

多参数融合的太湖围网养殖遥感动态监测

王家伟¹, 李云梅^{1,2}

(1. 南京师范大学地理科学学院地理信息系统系, 江苏南京 210046; 2. 南京师范大学教育部虚拟地理环境重点实验室, 江苏南京 210046)

摘要 利用 1989~2008 年的五景 TM 遥感影像数据, 对太湖近 20 年的围网养殖进行动态监测; 综合利用遥感影像中的光谱信息与围网养殖区的纹理信息, 自动提取了各个时期的太湖围网养殖区域, 分析了近 20 年来太湖围网养殖区的时空变化情况。

关键词 太湖; 围网养殖; MNDWI; 动态变化

中图分类号 S127 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)29-14334-04

RS-based Multi-parameter Integration of Dynamic Monitoring of Enclosure Culture in Taihu Lake

WANG Jia-wei et al (Department of Geographical Information System, School of Geographic Science, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210046)

Abstract Based on five TM remote sensing image data from 1989 to 2008, the dynamic monitor was carried on the enclosure culture in Taihu Lake in recent 20 years. With the comprehensive utilization of the spectrum information of remote sensing image and the texture information of enclosure culture area, the enclosure culture area in Taihu Lake in different times was extracted automatically, the space and time change situations of the enclosure culture area in Taihu Lake in recent 20 years were analyzed.

Key words Taihu Lake; Enclosure culture; MNDWI; Dynamic change

太湖水产资源的开发利用, 既有太湖水体本身生产潜力的发挥, 又有太湖相关经济因素的协调。随着长江三角洲地区社会经济的发展, 人们对太湖的开发利用强度也逐渐提高, 湖区围网养殖情况非常普遍。近些年来, 由于河蟹价格的攀高, 在湖泊围网养殖河蟹效益的驱动下, 太湖围网养殖出现了生产单一、密度过高的畸形发展局面, 加上不合理的饵料投喂方法, 严重污染了太湖的水环境; 而且高密度的围网会造成水流阻塞、流水不畅, 加快湖泊水质恶化, 对原有生态系统造成严重破坏, 甚至恶性循环。如 2007 年 5 月的“太湖蓝藻事件”就给人们敲响了警钟。因此, 利用科学手段对太湖围网养殖进行监测, 分析其动态变化, 对引导湖泊良性开发、地区可持续发展有着十分重要的意义。

近年来, 随着遥感科学的发展, 遥感数据内容不断丰富, 分辨率不断提高, 为湖泊研究提供了有效、快捷的手段。不少学者利用遥感手段对东部湖泊进行了湖泊面积变化、围网养殖区变化、水质变化等多项监测研究。杨英宝于 2005 年对多时相的 TM 数据和航空影像数据进行人机交互解译并数字化, 研究了东太湖的围网养殖区域及其动态变化, 并确定了超密度的围网养殖区域^[1]。由于围网养殖区域和自然水体光谱特征比较接近, 利用多光谱分类自然水体和湖泊围网养殖区域很容易混淆, 而目视判读手工数字化虽然精度较高, 工作量却较大。针对以上方法的局限性, 李俊杰于 2006 年利用中巴资源卫星数据, 以白马湖为研究对象, 综合应用主成分降维处理、灰度共生矩阵、决策树分类等方法, 并结合多光谱的 NDWI (Normalized Difference Water Index) 分析, 提出了基于遥感影像纹理信息的湖泊围网养殖区提取的方法^[2]。由于用 NDWI 提取的水体信息中含有许多周边的建筑物信息噪声, 影响了提取精度, 难以用于城镇密集的太湖区域范围内水体信息的提取。因此, 笔者利用不同时期的五景 TM 遥感影像数据, 采用了多光谱的 MNDWI (Modified

Normalized Difference Water Index) 分析, 克服了以上方法的局限性。综合利用了遥感影像中的光谱信息与围网养殖区的纹理信息, 自动提取了各个时期的太湖围网养殖区域, 计算了各个时期太湖围网养殖区面积, 分析了近 20 年来太湖围网养殖区的时空变化情况, 以期为主管部门对水产养殖业进行合理的布局与科学调控提供重要依据, 促进地区经济与环境的和谐健康发展。

