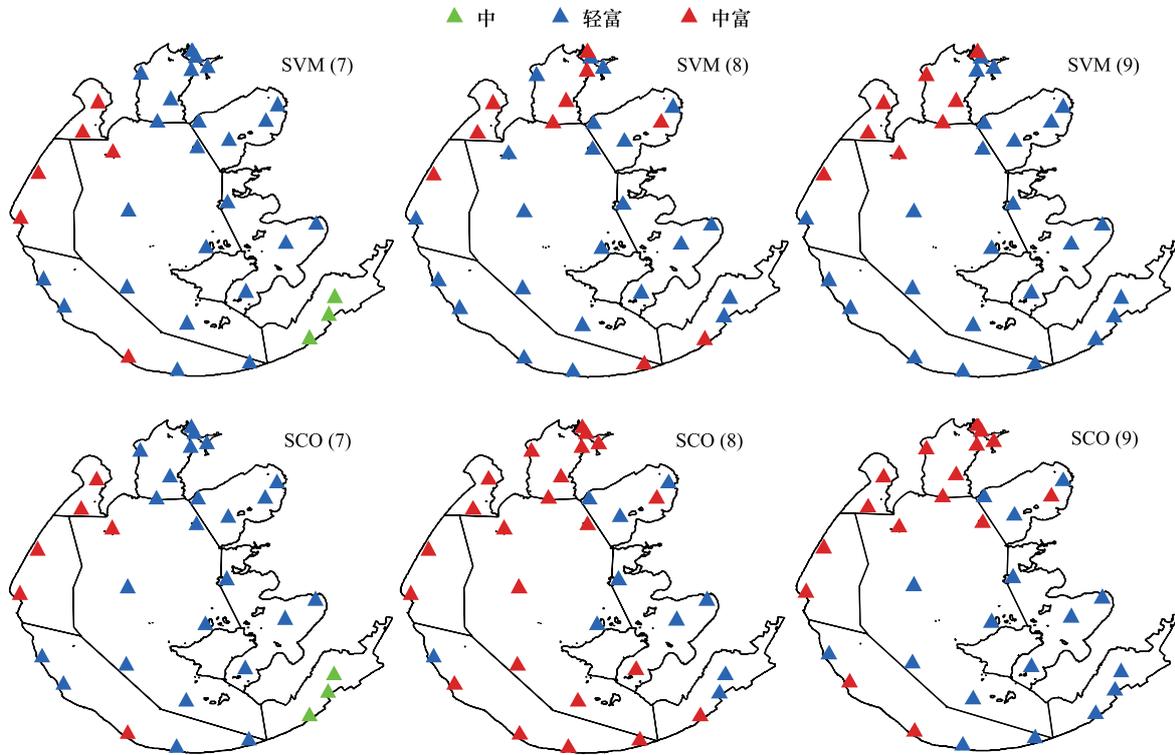


图 3 SVM 和 SCO 方法对太湖 33 个监测点 7—9 月营养状态的评价结果比较

Fig.3 Comparison results of Taihu Lake's 33 monitoring sites from July to September evaluated by the two methods

表 2 评分值以及两种方法的评价营养等级

Table 2 Scores and the evaluated eutrophication degrees of two methods

站点号 No.	7 月 July			8 月 August			9 月 September		
	评分	SCO	SVM	评分	SCO	SVM	评分	SCO	SVM
1	52.6	3	3	62.8	4	3	62.5	4	3
2	53.4	3	3	61.2	4	3	60.5	4	3
3	58.6	3	3	63.2	4	4	67.6	4	4
4	56.2	3	3	62.6	4	4	63.3	4	3
5	58.8	3	3	62.1	4	3	69.0	4	4
6	59.3	3	3	66.8	4	4	67.5	4	4
7	55.1	3	3	62.4	4	4	66.8	4	4
8	65.1	4	4	64.8	4	4	69.1	4	4
9	63.9	4	4	66.9	4	4	67.5	4	4
10	54.3	3	3	59.6	3	3	57.7	3	3
11	53.2	3	3	64.3	4	4	60.0	4	3
12	50.8	3	3	58.2	3	3	56.5	3	3
13	52.8	3	3	58.6	3	3	57.3	3	3
14	43.7	2	2	50.9	3	3	52.9	3	3
15	50.0	2	2	61.6	4	4	52.8	3	3
16	49.9	2	2	55.5	3	3	54.3	3	3
17	52.3	3	3	60.7	4	3	65.5	4	3
18	60.5	4	4	60.5	4	3	63.3	4	4
19	57.5	3	3	61.4	4	3	58.7	3	3
20	55.6	3	3	60.4	4	3	57.9	3	3

