

福建省水土流失地理国情监测研究与应用

——以22个重点县为例

陈哲锋

(福建省地质测绘院, 福建 福州 350011)

摘要: 为掌握福建省境内22个重点县水土流失地理国情现状, 利用高分辨率资源三号遥感卫星影像数据进行监测分析。以土壤侵蚀分类分级标准 SL190-2007为依据, 通过土地利用、植被覆盖度以及坡度等水土流失影响因子的信息提取, 基于GIS软件平台上, 建立符合福建省水土流失地理国情的遥感监测信息提取模型。经GPS进行野外调查、验证和修改, 最终完成区域水土流失图斑的提取和建库工作, 为科学规划与治理及其成效分析等提供科学依据。

关键词: 水土流失; 地理国情; 监测; 模型

中图分类号: X87

文献标志码: A

Research of Geographical Condition Monitoring of Soil Erosion in Fujian Province and Its Application

—— Taking 22 Key Counties as Examples

Chen Zhefeng

(Fujian Geologic Surveying and Mapping Institute, Fuzhou 350011, China)

Abstract: In this paper, remote sensing image data from the high resolution ZY-3 satellite was used to monitor the current status of geographical conditions of soil erosion in 22 key counties in Fujian Province. In accordance with the standards for classification and gradation of soil erosion (SL190-2007), information related to the factors influencing soil erosion such as land utilization, vegetation fraction and slope was extracted. On the basis of GIS software platform, a model of extraction of remote sensing monitoring information in line with the geographical conditions of soil erosion in Fujian Province was set up. After field survey, verification and modification by GPS, extraction of graph spots of the regional soil erosion and database building were finalized, providing scientific basis for scientific planning, control and related effect analysis.

Keywords: Soil Erosion; Geographical Conditions; Monitoring; Model

水土资源是人类赖以生存的物质基础, 是社会经济发展的基础资源。随着工业化、城镇化加速推进, 水土资源相对不足、环境承载力弱成为制约我国经济社会发展的突出问题, 其中水土流失是水土资源退化和生态恶化的主要表现形式^[1]。据2005年水利部、中国科学院和中国工程院联合开展的“中国水土流失与生态安全综合科学考察”研究显示, 水土流失对我国经济社会发展的

影响是多方面、全局性的和深远的: 一是导致土地退化, 毁坏耕地, 威胁国家粮食安全; 二是导致江河湖库淤积, 加剧洪涝灾害, 对我国防洪安全构成巨大威胁; 三是恶化生存环境, 加剧贫困, 成为制约山丘区经济社会发展的重要因素; 四是削弱生态系统的调节功能, 加重旱灾损失和面源污染, 对我国生态安全和饮水安全构成严重威胁^[2]。

收稿日期: 2014-03-11

作者简介: 陈哲锋(1983-), 男, 硕士、工程师。研究方向: 遥感综合研究与应用。

南方地区多为红壤土壤，其土壤抗蚀性能差，加上山多坡陡，矿山开采、工程施工建设等剧烈的人类活动使得红壤地区成为我国水土流失范围最广、程度较高的地区，严重程度仅次于黄土高原^[3-4]。2012年福建省应用遥感技术对22个重点县的水体流失地理国情现状及治理效果进行调查，遥感调查区域见图1。

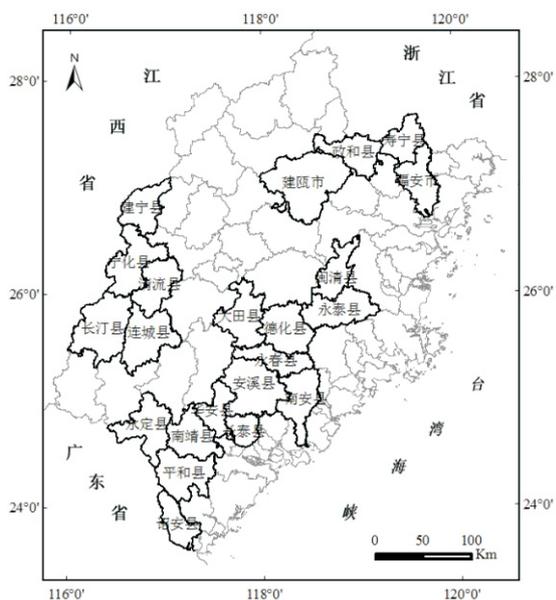


图1 22个遥感调查区域分布情况

此次调查主要采用高分辨率资源三号卫星遥感影像数据，利用3S技术完成土地利用、植被覆盖度、坡度等水土流失影响因子的信息提取工作，在GIS软件平台上，建立符合福建省水土流失地理国情的遥感监测信息提取模型，最后通过GPS技术完成野外验证工作，最终建立包含流失图斑、影像数据、土地利用、植被覆盖度、坡度、数据统计表格、报告等数据库。