1 研究区概况及数据

1.1 研究区概况 太湖(119°54'~120°36' E, 30°56'~31°14' N)是我国第三大淡水湖泊, 位于长江三角洲南缘, 湖泊面积为 2 425 km², 平均水深 2.12 m, 是一个典型的浅水湖泊^[3]。太湖地跨苏、浙、沪、皖三省一市, 其流域面积达 3.65 万 km², 是全国人口最稠密、工农业生产最发达的地区之一, 城市化进程居全国之首。太湖湖区属北亚热带向中亚热带过渡的季风气候区域, 年均气温 16.0℃。良好的自然环境和丰富的水、土、生物资源条件, 使太湖地区有着悠久的开发利用历史。太湖湖底平坦, 底质肥沃, 水生生物资源丰富, 是周边地区的渔业养殖基地; 同时太湖具有泄洪、灌溉、调节径流等作用, 也是上海、苏州、无锡等周边城市的重要水源地。

1.2 数据 利用 1989~2008 年的五景 TM 影像进行动态解译, 成像时间及所属星号见表 1。用于遥感影像几何精校正的参考影像为 2000 年的经过纠正的 TM 影像。

表 1 Landsat-TM 数据的成像时间及所属星号

Table 1 The imaging time and the satellite number of Landsat-TM data

TM 影像数据成像时间	TM 影像数据所属星号
Imaging time of TM data	Satellite number of TM data
1989-01-14	Landsat4
1994-01-22	Landsat5
1999-12-20	Landsat5
2004-07-26	Landsat7
2008-02-28	Landsat7

基金项目 “十一五”国家科技支撑计划课题(2008BAC34B05)。

作者简介 王家伟(1986-), 男, 江苏句容人, 本科生, 专业: 环境遥感。

收稿日期 2009-06-12

2 基于决策树的多参数融合太湖围网养殖信息提取

遥感影像的分析和解译最基本的依据就是灰度(光谱信

息)及纹理(空间信息)两个方面的信息。目前用得最多的是影像的光谱信息^[4]。由图 1 可知,植被和水体通过 MNDWI 指数可以很容易分开,然而水体、围网养殖和建筑物的光谱曲线却较接近,所以仅用光谱信息的单一指标还不能够提取出太湖的围网养殖区。通过对太湖围网养殖水面(图 2)和自然水体的分析可知,虽然两者的光谱特征相似,但由人为围垦的养殖水面在影像中反映出明显的纹理结构^[5],太湖围网养殖区的纹理结构表现为明显的比较规则的多边形,且已有研究表明基于遥感影像纹理信息能有效地提取围网养殖区信息^[2]。因此,笔者提出综合利用遥感影像中的光谱信息与围网养殖区的纹理信息,利用决策树分类自动提取各时期的太湖围网养殖区域的方法。

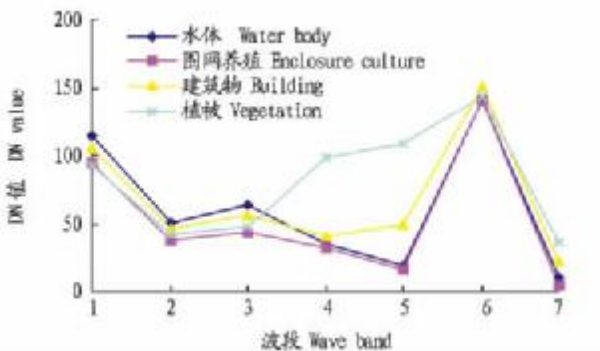


图 1 太湖区 4 种主要地物类的波谱曲线

Fig. 1 Spectral curve of four major ground object classes in Taihu Lake area



图 2 部分太湖围网养殖水面

Fig. 2 Part of enclosure culture water surface in Taihu Lake

太湖围网养殖遥感动态监测研究的技术流程如下:首先,对数据的预处理。数据裁剪,噪声去除,辐射纠正,采用 2000 年的太湖纠正影像进行数据的几何精纠正,精度控制在半个像元以内;对研究区影像进行太湖边界的手工数字化,数字化的底图为经过几何精纠正的 1989 年研究区影像(由于一直以来湖区的围网养殖和围垦种植使得太湖的水域面积在逐步减小,所以选用早期的研究区影像进行太湖边界的手工数字化,能够得到研究时间段内的太湖最大水域边界);利用矢量太湖边界对研究区影像进行掩膜处理。生成仅包括太湖水域的影像,统一研究区范围。其次,对数据的处理。用数据的第 2 和第 5 波段计算 MNDWI(修正后的归一化差异水体指数);同时对影像数据的第 1 至第 5 波段以及第 7 波段进行主成分分析(由于 TM 影像数据的第 6 波