续表

站点号 No.	7月 July			8月 August			9月 September		
	评分	SCO	SVM	评分	SCO	SVM	评分	SCO	SVM
21	55.3	3	3	61.4	4	3	59.0	3	3
22	52.4	3	3	57.2	3	3	55.4	3	3
23	63.7	4	4	62.4	4	4	66.2	4	4
24	60.9	4	4	60.7	4	3	60.8	4	3
25	51.9	3	3	60.4	4	3	54.1	3	3
26	52.6	3	3	57.1	3	3	53.3	3	3
27	53.4	3	3	55.7	3	3	53.8	3	3
28	51.0	3	3	56.6	3	3	52.3	3	3
29	56.2	3	3	58.3	3	3	58.8	3	3
30	56.6	3	3	60.4	4	3	60.5	4	3
31	60.3	4	4	61.9	4	3	60.8	4	3
32	57.0	3	3	61.6	4	3	59.1	3	3
3	53.9	3	3	62.5	4	4	55.2	3	3

在7月份的评价结果中,SVM法得出太湖大部分水域的营养类型为轻度富营养,竺山湖为中度富营养,东太湖为中营养;SCO法得出的结果和SVM法结果一致。

在8月份的评价结果中,SVM法得出太湖大部分区域为轻富,竺山湖、梅梁湖为中富;SCO法评价结果显示大部分区域为中富,和SVM结果差异较大。

在9月份的评价结果中,SVM法得出太湖大部分区域为轻富,竺山湖、梅梁湖为中富;SCO法评价结果显示竺山湖、梅梁湖和少量西部湖区为中富,其余部分为轻富,总体上和SVM结果比较一致。

两种方法评价结果存在不一致的原因主要如下:

(1)评价原理不同 在SCO评价法中,首先采用线性插值法将各评价指标浓度值转换为相应的评分值,然后计算评分值的均值,并按其所处的区间范围判断营养等级;而在SVM评价法中,首先通过在评价标准各区间范围内,随机生成若干训练样本,然后利用SVM的分类算法,对样本进行训练,获得相应的评价模型,最后利用模型对水体的营养类型进行评价。两种方法评价原理的不同,会使评价结果产生差异。

(2)SVM评价法的建模过程存在随机性 由于SVM法所用的训练样本是随机产生的,而不同的训练样本,一般会得出不同的模型。这在一定程度上,也会对SVM评价模型的表现产生影响。

虽然两种方法的评价结果一致率为78.8%,但以上的结果及其分析表明SVM评价法是有效的,能够作为太湖富营养化状态评价的一种可选的新方法。但由于SVM方法基于低维变量和小样本数据,具有更好的泛化性;同时核函数的引入,提高了模型收敛性。

#### 4 结论

本研究根据已有的湖库富营养化程度评价标准,建立了太湖富营养化评价的支持向量机模型,然后分别运用该模型和线性插值评分法(SCO),对太湖2012年7—9月33个站点的99组水质数据进行了评价。通过对评价结果的对比分析,得到以下结论:

(1)2012年7—9月份,太湖水体共出现3种营养类型,中营养主要分布于东太湖,轻度富营养主要分布于湖心区和东部沿岸区,中度富营养主要分布于西北部湖区,太湖水体整体表现为轻度到中度富营养状态。

(2)本研究建立的支持向量机评价模型能够有效应用于太湖富营养化状态评价。实际应用表明两种方法的评价结果一致率为78.8%,存在不一致的个例均属于相邻营养等级。考虑到两种方法的评价原理不同,且建模过程存在随机性,78.8%的一致率是可以接受的,说明运用支持向量机建立太湖富营养化评价模型是有效的,且具有更好的收敛性和泛化性。

