

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 22 期 Vol.31 No.22 **2011**

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 31 卷 第 22 期

2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

叶冠尺度野鸭湖湿地植物群落含水量的高光谱估算模型	林 川, 宫兆宁, 赵文吉 (6645)
中国水稻潜在分布及其气候特征	段居琦, 周广胜 (6659)
大豆异黄酮浸种对盐胁迫大豆幼苗的生理效应	武玉妹, 周 强, 於丙军 (6669)
黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝桠柳对地下水位变化的生理生态响应与适应	张 佩, 袁国富, 庄 伟, 等 (6677)
高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其对土壤水分的响应	赵成章, 高福元, 石福习, 等 (6688)
基于生态足迹思想的皂市水利枢纽工程生态补偿标准研究	肖建红, 陈绍金, 于庆东, 等 (6696)
基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征	蒋蕊竹, 李秀启, 朱永安, 等 (6708)
高分辨率影像支持的群落尺度沼泽湿地分类制图	李 娜, 周德民, 赵魁义 (6717)
土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响及机理	成艳红, 陈小云, 刘满强, 等 (6727)
基于网络 K 函数的西双版纳人工林空间格局及动态	杨珏婕, 刘世梁, 赵清贺, 等 (6734)
树轮灰度与树轮密度的对比分析及其对气候要素的响应	张同文, 袁玉江, 喻树龙, 等 (6743)
冀北山地阴坡优势树种的树体分维结构	田 超, 刘 阳, 杨新兵, 等 (6753)
帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征	陈 进, 陈步峰, 潘勇军, 等 (6766)
不同类型拌种剂对花生及其根际微生物的影响	刘登望, 周 山, 刘升锐, 等 (6777)
一种自优化 RBF 神经网络的叶绿素 a 浓度时序预测模型	仝玉华, 周洪亮, 黄浙丰, 等 (6788)
不同种源麻栎种子和苗木性状地理变异趋势面分析	刘志龙, 虞木奎, 马 跃, 等 (6796)
黄土丘陵区植物叶片与细根功能性状关系及其变化	施 宇, 温仲明, 龚时慧 (6805)
干旱区五种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能	谭永芹, 柏新富, 朱建军, 等 (6815)
火灾对马尾松林地土壤特性的影响	薛 立, 陈红跃, 杨振意, 等 (6824)
江苏省太湖流域产业结构的水环境污染效应	王 磊, 张 磊, 段学军, 等 (6832)
高温对两种卡帕藻的酶活性、色素含量与叶绿素荧光的影响	赵素芬, 何培民 (6845)
江苏省典型干旱过程特征	包云轩, 孟翠丽, 申双和, 等 (6853)
黄土高原半干旱草地地表能量通量及闭合率	岳 平, 张 强, 杨金虎, 等 (6866)
光质对烟叶光合特性、类胡萝卜素和表面提取物含量的影响	陈 伟, 蒋 卫, 邱雪柏, 等 (6877)
铜陵铜尾矿废弃地生物土壤结皮中的蓝藻多样性	刘 梅, 赵秀侠, 詹 婧, 等 (6886)
圈养马麝刻板行为表达频次及影响因素	孟秀祥, 贡保草, 薛达元, 等 (6896)
田湾核电站海域浮游动物生态特征	吴建新, 阎斌伦, 冯志华, 等 (6902)
马鞍列岛多种生境中鱼类群聚的昼夜变化	汪振华, 王 凯, 章守宇 (6912)
基于认知水平的非使用价值支付动机研究	钟满秀, 许丽忠, 杨 净 (6926)
综述	
植物盐胁迫应答蛋白质组学分析	张 恒, 郑宝江, 宋保华, 等 (6936)
沉积物氮形态与测定方法研究进展	刘 波, 周 锋, 王国祥, 等 (6947)
野生鸟类传染性疾病预防研究进展	刘冬平, 肖文发, 陆 军, 等 (6959)
鱼类通过鱼道内水流速度障碍能力的评估方法	石小涛, 陈求稳, 黄应平, 等 (6967)
专论	
IPBES 的建立、前景及应对策略	吴 军, 徐海根, 丁 晖 (6973)
研究简报	
柠条人工林幼林与成林细根动态比较研究	陈建文, 王孟本, 史建伟 (6978)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-11



封面图说: 滩涂芦苇及野鸭群——中国的海岸湿地, 尤其是长江入海口以北的海岸线, 多为泥质性海滩, 地势宽阔低洼, 动植物资源丰富, 生态类型独特, 为迁徙的鸟提供了丰富的食物和休息、庇护的良好环境, 成为东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬、繁殖地。一到迁徙季节, 成千上万的各种鸟类飞临这里, 尤其是雁鸭类数量庞大, 十分壮观。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

段居琦,周广胜. 中国水稻潜在分布及其气候特征. 生态学报, 2011, 31(22): 6659-6668.