段为热红外波段,其影像分辨率为 120 m,不同于其他 6 个波段的 30 m 分辨率,故不参与主成分分析)和纹理特征提取,选取第一主成分(各时期影像第一主成分包含的原数据总方差百分比都在 97% 以上,他代表图像 6 个波段的高频部分和低频部分,体现了地物边缘纹理信息和基本色调特征,因此可选用第一主成分来代替其他波段参与纹理特征提取);用灰度共生矩阵的相应算法求出第一主成分的纹理统计指标即灰度共生矩阵的量化指标均值(Mean)。第三,以 MNDWI 和灰度共生矩阵的量化指标均值(Mean)为基础,利用决策树分类方法自动提取太湖围网养殖区域。最后,进行分类结果的精度评价,围网养殖区面积的统计计算,并得出结论。

2.1 利用改进的归一化差异水体指数提取水体信息 改进的归一化差异水体指数(Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI)是徐涵秋于 2005 年提出的^[6]。MNDWI 计算公式如下:

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR} \quad (1)$$

式中,Green、MIR 分别表示多光谱数据中的绿光波段和中红外波段。

MNDWI 与 NDWI(Normalized Difference Water Index)计算公式相似,它是在对 Mcfeeters 提出的归一化差异水体指数(NDWI)分析的基础上,对构成该指数的波长组合进行了修改(用中红外波段 MIR 取代近红外波段 NIR),提出了改进的归一化差异水体指数 MNDWI。通过对太湖区各主要地物类的光谱曲线图进行分析可知,围网养殖的波谱特征与水体几乎一致,但 MNDWI 公式中绿光波段(TM2)与中红外波段(TM5)相比于 NDWI 公式中绿光波段(TM2)与近红外波段(TM4)具有较大的反差,利用 MNDWI 计算出的水体和围网养殖区指数呈正值,提取水体和围网养殖区的效果更佳;利用 NDWI 公式计算出的建筑物指数呈正值,容易和水体及围网养殖区混淆,形成噪声,而利用 MNDWI 公式计算出的建筑物指数值明显减小且呈负值,这将使得水体与建筑物的反差明显增强、大大降低了二者的混淆、减少了背景噪声,从而有利于水体和围网养殖专题信息的准确提取。因此,笔者采用改进的归一化差异水体指数来提取自然水体、围网养殖区域和其他极少部分建筑物等。

2.2 基于灰度共生矩阵的纹理分析 纹理是遥感影像的重要信息,它不仅反映影像的灰度统计特征,而且反映了地物空间排列的关系,是目视判读的重要标志。纹理分析的基本方法有统计分析方法、结构分析方法和频谱分析方法三类。遥感影像纹理分析主要采用的是统计分析方法。论文采用的纹理分析方法是统计分析方法中的灰度共生矩阵法。灰度共生矩阵提供了影像中像元与像元、像元与整体影像之间的空间关系,但还需进一步量化为单一数值的形式,才能提供给电脑直接分析使用。参考有关论文表明灰度共生矩阵的量化指标均值是最适合于围网养殖区提取的纹理统计指标^[2]。试验表明,灰度共生矩阵的量化指标均值(图 3)的域值分割可以简单有效地在 MNDWI 为正值区域中把自然水体、围网养殖区域和其他少部分建筑物等区分开来,能很好地提取围网养殖区域。灰度共生矩阵的量化指标均值

计算公式如下:

$$Mean = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N i \times P(i, j) \quad (2)$$

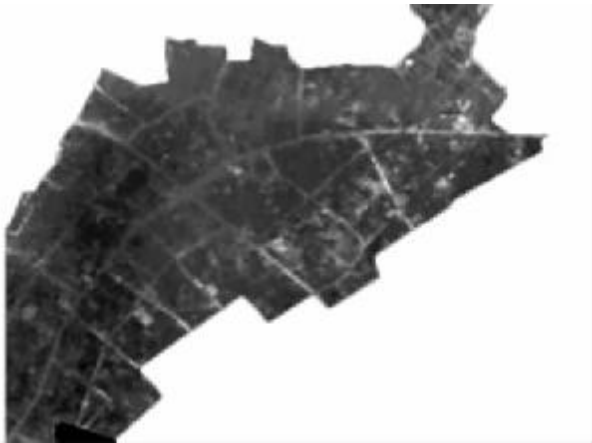


图3 部分太湖围网养殖区影像纹理指标(均值)计算结果

Fig. 3 Part of the computed result of the image texture (mean) index in enclosure culture in Taihu Lake