**References:**

- [ 1 ] Wu M, Li Z Y, Liu Z Y, Li D P. Application of improved set pair analysis to assessment of lake eutrophication. *Water Resources Protection*, 2009, 25(2): 5-9.
- [ 2 ] Taheriyoun M, Karamouz M, Baghvand A. Development of an entropy-based fuzzy eutrophication index for reservoir water quality evaluation. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 2010, 7(1): 1-14.
- [ 3 ] Pappas J L. Phytoplankton assemblages, environmental influences and trophic status using canonical correspondence analysis, fuzzy relations, and linguistic translation. *Ecological Informatics*, 2010, 5(2): 79-88.
- [ 4 ] Zhang P, Huang Y L, Chen Y Y, Hu X L, Liu D F. Fuzzy mathematics for evaluation of eutrophication in Xiangxi Bay. *Environmental Science & Technology*, 2012, 35(6): 173-179.
- [ 5 ] Jiang L X, Yu S J, Wei D B, Liu T, Zhang Z F. Grey situation decision method applying to eutrophication evaluation for Lakes. *Environmental Sciences and Management*, 2006, 31(2): 10-12.
- [ 6 ] Hu L H, Pan A, Li T S, Li C Z, Wang Y H. Application of the grey clustering method to assessing the eutrophication of Shengzhong Reservoir. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(6): 2407-2412.
- [ 7 ] Zou C W, Jin X C, Xiong J Q, Li Z Y. Evolutionary ant colony algorithm and its application in evaluating the eutrophic state of lake. *Research of Environmental Sciences*, 2006, 19(5): 149-153.
- [ 8 ] Dang Y, Li Z Y, Zou Y L. Lake eutrophic evaluation based on bee immune evolutionary algorithm. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(16): 8618-8619, 8695.
- [ 9 ] Lin G S, Huang X Y, Li J. Application of artificial neural network method on eutrophication assessment for Shenzhen Reservoirs. *The Administration and Technique of Environmental Monitoring*, 2010, 22(1): 59-63.
- [ 10 ] Cui D W. Applications of several neural network models to eutrophication evaluation of lakes and reservoirs. *Water Resources Protection*, 2012, 28(6): 12-18.
- [ 11 ] Zhang C L, Fang C, Huang W J. Comprehensive evaluation method of projection pursuit based on particle swarm optimization in lake Eutrophication. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(27): 14823-14825, 14830.
- [ 12 ] Vapnik V. *The nature of statistical learning theory*. New York; Springer Verlag, 1995.
- [ 13 ] Shi X, Xiong Q Y, Lei L N. A comparative study of eutrophication evaluation models based on SOM neural network and SVM. *Journal of Chongqing University*, 2010, 33(3): 119-123.
- [ 14 ] Yang D J, Wang R, Shen G. SVM and ANN applied to evaluation of lake eutrophication: A comparative study. *Environmental Science & Technology*, 2012, 35(1): 173-177.
- [ 15 ] Xu L, Wang J Y, Zhang B, Li Z Y. A hybrid TS-SVM model for evaluation of lake eutrophication. *Advanced Materials Research*, 2012, 463-464: 917-921.
- [ 16 ] Liu X, Lu W. Study on the application of SVM in text classification. *IT Education*, 2007, 2: 72-77.
- [ 17 ] Hsu C W, Chang C C, Lin C J. A practical guide to support vector classification. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/index.html>.
- [ 18 ] Wang M C, Liu X Q, Zhang J H. Evaluate method and classification standard on lake eutrophication. *Environmental Monitoring in China*, 2002, 18(5): 47-49.
- [ 19 ] Chang C C, Lin C J. LIBSVM: a library for support vector machines. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 2011, 2(3): 1-27.
- [ 20 ] Zhang X Q, Chen Q W. Spatial-temporal characteristic of water quality in Lake Taihu and its relationship with algal bloom. *Journal of Lake Sciences*, 2011, 23(3): 339-347.