Duan J Q, Zhou G S. Potential distribution of rice in china and its climate characteristics. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(22): 6659-6668.

中国水稻潜在分布及其气候特征

段居琦^{1,2}, 周广胜^{1,3,*}

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 南京信息工程大学大气物理学院, 南京 210044;

3. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

摘要: 基于全国层次和年尺度筛选的影响中国水稻分布的潜在气候指标, 结合水稻地理分布信息, 利用最大熵模型和 ArcGIS 软件的空间分析功能, 分析了中国水稻潜在分布及其气候特征。结果表明: 年降水量 (P)、湿润指数 (MI)、稳定通过 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续日数 (N_{18}) 和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 ($\sum T_{10}$) 4 个因子是影响水稻分布的主导气候因子, 其累积贡献百分率达 97.6%。采用主导气候因子作为环境变量重建气候水稻分布关系的最大熵模型, 利用重建的最大熵模型给出的中国水稻存在概率, 对中国水稻潜在分布区的气候适宜等级进行了划分, 并分析了各适宜区的气候特征。研究结果可为中国水稻生产布局及制定应对气候变化政策提供参考。

关键词: 水稻; 主导气候因子; 潜在分布; 气候特征; 最大熵模型

Potential distribution of rice in china and its climate characteristics

DUAN Juqi^{1,2}, ZHOU Guangsheng^{1,3,*}

1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

2 School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China

3 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

Abstract: In order to provide the scientific support for paddy rice production planning and countermeasures to cope with climate change in China, based on climate indices at national level and annual scale influencing the distribution of paddy rice planting zone, together with the geographical distribution of paddy rice planting zone in China and the maximum entropy (MaxEnt) model and the ArcGIS spatial analysis technique, the potential distribution of paddy rice in China and its climate characteristics were studied in this paper. The candidate climate factors affecting the potential distribution of paddy rice in China are obtained from the literatures, and they include the accumulated temperature of not less than $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sum T_0$), the accumulated temperature of not less than $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sum T_{10}$), days of not less than $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ stably (N_{10}), days of not less than $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ stably (N_{18}), mean temperature of the coldest month (T_c), mean temperature of the warmest month (T_w), annual range of temperature (ART), annual precipitation (P) and Moisture index (MI). The results show that the MaxEnt model is able to be applied to the study on potential distribution of paddy rice planting zone in China, the dominant climate factors affecting paddy rice potential distribution include annual precipitation (P), moisture index (MI), days of not less than $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ stably (N_{18}), and the accumulated temperature of not less than $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sum T_{10}$), which contribute about 97.6% of the selected climate factors. The potential distribution of paddy rice in China and its acclimation classification are given according to the existence probability from MaxEnt model, together with the dominant climate factors and the possibility assessment method of future climate change from the international panel of climate change (IPCC). The climatic suitability of paddy rice in China can be classified into four classes, namely unsuitable zone ($P < 0.05$), low suitability zone ($0.05 \leq$

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2010CB951303); 公益性行业 (农业) 科研专项经费 (200903003); 中国气象局经常性业务经费

收稿日期: 2011-03-03; **修订日期:** 2011-08-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gszhou@ibcas.ac.cn