2.3 基于决策树分类的围网养殖区提取 利用决策树分类的方法提取太湖围网养殖区的基本思路见图4。①根据改进的归一化差异水体指数 MNDWI > 0 提取水体、围网养殖区和少部分其他地物类; MNDWI 为正值区域的地物类别主要为自然水体、围网养殖区域和其他极少部分人工建筑等; ②根据多波段数据主成分分析后第一主成分计算的灰度共生

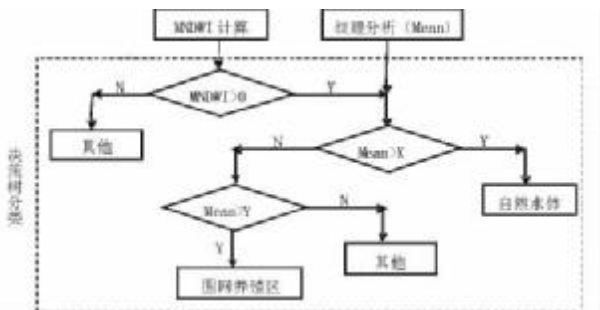


图4 决策树分类流程

Fig. 4 The flow of the decision tree classification

矩阵的量化指标均值 Mean 大于某个具体值 X 见表2 提取①中肯定结果的自然水体; ③根据 Mean 大于某个具体值 Y 见表2 提取②中否定结果的围网养殖区域(判定肯定)和其他(判定否定)。由于各个时期的遥感影像数据成像时间、天气等条件的不同, 加上太湖围网养殖季节性的差异, 导致提取太湖围网养殖区时, 灰度共生矩阵的量化指标均值 (Mean) 域值取值的不统一, 其域值的确定是根据对比分析围网养殖区提取结果与分类前影像数据以及分析围网养殖区提取结果的精度进行大量动态试验所得。虽然域值不统一, 但在一个有限统一的范围内波动, 是合理的。

表2 决策树分类均值 (Mean) 的最佳域值

Table 2 Decision tree classification the best territory value of the mean

TM 影像数据成像时间	均值 (Mean) X	均值 (Mean) Y
Imaging time of TM image data	(Mean) X	(Mean) Y
1989-01-14	20	22.0
1994-01-22	19	20.0
1999-12-20	19	21.0
2004-07-26	21	22.5
2008-02-28	19	22.5

3 分类结果及精度评价

3.1 太湖围网养殖区分类结果及面积统计 各个时期太湖围网养殖区分类结果如图5所示, 太湖围网养殖区为绿色, 湖泊自然水面为蓝色, 其他地物类为黑色。根据太湖围网养殖区分类结果得各个时期围网养殖面积, 如表3所示。

表3 各个时期太湖围网养殖面积

Table 3 The area of enclosure culture in Taihu Lake in different periods

TM 数据成像时间	围网养殖面积 // km ²
Imaging time of TM data	Area of enclosure culture
1989-01-14	17.841 6
1994-01-22	39.760 4
1999-12-20	76.166 1
2004-07-26	145.276 2
2008-02-28	36.138 3

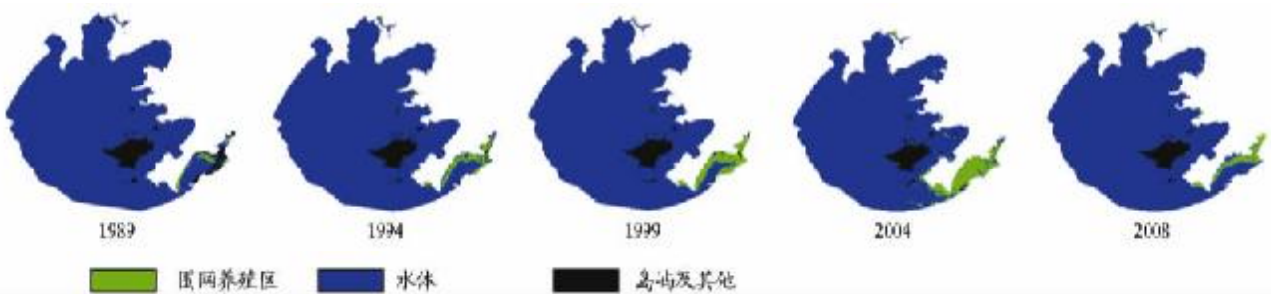


图5 各个时期太湖围网养殖分类结果

Fig. 5 The classification results of enclosure culture in Taihu Lake in different periods