1 技术方法

根据国家水利部水土保持监测中心的技术要求，土壤侵蚀动态监测与数据库更新的内容只包括水力侵蚀、风力侵蚀和冻融侵蚀3大类型。福建土壤侵蚀类型有水力蚀，风力侵蚀和重力侵蚀，由于风力侵蚀和重力侵蚀的面积很小，呈零星分布，根据水利部水土保持监测中心对福建调查工作的意见，本研究不考虑风力侵蚀和重力侵蚀类型，重点调查水力侵蚀的面

蚀一种。

水力侵蚀水土流失主要受土壤可蚀性、植被覆盖度、地形地貌、土地利用现状、雨水侵蚀等因素影响^[5-10]，为实时快速摸清水土流失现状，此次则主要考虑植被覆盖度、土地利用类型、地形坡度等水土流失面蚀因子^[11-14]以及区域开发与大型建设工程等要素，利用3S技术对福建22个重点县水土流失省情开展遥感动态监测。

根据上述研究思路，制定技术路线，见图2。

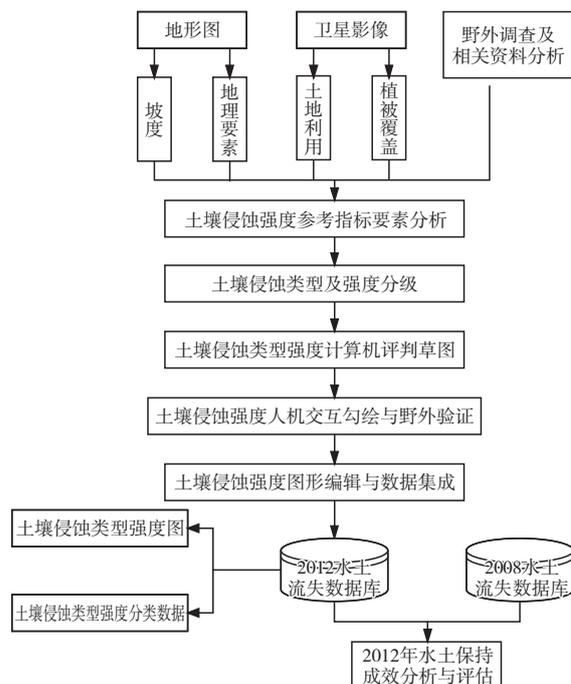


图2 水土流失监测技术路线

此技术采用3S技术，彼此间又相互交叉进行，主要步骤：

(1) 水土流失影响因子信息提取，主要应用RS和GIS技术，包括前期遥感影像校正、土地利用、植被覆盖度、坡度等信息提取；

(2) 影响因子参考指标与流失强度分析，主要利用GIS技术对各因子影响水土流失情况分析，建立监测模型；

(3) 对生成的水土流失图斑进行野外验证、修改和补测，主要应用GIS和GPS技术，快速完成水土流失建库工作。

2 遥感影像数据

2013年采用了资源三号遥感数据和部分

RapidEye遥感补充数据。资源三号卫星是我国首颗民用高分辨率光学传输型立体测图卫星，集测绘和资源调查功能于一体，为国土资源调查与监测、防灾减灾、农林水利、生态环境、城市规划与建设、交通、国家重大工程等领域的应用提供服务。其红、近红外波段用于植被覆盖度的提取；多光谱波段与全色融合后为土地利用信息提取提供高分辨率遥感影像，技术参数见表1。

表1 资源三号卫星参数

指标	参数
光谱波段	蓝 440 ~ 520 nm
	绿 520 ~ 590 nm
	红 630 ~ 690 nm
	近红外 770 ~ 890 nm
全色波段	500 ~ 800 nm
地面采样间隔 (星点下)	多光谱 6 m、全色 2.1 m
影像像素大小 (正射影像)	5.8 m
幅宽	51 km
重访周期	5 d