$P < 0.33$), suitability zone ($0.33 \leq P < 0.66$) and maximum suitability zone ($P \geq 0.66$). The maximum suitability zone includes the northern part of Jiangxi Province and some parts of Hainan Province; the suitability zone includes the northeastern plain, the hill region of the eastern Liaoning Province, Shandong Province, Henan Province, southern Shanxi Province, Jiangsu Province, Anhui Province, Hubei Province, Chongqing Province, eastern Sichuan Province, Zhejiang Province, Jiangxi Province, Hunan Province, Guizhou Province, Yunnan Province, Fujian Province, Guangdong Province, Guangxi Province, Hainan Province and Taiwan; the low suitability zone mainly includes Xiaoxinganling region of Heilongjiang Province, Changbai mountains in the eastern part of Jilin Province, the Bohai sea surrounding area, the most part of Shandong and Henan Provinces, the middle part of Shanxi Province, and the southeast part of the west Tibetan Plateau; the unsuitable zone distributes in those regions including the most parts of Xinjiang Province, Qinghai Province, Inner Mongolia, Ningxia Province, Gansu Province, Xizang Province, Hebei Province and Shanxi Province, together with some parts of northeast China and the west part of Sichuan Province. Furthermore, the climate characteristics of paddy rice potential distribution zone are analyzed, respectively. The results can provide reference for paddy rice planting pattern and countermeasures to cope with climate change impact on China.

Key Words: paddy rice; dominant climate factors; potential distribution; climate characteristics; maximum entropy model (MaxEnt)

中国是世界上最大的水稻生产国,稻谷产量在中国各粮食作物中居于首要地位^[1]。近年来,气候变化已经对水稻布局、生长发育和产量产生了重要影响^[2-5]。为促进水稻生产,确保水稻稳产高产,许多研究者已经基于选择的气候指标、地形地貌和生产水平等开展了水稻气候区划研究^[6-9]。但是,现有的水稻气候区划研究在研究的尺度、影响因子时空尺度的选取方面还存在很大的不一致,制约着水稻气候区划在实际指导中的作用发挥。为充分利用气候资源服务于农业生产、确保粮食稳产高产,迫切需要从不同空间尺度研究影响水稻分布的主导气候因子,给出不同空间尺度的水稻气候区划。

近年来,随着统计技术和地理信息系统技术的发展,一系列基于 ArcGIS 技术平台的统计模型,如广义线性模型(GLM)、广义加法模型(GAM)、分类回归树模型(CART)、BIOCLIM 模型、DOMAIN 模型、基于遗传算法的规则组合预测模型(GARP)、多元自适应样条回归模型(MARS)、最大熵模型(MaxEnt)等已经被成功地用于物种的潜在分布模拟^[10-14]。其中,最大熵模型是一种基于机器学习的模型。该理论认为在无外力作用下,事物总是在约束条件下争取最大的自由权,在已知条件下,熵最大的事物最可能接近它的真实状态^[15]。最大熵统计建模就是从符合条件的分布中选择熵最大的分布作为最优分布。研究表明^[16-17],最大熵模型在同等条件下对物种潜在分布模拟的精度高于其它生态位模型,特别是,它可以预测物种存在的概率,而不仅是是否存在,且只需要较小样本的物种分布数据即可得到较好的模拟效果等优点^[14,18]。

本研究试图基于中国水稻站点的地理分布信息及区域气候资料,结合最大熵模型和 ArcGIS 软件的空间分析功能,从国家层次和年尺度研究影响中国水稻种植区潜在分布的主导气候因子,水稻种植区潜在分布及其气候适宜性等级,分析其气候特征,为中国水稻的生产布局及制定应对气候变化的政策提供参考。

1 数据与方法

1.1 数据的收集与处理

本研究使用的数据主要有中国水稻的地理分布数据和气候数据,来自于国家气象信息中心,包括 127 个具有明确地理信息(经纬度)记录的水稻农业气象观测站,1971—2000 年一个气候标准年的中国地面气候资料日值数据集(台湾省数据暂缺)。为保证气候数据质量,从原始记录中剔除缺测记录在 30 d 以上站点,即选择记录比较连续的气象站点数据,共得 616 个站点 1971—2000 年数据。研究区域、气象台站和水稻站点地理分布信息如图 1 所示。对仍缺少气象要素记录的个别站点,采用该站其它年份同期记录平均值插补。所用气候要素为日平均气温和日降水量。数据处理软件为 ArcGIS9.3。