**参考文献:**

- [ 1 ] 邬敏, 李祚泳, 刘智勇, 李大鹏. 一种改进的集对分析法在湖泊富营养化评价中的应用. *水资源保护*, 2009, 25(2): 5-9.
- [ 4 ] 张平, 黄钰铃, 陈媛媛, 胡响铃, 刘德富. 模糊数学在香溪河库湾富营养化评价中的应用. *环境科学与技术*, 2012, 35(6): 173-179.
- [ 5 ] 蒋利鑫, 于苏俊, 魏代波, 刘涛, 张子峰. 湖泊富营养化评价中的灰色局势决策法. *环境科学与管理*, 2006, 31(2): 10-12.
- [ 6 ] 胡丽慧, 潘安, 李铁松, 李成柱, 王佑汉. 灰色聚类法在升钟水库水体富营养化评价中的应用. *农业环境科学学报*, 2008, 27(6): 2407-2412.
- [ 7 ] 邹长武, 金相灿, 熊建秋, 李祚泳. 进化蚁群算法及其在湖泊富营养化评价中的应用. *环境科学研究*, 2006, 19(5): 149-153.
- [ 8 ] 党媛, 李祚泳, 邹艳玲. 基于蜜蜂免疫进化算法的湖泊富营养化评价. *安徽农业科学*, 2010, 38(16): 8618-8619, 8695.
- [ 9 ] 林高松, 黄晓英, 李娟. 人工神经网络在深圳市水库富营养化评价中的应用. *环境监测管理与技术*, 2010, 22(1): 59-63.
- [ 10 ] 崔东文. 几种神经网络模型在湖库富营养化程度评价中的应用. *水资源保护*, 2012, 28(6): 12-18.
- [ 11 ] 张春乐, 方崇, 黄伟军. 基于粒子群算法湖泊富营养化评价的投影寻踪方法. *安徽农业科学*, 2010, 38(27): 14823-14825, 14830.
- [ 13 ] 石欣, 熊庆宇, 雷璐宁. SOM网络与SVM在水质富营养化评价中的对比. *重庆大学学报*, 2010, 33(3): 119-123.
- [ 14 ] 杨道军, 王冉, 沈刚. SVM与ANN在湖泊富营养化评价中的对比研究. *环境科学与技术*, 2012, 35(1): 173-177.
- [ 16 ] 刘霞, 卢苇. SVM在文本分类中的应用研究. *计算机教育*, 2007, 2: 72-77.
- [ 18 ] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准. *中国环境监测*, 2002, 18(5): 47-49.
- [ 20 ] 张晓晴, 陈求稳. 太湖水质时空特性及其与蓝藻水华的关系. *湖泊科学*, 2011, 23(3): 339-347.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.23 Dec., 2013 (Semimonthly)

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

- Ozone uptake at the canopy level in *Robinia pseudoacacia* in Beijing based on sap flow measurements ..... WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (7323)
- Genetic impact of swimming crab *Portunus trituberculatus* farming on wild genetic resources in Haizhou Bay ..... DONG Zhiguo, LI Xiaoying, ZHANG Qingqi, et al (7332)
- The effect of soil salinity to improve the drought tolerance of arrowleaf saltbush ..... TAN Yongqin, BAI Xinfu, HOU Yuping, et al (7340)
- Effects of *Liriomyza huidobrensis* infestation on the activities of four defensive enzymes in the leaves of cucumber plants ..... SUN Xinghua, ZHOU Xiaorong, PANG Baoping, et al (7348)