对影像数据进行校正、融合、镶嵌、裁切等一系列影像处理，其中资源三号卫星影像采用ERDAS下的QuickBirk RPC正射校正模型校正，以正射校正后的全色影像为基础，对多光谱影像进行配准，采用公式(1)进行伪真彩色处理，运用Pansharpen (PCI)进行融合运算，使影像整体色彩适度，纹理、信息丰富，层次、细节清晰。

$$\begin{cases} \text{Red} = B3 \\ \text{Green} = \frac{x \times B2 + y \times B4}{x + y} \\ \text{Blue} = B2 \end{cases} \quad (1)$$

式中：Red为红色通道；Green为绿色通道；Blue为蓝色通道；B2为绿波段；B3为红波段；B4为近红外波段；x、y为系数项 $\in [0,1]$ 。

3 水土流失影响因子提取

3.1 植被覆盖度遥感信息提取

植被覆盖度的分级参照《土壤侵蚀分类分级标准》^[11]中的植被盖度分级标准，可划分为低覆盖（覆盖度<30%）、中低覆盖（覆盖度<30%~45%）、中覆盖（覆盖度<45%~60%）、中高覆盖（覆盖度<60%~75%）和高覆盖（覆盖度

>75%），坡耕地植被不分等级。通过归一化植被指数（NDVI-Normalized Difference Vegetation Index）进行植被覆盖度信息提取^[11,12]，采用资源三号卫星的红、近红外波段进行NDVI公式(2)计算，根据NDVI数值，结合不同级别的植被覆盖度的植被在真彩色遥感影像特征，多次查询区域范围内同一级别的植被覆盖度的NDVI值，通过统计均值来确定植被覆盖度的阈值。

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (2)$$

式中：NIR为近红外波段；R为红光波段。

3.2 土地利用类型遥感解译

土地利用类型是土壤侵蚀强度划分的重要参考指标，遥感解译主要通过资源三号融合后高分遥感影像，根据国家土地利用分类标准和影像中各地类的色调、形状、纹理、位置、大小等特征，通过野外调查验证，建立遥感解译标志，对土地利用现状目标进行目标识别和特征信息的提取，通过人机交互方式勾绘地类图斑界线并确定地类类型，并结合土壤侵蚀分类分级标准^[11]对水土流失影响情况进行适当归并和分离，地类可划分为无流失或微度流失、流失和坡耕地地类，见表2。

表2 土地利用水力侵蚀强度分级

地类划分	地类归并
无流失或微度流失地类	011、101、102、104、111、113、114、115、116、117、118、201、202、203、205、128
流失地类	021、022、023、031、032、033、043、204、127
坡耕地	012、013

其中对裸地（127）细分为流失地类裸土（128）和无流失地类裸岩（129）。

在水土流失中，坡耕地只与坡度有关，坡度越陡水土流失越厉害，与植被覆盖度无关；流失地类与坡度、植被覆盖度都相关，与坡度成正比，坡度越陡，水土流失越厉害，与植被覆盖度成反比，覆盖度越大，水土流失越小。

3.3 地形坡度GIS分析

研究区坡度数据的获取方法是基于GIS软件平台里面，将工作区范围划分成若干个单元格网，并把这些格网与预处理过的数字高程模型DEM进行叠加，基于DEM，应用空间分析生成GRID格式的坡度数据。

通过计算单元格最高点与最低点的高差确定单元格的地势强度。在提取坡度信息的过程中，算法的选择将直接影响坡度的精度，是计算求取坡度的关键。为此，经过比较坡度不同求取算法的优缺点后，我们选择了 ARCGIS平台中进行坡度的求取。坡度表示了地表面在该点的倾斜程度，即过该点的切平面与水平面的夹角，其中 x 、 y 、 z 分别表示某点 x 和 y 方向上的距离值及高程值。 dx 、 dy 、 dz 分别表示某点在 x 和 y 方向上的距离变化值及高程变化值。 $\tan(\text{slope})$ 表示坡度的正切值。

结合土壤侵蚀分类分级标准^[1]将生成的坡度数据按6级 ($<5^\circ$ 、 $5^\circ \sim 8^\circ$ 、 $8^\circ \sim 15^\circ$ 、 $15^\circ \sim 25^\circ$ 、 $25^\circ \sim 35^\circ$ 、 $>35^\circ$) 划分，编制区域坡度分级图。