1.2 研究方法

1.2.1 影响水稻分布的潜在气候因子筛选

从全国层次及年尺度考虑,基于已有的水稻区划,结合自然植被区划,筛选出以下 9 个具有明确生物学意义的可能影响水稻分布的潜在气候因子(表 1)。

$\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温($\sum T_0$)反映了某一地区广义的适宜农耕期内的热量累积(表 1); $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温($\sum T_{10}$)反映了喜温作物生长期内的热量累积;稳定通过 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续日数(N_{10})为喜温作物生长期,稳定通过 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续日数(N_{18})反映水稻幼穗分化到抽穗扬花期所要求的高温期;最冷月平均温度(T_c)表示寒冷程度,反映最差热量条件对植物的限制;最暖月平均温度(T_w)表示温暖程度,反映最好热量条件对植物的满足程度;气温年较差(ART)是气温年变化的幅度,反映了气候的大陆性;年降水量(P)用来反映水分资源的绝对数量,可作为一些作物的分界线;湿润指数(MI)是水分的收支比率,反映了气候的湿润程度。

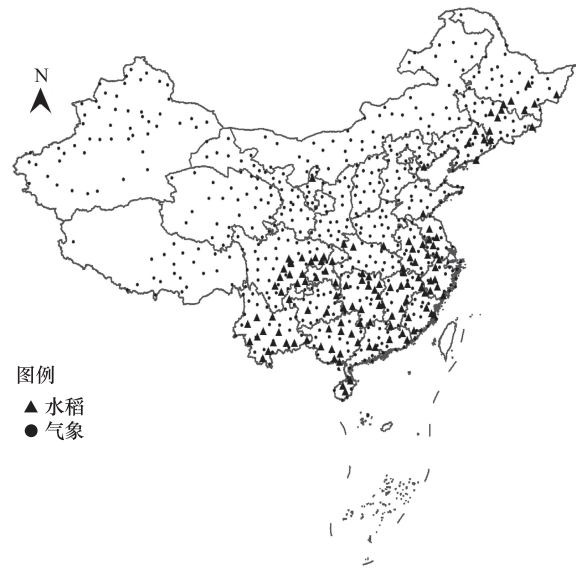


图 1 研究区域、气象台站及水稻站点地理分布图

Fig. 1 Location of the weather and rice stations in China

表 1 基于全国层次与年尺度筛选的影响中国水稻分布的潜在气候因子

Table 1 Potential climate factors affecting distribution of rice in China based on national and annual scales

气候因子 Potential climate factors	文献出处 Reference
$\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 Accumulated temperature of not less than $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sum T_0$)/($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)	[19-20]
$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 Accumulated temperature of not less than $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sum T_{10}$)/($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)	[9, 21]
稳定通过 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续日数 Days of not less than $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ stably (N_{10})/d	[8]
稳定通过 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续日数 Days of not less than $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ stably (N_{18})/d	[8]
最冷月平均气温 Mean temperature of the coldest month (T_c)/ $^{\circ}\text{C}$	[9, 19-20]
最暖月平均气温 Mean temperature of the warmest month (T_w)/ $^{\circ}\text{C}$	[6, 9, 19]
气温年较差 Annual range of temperature (ART)/ $^{\circ}\text{C}$	[19, 22]
年降水量 Annual precipitation (P)/mm	[6, 19]
湿润指数 Moisture index (MI)	[19, 23]

各界限温度积温采用累积法计算:

$$Y = \sum_{i=1}^n t_{i>B}$$

式中, Y 为活动积温, B 为各界限温度, t_B 为高于 B 的活动温度, i 为稳定通过 B 的第 i 天, n 为稳定通过界限温度 B 的日数。稳定通过界限温度的日数采用中国气象局规定的全国各气象台站计算界限温度起止日期的 5 日滑动平均法计算^[24]。最冷月平均气温(T_c)为 1 月平均气温;最暖月平均气温(T_w)为 7 月平均气温;最冷最热月平均温度差(ART)为 $T_w - T_c$ 。湿润指数(MI)采用 Holdridge 生命地带系统方法计算:

$$MI = \frac{P}{PET} = \frac{P}{58.93 \times BT}, \quad BT = \frac{\sum t}{365}$$

式中, P 为年降水量, t 为 $<30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 与 $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的日平均气温^[23]。

据此,可分别计算出 1971—2000 年各年各站点的 9 个潜在气候因子值,再进行 30a 平均,求取气候标准年(1971—2000 年)9 个潜在气候因子的平均值。

1.2.2 研究方法

基于最大熵模型和 ArcGIS 空间分析功能等技术的具体研究方法如下:

(1) 模型输入资料的格式转换 利用 ArcGIS 的 Kriging 插值^[25]功能将影响水稻潜在分布的 9 个潜在气候因子平均值转换成 ASC II 格式数据,格点大小为 0.1°×0.1°,作为最大熵模型的环境变量层输入;将水稻地理分布信息整理成 CSV 格式,作为最大熵模型的样本输入数据。

(2) 初始模型的构建 选中 Create response curves 选项,其它选项采用模型的默认设置,构建水稻潜在分布的最大熵模型,并采用受试者工作特征曲线(Receiver operating characteristic curve,ROC 曲线)的曲线下面积(Area under curve,AUC)值对建立的最大熵模型模拟结果精度进行评价。

(3) 主导气候因子的选取 根据各潜在气候因子对水稻分布影响贡献率的大小,提出影响中国水稻分布的主导气候因子。在此基础上,再重建中国水稻分布的最大熵模型,并进行模拟结果精度评价。

(4) 水稻气候适宜等级分区 利用 ArcGIS 的格式转换工具 Conversion Tools 将预测结果的 ASC II 转化为 Raster 格式;最大熵模型预测结果给出的是作物在待预测地区的存在概率 p ,取值范围在 0—1 之间。为得到中国水稻的气候适宜等级分区,利用 Spatial Analysis Tools 的 Reclassify 功能选择合适的阈值进行气候适宜等级分区。参考 IPCC 报告^[26]关于评估可能性的划分方法,结合中国水稻实际情况,得出水稻气候适宜等级分区标准如下: $P<0.05$ 为气候不适宜区; $0.05\leq P<0.33$ 为气候低适宜区; $0.33\leq P<0.66$ 为气候中适宜区; $P\geq 0.66$ 为气候高适宜区。

(5) 量化分析水稻潜在分布与各气候适宜区气候因子的阈值。利用 ArcGIS 软件中的空间分析模块,将主导气候因子栅格数据与水稻潜在分布区及各气候适宜区的数据叠加,提取水稻潜在分布区与各气候适宜区的气候因子值,并统计分析这些气候因子范围内的水稻栅格数,绘制折线图,进而分析水稻各气候适宜性分区的气候因子阈值及其气候特征。

2 结果分析

2.1 模型模拟的准确性评价

应用最大熵模型模拟输出的 ROC 曲线的 AUC 值评估模型模拟的准确性。ROC 曲线是以预测结果的每一个值作为可能的判断阈值,由此计算得到相应的灵敏度和特异度。以假阳性率即(1-特异度)为横坐标,以真阳性率即灵敏度(1-遗漏率)为纵坐标绘制 ROC 曲线,其 AUC 值的大小作为模型预测准确度的衡量指标,取值范围为[0,1]^[14]。AUC 值的评估标准为:0.50—0.60(失败);0.60—0.70(较差);0.70—0.80(一般);0.80—0.90(好);0.90—1.0(非常好)^[27]。结果表明(表 2),基于潜在气候因子的 AUC 值达 0.895,模拟结果准确性达到好的标准,表明所构建模型可用于水稻潜在分布模拟。

表 2 中国水稻潜在分布模型模拟的 AUC 值
Table 2 AUC values of maximum entropy model of rice potential distribution in China

	AUC	
	基于潜在气候因子 Based on candidate climate factors	基于主导气候因子 Based on dominant climate factors
水稻 Rice	0.895	0.892

2.2 主导气候因子筛选及其与存在概率关系

表 3 给出了影响中国水稻分布的前 5 个主要气候因子贡献百分率和累计贡献百分率。按照贡献百分率由大到小排序依次为:年降水量(P ,68.2%)、湿润指数(MI ,15.1%)、稳定通过 18℃ 的持续日数(N_{18} ,10.8%)、 ≥ 10 ℃ 积温($\sum T_{10}$,3.5%)、最暖月平均气温(T_w ,1.3%)。前 4 个气候因子的累积贡献率达到 97.6%,超过 95%,可以认为这 4 个气候因子是影响水稻分布的主导气候因子。

基于筛选的主导气候因子,结合最大熵模型,构建水稻潜在分布模拟模型。结果表明(表 2),基于主导气候因子的 AUC 达 0.892,模拟结果准确性达到好的标准,表明基于筛选的主导气候因子构建的模型可用于水