### Autecology & Fundamentals

- Early effects of simulated nitrogen deposition on annual nutrient input from litterfall in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China ..... XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (7355)
- Relationship between nutrient characteristics and yields of tumorous stem mustard at different growth stage ..... ZHAO Huan, LI Huihe, LÜ Huifeng, et al (7364)
- Decomposition rate and silicon dynamic of mulching residue under *Phyllostachys praecox* stands ..... HUANG Zhangting, ZHANG Yan, SONG Zhaoliang, et al (7373)
- Effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape ..... ZHANG Shujie, LIAO Xing, HU Xiaojia, et al (7382)
- The crude protein content of main food plants of François' langur (*Trachypithecus francoisi*) in Fusui, Guangxi, China ..... LI Youbang, DING Ping, HUANG Chengming, et al (7390)
- Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics and enzyme activity of nitrogen metabolism in maize under-mulch-drip irrigation ..... GU Yan, HU Wenhe, XU Baijun, et al (7399)
- Ecotoxicological effects of exposure to PFOS on embryo and larva of zabrafish *Danio rerio* ..... XIA Jigang, NIU Cuijuan, SUN Luyin (7408)
- Allelopathic effects of extracts from *Ulva prolifera* powders on the growth of *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* ..... HAN Xiurong, GAO Song, HOU Junni, et al (7417)
- Predation evaluation of *Diaphorina citri*'s (Homoptera: Chermidae) natural enemies using the CO I marker gene ..... MENG Xiang, OUYANG Gecheng, XIA Yulu, et al (7430)
- Effect of volatiles from healthy or worm bored Korean pine on host selective behavior of *Dioryctria sylvestrella* and its parasitoid *Macrocentrus* sp. .... WANG Qi, YAN Shanchun, YAN Junxin, et al (7437)

### Population, Community and Ecosystem

- Relationship between rhizosphere microbial community functional diversity and faba bean fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping system ..... DONG Yan, DONG Kun, TANG Li, et al (7445)
- Characteristics of soil fertility in different ecosystems in depressions between karst hills ..... YU Yang, DU Hu, SONG Tongqing, et al (7455)
- Evaluation on carbon sequestration effects of artificial alfalfa pastures in the Loess Plateau area ..... LI Wenjing, WANG Zhen, HAN Qingfang, et al (7467)

### Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of deep vertically rotary tillage on soil water and water use efficiency in northern China's Huang-huai-hai Region ..... LI Yibing, PANG Huancheng, YANG Xue, et al (7478)

- Effects of landscape patterns on runoff and sediment export from typical agroforestry watersheds in the Three Gorges Reservoir area, China ..... HUANG Zhilin, TIAN Yaowu, XIAO Wenfa, et al (7487)
- Land cover classification of Yancheng Coastal Natural Wetlands based on BP neural network and ETM+ remote sensing data ..... XIAO Jincheng, OU Weixin, FU Haiyue (7496)
- Early responses of soil CH<sub>4</sub> uptake to increased atmospheric nitrogen deposition in a cold-temperate coniferous forest ..... GAO Wenlong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al (7505)
- Temporal-spatial characteristics of soil respiration in Chinese boreal forest ecosystem ..... JIA Bingrui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (7516)
- Seasonal and interannual variability in soil respiration in wheat field of the Loess Plateau, China ..... ZHOU Xiaoping, WANG Xiaoke, ZHANG Hongxing, et al (7525)
- Dynamics of atmospheric ammonia concentrations near different emission sources ..... LIU Jieyun, KUANG Fuhong, TANG Aohan, et al (7537)
- Influence of residues and earthworms application on N<sub>2</sub>O emissions of winter wheat ... LUO Tianxiang, HU Feng, LI Huixin (7545)
- Resource and Industrial Ecology**
- Ecological monitoring of the fish resources catching and stocking in Lake Tianmu basing on the hydroacoustic method ..... SUN Mingbo, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (7553)
- Application of support vector machine to evaluate the eutrophication status of Taihu Lake ..... ZHANG Chengcheng, SHEN Aichun, ZHANG Xiaoqing, et al (7563)
- Research Notes**
- Amount and dynamic characteristics of litterfall in four forest types in subtropical China ..... XU Wangming, YAN Wende, LI Jiebing, et al (7570)
- Allelopathic effects of artemisinin on seed germination and seedling growth of vegetables ..... BAI Zhen, HUANG Yue, HUANG Jianguo (7576)
- Nitric oxide participates symbiosis between am fungi and tobacco plants ..... WANG Wei, ZHAO Fanggui, HOU Lixia, et al (7583)
- Mapping wildlife habitat suitability using kernel density estimation ..... ZHANG Guiming, ZHU A'xing, YANG Shengtian, et al (7590)
- Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein and yield of transgenic cotton ..... MA Zongbin, LIU Guizhen, YAN Gentu, et al (7601)

# 《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 王德利 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 23 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 23 (December, 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

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元