4 侵蚀强度信息分析与建模

根据土壤侵蚀分类分级标准采用多因子进行叠加分析，对坡度、地类、植被覆盖度在各分级区间的影响程度信息分析，基于 ERDAS 软件平台建立模型，见图3。

(1) 因子导入：导入水土流失影响因子，数据为栅格形式，必须保留数据属性，采样间隔

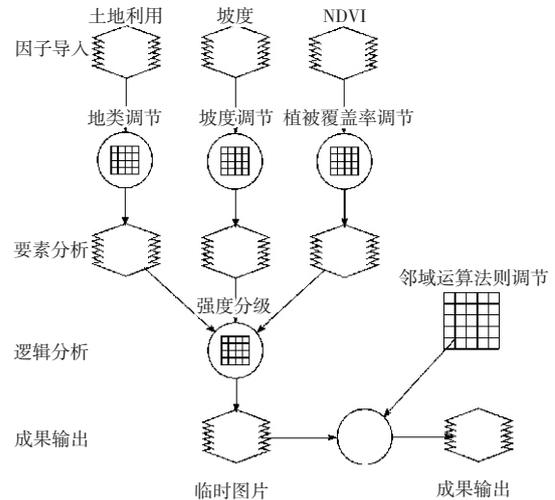


图3 水土流失ERDAS建模

要统一且符合出图精度；

(2) 要素分析：对影响因子按上述要求进行地类调节、坡度分级、植被覆盖度调节，进而完成数学表达形式，其中对坡度6级代码分别为 11~16；地类分三类：无流失或微度流失地类代码为21，坡耕地为22，流失地类为23；植被覆盖度由低到高分别为31~35；

(3) 逻辑分析：根据表3对影响因子进行逻辑判断，进而完成强度分级，其中水土流失级别由微度至剧烈代码为1~6，完成的数学表达见表3、表4。

表3 面蚀侵蚀强度分级参考指标

地类		地类坡度 /°				
		5~8	8~15	15~25	25~35	>35
非耕地林草 盖度 /%	60~75	轻度			强烈	
	45~60	中度		强烈	极强烈	
	30~45	中度		强烈	极强烈	
	<30	强烈		极强烈	剧烈	
坡耕地		轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈

表4 面蚀侵蚀强度分级数学表达

代码	11	12	13	14	15	16	21
23	35	1					1
	34	1					
	33	2	3		4	4	
	32	3		4	4	5	
	31	3		4	5	6	
22	2	3	4	5	6		

(4) 领域运算: Size采用 7×7 , 可最大限度除去微小图斑, 为后期栅格转矢量减少数据量;

(5) 成果输出: 生成水土流失分布栅格图, 再由栅格转矢量并去除微小图斑和微度流失图斑。

5 GPS野外验证与修正

对室内解译的水土流失图斑进行野外实地验证, 应用GPS技术可精确获取流失图斑区域坐标, 调查地块的地类以及植被郁闭度和覆盖度, 判别实地水土流失级别, 并核实室内遥感解译成果进行修正:

(1) 对野外和室内解译级别相差两个级别以上的需要对遥感解译成果进行修正;

(2) 对无流失或微度流失地类因区域开发

与建设造成流失的进行补充、调绘;

(3) 修改因影像阴影导致NDVI指数小的而造成流失的图斑。最后在ArcCatalog建立数据库, 包括流失图斑、影像、乡镇村界线、DEM、土地利用、植被覆盖度、坡度等数据, 以及图件制作和数据统计。

6 数据分析

根据福建省近5年以往水土流失遥感调查的结果: ①2008年福建省22个重点县水土流失总面积为 $6\,426.51\text{ km}^2$, 占土地总面积14.20%; ②2012年水土流失总面积为 $5\,691.76\text{ km}^2$, 占土地总面积12.58%。本次2012年水土流失遥感调查结果与2008年相比较, 22个重点县水土流失面积减少了 734.74 km^2 , 水土流失占土地总面积的比例下降了1.62%, 见表5。

表5 22个重点县2012年水土流失面积统计表

z/a	土地 总面积/ km^2	流失总面积		各级强度流失											
		面积 / km^2	流失 率/%	轻度		中度		强烈		极强烈		剧烈			
				面积 / km^2	比例 /%										
2008	45 245.02	6 426.51	14.20	3 406.97	53.01	1 936.74	30.14	941.77	14.65	141.02	2.19				
2012	45 245.02	5 691.76	12.58	3 225.34	56.67	1 871.65	32.88	492.14	8.65	92.50	1.63	10.11	0.18		