稻潜在分布模拟。

表 3 影响中国水稻分布的气候因子贡献百分率和累积贡献百分率

Table 3 Contribution rate of climate factors affecting rice distribution in China

气候因子 Climate factors	贡献百分率 Percent contribution/%	累积贡献百分率 Accumulated percent contribution/%
年降水量 Annual precipitation (P)/mm	68.2	68.2
湿润指数 Moisture index (MI)	15.1	83.3
稳定通过 18 °C 持续日数 Days of not less than 18 °C stably (N_{18})/d	10.8	94.1
≥10 °C 积温 Accumulated temperature of not less than 10 °C ($\sum T_{10}$)/(°C·d)	3.5	97.6
最暖月平均气温 Mean temperature of the warmest month (T_w)/°C	1.3	98.9

作为湿生喜温植物,水稻适宜的气候条件是较充沛的降水、适宜的空气湿润度,一定的日平均气温 $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续日数及稳定通过 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积温(图2)。年降水量较少时,水稻存在概率较低(图2);当年降水量高于一定数值(约 500 mm/a)时,水稻存在概率迅速升高,与水稻喜湿的生物学特性一致。但当年降水量超过一定程度(约 1800 mm/a)时,水稻存在的概率迅速下降。由图2可以看出,水稻存在概率高的区域是在一定的湿润度范围内。水稻存在概率明显提高的日平均气温 $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续日数有两个阈值:一个是 50 d ,之后水稻存在概率明显提高;另一个是 140 d 左右,之后水稻存在概率提高到接近最大。在 230 d 附近,水稻存在概率有所下降(图2)。图2显示,在 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温低于约 $2300\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 的地区,水稻存在概率较低,之后有一个直线提高的阶段,然后基本平稳;在 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温大于约 $4300\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 的地区,水稻存在概率再次直线提高,但之后即使