3.2 太湖围网养殖区分类结果的精度评价 为了评价分类结果的精度, 将图5提取结果与原始影像进行叠加分析, 并采用目视判读建立感兴趣区的方法, 根据已经建立的分类类别, 在各期原始遥感影像数据上建立相应类别的地表真实感兴趣区, 用地表真实感兴趣区 (ROIs) 计算混淆矩阵检验太湖围网养殖区分类精度, 由混淆矩阵, 得各个时期太湖围网养殖区域分类结果的总精度、Kappa 系数、围网养殖区精度和自

然水面精度, 如表4所示。误分几类像元的原因分析如下: ①把泥沙和藻类含量大的一些水体误分为围网养殖区, 一些泥沙和藻类含量大的水体由于受泥沙和藻类污染物的影响, 纹理指标值与围网养殖区相近; ②围网养殖区误分为自然水体, 原因是比较大的围网养殖区内, 水面纹理不明显, 与自然水体相似; ③其他类型地物和围网养殖区误分, 主要原因是太湖围垦种植区和围网养殖区交错在一起, 在边缘地方出现

了误判。由于以上一些影像分类上的误差和各期遥感影像数据时间、质量上的差异从而导致太湖围网养殖区面积统计上的误差。但根据各个时期的围网养殖区分类结果的精度指标结合分类结果与分类前遥感影像的叠加分析,认为此方法能够比较好的提取太湖围网养殖区域,故面积统计结果及其分析是比较可信的。

表 4 各个时期太湖围网养殖分类精度

Table 4 The classification accuracy of enclosure culture in Taihu Lake in different periods

TM 数据 成像时间 Imaging time of TM data	总精度 //% Total accuracy	Kappa 系数 Kappa coefficient	围网养殖 区精度//% Accuracy of enclosure culture	自然水面 精度//% Accuracy of natural water surface
1989-01-14	88.887 7	0.703 1	71.46	90.47
1994-01-22	90.771 9	0.771 3	79.06	87.90
1999-12-20	89.416 2	0.799 9	82.62	86.10
2004-07-26	89.006 3	0.654 4	72.61	90.68
2008-02-28	87.065 7	0.652 1	74.02	86.98

4 结论

(1) 采用 MNDWI 域值法与纹理特征辅助分类方法可以综合利用影像中的光谱信息与纹理信息,能较好地太湖围网养殖区信息进行自动提取,是中高分辨率卫星影像数据提取湖泊围网养殖区的快速、有效的方法。

(2) 1989 ~ 1994 年期间太湖围网养殖面积增加了 21.918 8 km²,1989 年为 17.841 6 km²,1994 年为 39.760 4 km²,年平均增加围网养殖面积 4.383 76 km²;1994 ~ 1999 年期间,太湖围网养殖面积增加了 36.405 7 km²,1999 年为 76.166 1 km²,年平均增加围网养殖面积 7.281 14 km²;1999

(上接第 14233 页)

分析表 1 可知:除北票、喀左的年降水气候均值是稳定之外,年降水、气温和日照的气候均值均发生了显著变化,均值是不稳定的。年气温的气候均值变化最显著,显著性水平 α 值高达 0.025,这与全球气候变暖及朝阳地区 20 世纪 70、80 年代末气温发生两次较强跃变密切相关。建平年日照气候均值变化的显著性水平 α 值高达 0.01。气候变化不稳定性区域性差别明显。

3 对农业的影响与对策

(1) 农业生产与气候变化极为密切。气候因素覆盖农业的各个领域和各个环节,年份丰歉及作业和管理水平等均受到气象条件的时空分布的制约和影响。随着社会进步和农业发展,农业对气象服务的要求将越来越高。例如,在农业结构调整中,要想做到因地制宜,就需合理利用气候资源以适应气候变化。