注: 资料来源于福建省水利厅。

此次调查多数县水土流失面积都不同程度减少, 减少的原因主要是近年来开展的大规模水土流失治理工作取得了成效, 例如长汀县多年的集中治理、连续治理, 安溪县大规模的开垦茶园的趋势得到有效遏制, 新垦茶园采取了水土保持措施。

有3个县水土流失面积增加, 增加的主要原因是开发建设项目引起的, 如寿宁公路建设、闽清工业园区开发和山地开发, 建宁则是由于2009年冻害造成林木破坏, 导致水土流失大量增加。水土流失较为严重的主要为矿山开采、道路建设、开发区建设、房地产开发、茶园开发、果园开发、侵蚀劣地、针叶林疏林地等。

7 水土流失治理措施分析

南方地区的水土流失的防治, 应根据其流失特点、地类类型等不同, 针对性的采取防护措施和治理方式。在林地区域可采取草灌方式, 配合

补植、封禁等强化措施推进林草的快速覆盖; 位于果园区域的水土流失可取布置等高植物埂、田间作业道、截排水沟、蓄水池、沉沙池、树池围护等小型水土保持工程设施, 林下套种与果树生长相适宜的植物, 地表扰动后立即进行稻草覆盖等增加地表覆盖, 对于坡度大于 25° 的应退园还林、还草; 对茶园则通过坡改梯工程进行改造, 修筑水土保持坡面工程减少坡地的水土流失, 并配合梯壁植草、增加裸露地表的覆盖等措施, 生态治理模式与坡面小水利工程治理模式相配合, 有效地减少水土流失^[13]; 对矿山引起的水土流失应积极推进矿山复绿工程。

8 结语

本文讨论福建省水土流失地理国情监测采用了资源三号高分辨率遥感影像数据, 在其基础上完成了土地利用、植被覆盖等数据信息的提取,

运用3S技术手段实时、准确、高效的完成了水土流失地理国情现状调查研究工作。

为高效完成水土流失地理国情监测，此次调查只考虑了土地利用、植被覆盖度、坡度等水土流失定性因子，未考虑土壤可蚀性、雨水侵蚀等定量因子，故成果只具有流失面积数据，而没有流失量，今后将在某些县市开展定量研究，完善监测模型，同时利用DEM生成阴影数据改进影像阴影对NDVI的影响。

随着3S技术的不断完善和发展，实现由传统水保向现代水保转变的有效措施和技术支撑，尤其是高分数据的遥感影像和GNSS技术不断发展和应用，为水土流失监测领域提供周期更快、精度更高、信息更丰富的监测手段，为水土保持生态环境政策制定、水土保持信息定期发布、各级领导宏观决策、水土保持监督执法、科学规划、治理措施实施等提供科学依据。

致谢：本次撰文过程得到了福建省水土保持监测站的陈明华、柴鹏、林敬兰等同志帮助与指导，各县市水土监测站的工作人员在野外调查中给予了支持和帮助，以及高建阳、张书煌教高的指导和评阅，并提出修改意见，在此一并谨致衷心感谢。

(上接第30页)

目的，包括控制工业废水和生活污水的排放，及时清理景区水体中杂物，加大对景区环境的监控力度等，在此基础上，加大研究力度，以恢复和保持景区水体的生态平衡。

参考文献

[1]况琪军, 马沛明, 胡征宇, 等. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展[J]. 安全与环境学报, 2005, 5 (2): 87-91.
 [2]高 光, 胡文英, 李宽意. 氮、磷等营养物质对低洼盐碱地鱼塘水质的影响[J]. 湖泊科学, 2001, 13 (4): 23-30.
 [3]李夜光, 李中奎, 耿亚红, 等. 富营养化水体中N、P浓度对浮游植物生长繁殖速率和细胞密度的影响[J]. 生态学报, 2006, 26 (2): 45-49.
 [4]郑晓红. 地表水中总磷和总氮对藻类生长的影响以及藻类生长对pH值和溶解氧含量的影响[J]. 仪器仪表与分析监测, 2012, (3): 12-18.
 [5]陈永川, 张德刚, 汤 利. 滇池水体氮的时空变化与藻类生长的关系[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29 (1): 139-144.
 [6]郭蔚华, 侯亚芹, 龙天渝, 等. 嘉陵江出口段藻类生长与氮磷相关