朝阳地区的气候正处于不稳定的变化之中,导致局部洪涝、干旱等影响农业生产的气象灾害频繁发生。因此应加强气候变化对农业影响评估模拟和研究,根据其变化规律,趋利避害,合理开发利用气候资源。20 世纪 90 年代以来,朝阳市各县平均气温普遍升高,其中朝阳县高出 1.0 °C^[2],干旱成为制约朝阳地区农业生产的主要气象灾害。在农业方面应不断提高农业对气候变化的应变能力和抗灾减灾水平,选育抗逆品种,采用稳产增产技术,发展生物技术等学科,科学

~2004 年期间,太湖围网养殖面积增加了 69.110 1 km²,2004 年为 145.276 2 km²,年平均增加围网养殖面积 13.822 02 km²;2004 ~ 2008 年期间,太湖围网养殖面积减少了 109.137 9 km²,2008 年为 36.138 3 km²,年平均减少围网养殖面积 27.284 475 km²。

(3) 近二十年来,太湖年平均增加的围网养殖面积呈逐年增加的趋势,由于 2007 年 5 月的“太湖蓝藻事件”给人们敲响了警钟,国家和政府加大了对太湖围网养殖的管理整治,拆除了大量的围网养殖区,致使 2004 ~ 2008 年期间,太湖围网养殖面积从 2004 年的 145.276 2 km² 急剧减少到 2008 年的 36.138 3 km²。

(4) 太湖的围网养殖区域主要集中在东太湖、西太湖和太湖北部地区沿岸分布有少部分的围网养殖区域。就太湖围网养殖区域主要分布的东太湖而言,围网养殖区域的分布从湖岸边沿处向湖心处扩展,至 2004 年除东太湖的主航道外,东太湖的整个湖面几乎被围网养殖区覆盖。

参考文献

- [1] 杨英宝,江南,殷立琼,等. 东太湖湖泊面积及围网养殖动态变化的遥感监测[J]. 湖泊科学,2005,17(2):133-138.
- [2] 李俊杰,何隆华,戴锦芳,等. 基于遥感影像纹理信息的湖泊围网养殖区提取[J]. 湖泊科学,2006,18(4):337-342.
- [3] 王苏民,窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京:科学出版社,1998:169-171,173-175.
- [4] 张孝旭,黄智才,赵元洪,等. 遥感数字图像处理[M]. 杭州:浙江大学出版社,2003:285.
- [5] 陈云,戴锦芳,李俊杰. 基于影像多种特征的 CART 决策树分类方法及其应用[J]. 地理与地理信息科学,2008,24(2):33-66.
- [6] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报,2005,9(5):589-595.

的改革种植制度,适应全球气候变暖。

(2) 全球的升温导致很多极端气候灾害的出现,也使农业结构、农业病虫害发生规律和农业气象灾害发生规律产生了变化:比如作物生长发育加快,生育期相应缩短,没有足够时间使农作物形成饱满的粮食,致使产量逐步减少等。近 10 多年来,气候变暖导致朝阳地区农作物因干旱受灾面积和粮食产量波动呈加大趋势^[3]。应对气候变化对农业的不利影响,最好的办法是因地制宜采取适应措施,包括根据对未来气候的预测调整农业结构,即要在适宜的时间和地点种植最适宜的作物,加强管理、改善农业基础设施,特别是要根据未来的气候变化预测改善灌溉和排水设施,采用新技术,提高农业生产对气候变化不利影响的抵御能力,有目的地选育推广新的抗灾农作物品种,增强农业抗灾能力,最大限度地减少损失。

参考文献

- [1] 马开玉. 气候诊断[M]. 北京:气象出版社,1996.
- [2] 王晓霞,李书君. 朝阳近 50 年气候跃变分析[C]// 商向东. 辽宁省第二届学术年会暨第五届青年学术年会论文集:信息科学与工程技术环境保护与农业科学分册沈阳:辽宁科学技术出版社,2004.
- [3] 秦大河. 中国西部环境演变评估[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [4] FENG C B, ZHANG Y S, ZHAO S X, et al. Correlation analysis between the evapotranspiration quantity and climatic factors of artificial grassland in Three River Sources Areas[J]. Agricultural Science & Technology, 2008, 9(5):13-18.
- [5] 杜娟,关泽群. 气候变化及其对农业的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(16):4898-4899.