参考文献

[1]赵园春. 3S技术在可渡河流域水土流失动态监测中的应用研究[J]. 山西水土保持科技, 2009, (9):14.
 [2]鄂竟平. 中国水土流失与生态安全综合科学考察总结报告[J]. 中国水土保持, 2008, (12):3.
 [3]徐义保, 查 轩, 黄少燕. 南方红壤丘陵区马尾松林地水土流失研究进展[J]. 亚热带水土保持, 2011,23(4):40-43.
 [4]赵其国. 我国红壤的退化问题[J]. 土壤, 1995,27 (6) :281-286.
 [5]汪竹青. 3S技术在龙川江小流域水土流失动态监测中的应用研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2007:17-18.
 [6]董亚维, 吴永红, 马卫星, 等. 基于遥感监测的河龙区间水土保持效果分析[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23 (1) :157-160.
 [7]徐 旌, 张 军, 刘 燕, 等. 基于RS、GIS的滇池流域水土流失变化研究[J]. 水土保持学报, 2004,18(2):80-83.
 [8]刘 洋, 刘述彬, 陆忠军. RS、GIS技术在松嫩平原水土流失调查中的应用[J]. 国土资源遥感, 2003,(2):27.
 [9]张光超, 邱少鹏, 高会军, 等. 遥感技术在小流域水土流失快速调查中的应用——以老高川地区为例[J]. 国土资源遥感, 2001,(2):9.
 [10]李 婷, 于青秀, 张世熔. 基于RS和GIS的涪江流域上游地区土壤侵蚀定量估算[J]. 四川农业大学学报, 2011,29(1):84-88.
 [11]中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准SL 190-2007 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
 [12]王东伟, 孟宪智, 李子轩, 等. 定量遥感技术在海河流域植被覆盖信息提取中的应用 [J]. 海河水利, 2009, (5) :79-81.
 [13]朱颂茜, 龚洁林, 恩 标, 等. 南方丘陵区林下水土流失特点及防治措施探讨[J]. 亚热带水土保持, 2013,25(3):24-30.
 [14]性分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2008, 30 (4): 15-21.
 [7]王晓蓉, 华兆哲, 徐 菱, 等. 环境条件变化对太湖沉积物磷释放的影响[J]. 环境化学, 1996, 15 (1): 15-19.
 [8]张 敏, 谢 平, 徐 军, 等. 大型浅水湖泊巢湖内源磷负荷的时空变化特征及形成机制[J]. 地球科学, 2005, 35 (S2): 63-72.
 [9]朱元荣, 张润宇, 吴丰昌, 等. 贵州红枫湖沉积物生物可利用磷分布特征及其与粒径的关系[J]. 湖泊科学, 2010, 22 (4): 13-20.
 [10]马 喆, 梁秀娟, 方 樟, 等. 室内试验模拟水库水体中藻类与总磷关系研究[J]. 水文地质工程地质, 2008, 23 (1): 5-10.
 [11]宋春雷, 曹秀云, 刘兵钦, 等. 池塘水华与底层磷营养状态的关系[J]. 水生生物学报, 2004, 28 (1): 7-12.
 [12]郭春燕, 李 砧, 谢树莲. 太原市汾河景区浮游藻类及水质评价研究[J]. 山西大学学报:自然科学版, 2006, 29 (2): 205-208.
 [13]韩承义. 不同氮磷浓度对缢蛏养殖池塘中优势藻生长的影响[J]. 宁德师范学院学报:自然科学版, 2011, 23 (3): 31-37.
 [14]姜雪芹, 禹 娜, 毛开云, 等. 冬季上海市城区河道中浮游植物群落结构及水质的生物评价[J]. 华东师范大学学报:自然科学版, 2009, (2): 34-40.
 [15]许 海, 朱广伟, 秦伯强, 等. 氮磷比对水华蓝藻优势形成的影响[J]. 中国环境科学, 2011, 31 (10): 1676-1683.
 [16]孙 凌, 金相灿, 钟 远, 等. 不同氮磷比条件下浮游藻类群落变化[J]. 应用生态学报, 2006, 17 (7): 1218-1223.