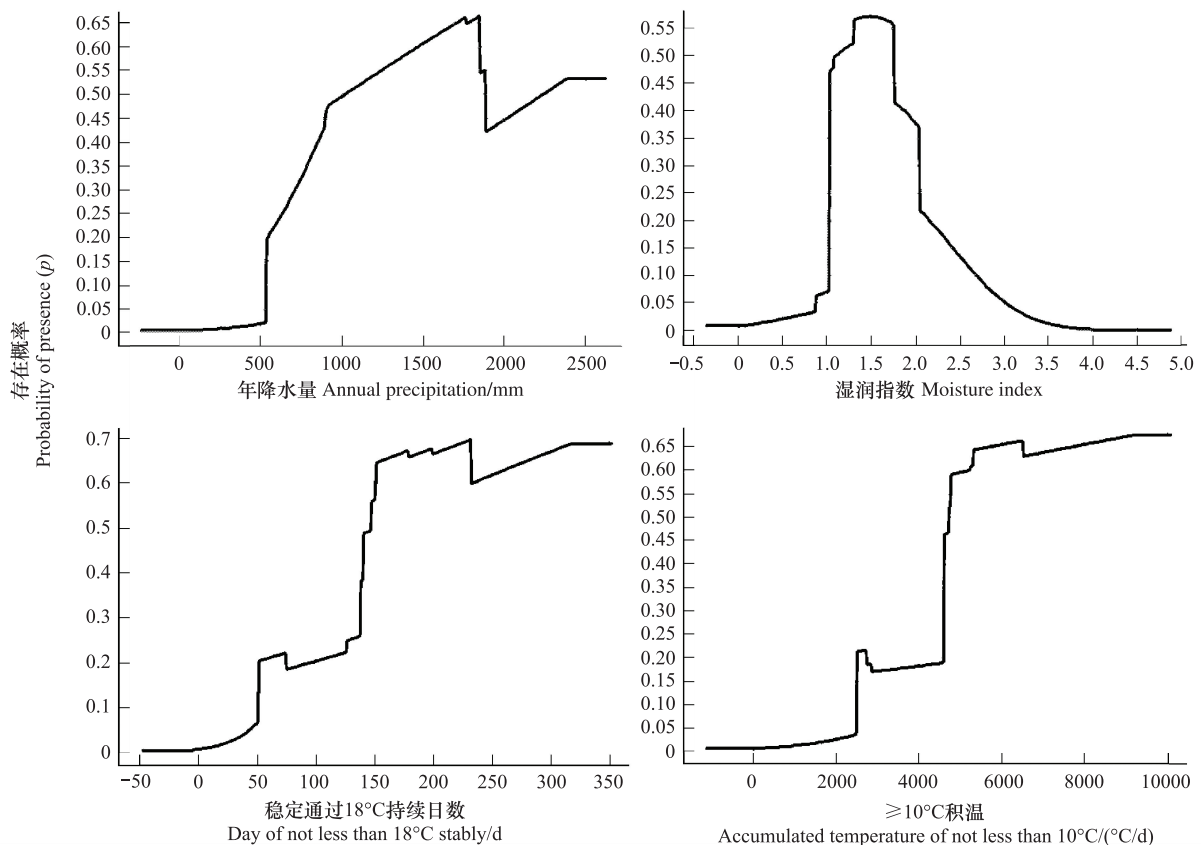


图 2 水稻存在概率与各气候因子关系

Fig. 2 Relationships between rice probability of presence and climate factors

再升高,水稻的存在概率也不再显著增加。

2.3 水稻潜在分布及其气候适宜等级

根据筛选出的影响中国水稻分布的4个主导气候因子,再次进行最大熵模型模拟,结合水稻气候适宜等级分区划分标准,给出了中国水稻潜在分布及其气候适宜等级(图3)。中国水稻的潜在分布区主要位于东北地区东部、环渤海的京津唐地区、山东、河南、陕西中南部、四川盆地、长江中下游及其以南的广大地区和山西、西藏局部等地区。气候适宜等级分区如下:

高适宜区($P \geq 0.66$):主要分布于江西北部及海南局部等地区;中适宜区($0.33 \leq P < 0.66$):主要分布于东北平原及辽东丘陵,山东、河南、陕西南部及其以南的广大地区,包括江苏、安徽、湖北、重庆、四川东部、浙江、江西、湖南、贵州、云南、福建、广东、广西、海南及台湾等地区;低适宜区($0.05 \leq P < 0.33$):主要分布于黑龙江小兴安岭和吉林东部长白山,环渤海的京津唐地区,山东、河南大部,陕西中部及西藏东南部等地区;中国其它地区为水稻种植区的气候不适宜区($P < 0.05$):主要分布于新疆、青海、内蒙古、宁夏、甘肃、西藏、河北、山西大部,东北地区、四川西部等地区。

2.4 水稻潜在分布区及各气候适宜等级的气候特征

中国水稻的潜在分布面积与年降水呈近似的偏正态分布关系(图4),分布界限为年降水量531 mm到1859 mm之间,此范围以外的地区为潜在分布极少区域。其中,80%的水稻潜在分布面积处于年降水量为560—1668 mm的地区;年降水量为545 mm地区,潜在分布面积最大。中国水稻的潜在分布面积与湿润指数呈典型的偏正态分布(图4)。95%的中国水稻潜在分布区的湿润指数在0.81—1.88之间,其中80%的中国水稻分布区的湿润指数在0.92—1.64之间;中国水稻潜在分布面积最大地区对应的湿润指数是

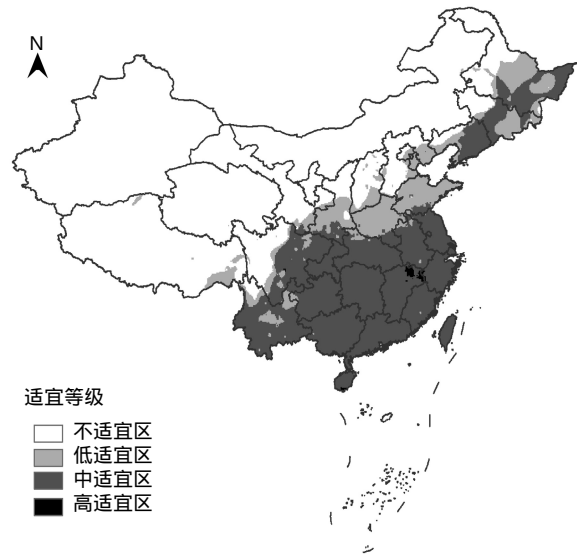


图3 中国水稻的潜在分布及其气候适宜等级

Fig. 3 Potential distribution of rice and its acclimation classes in China

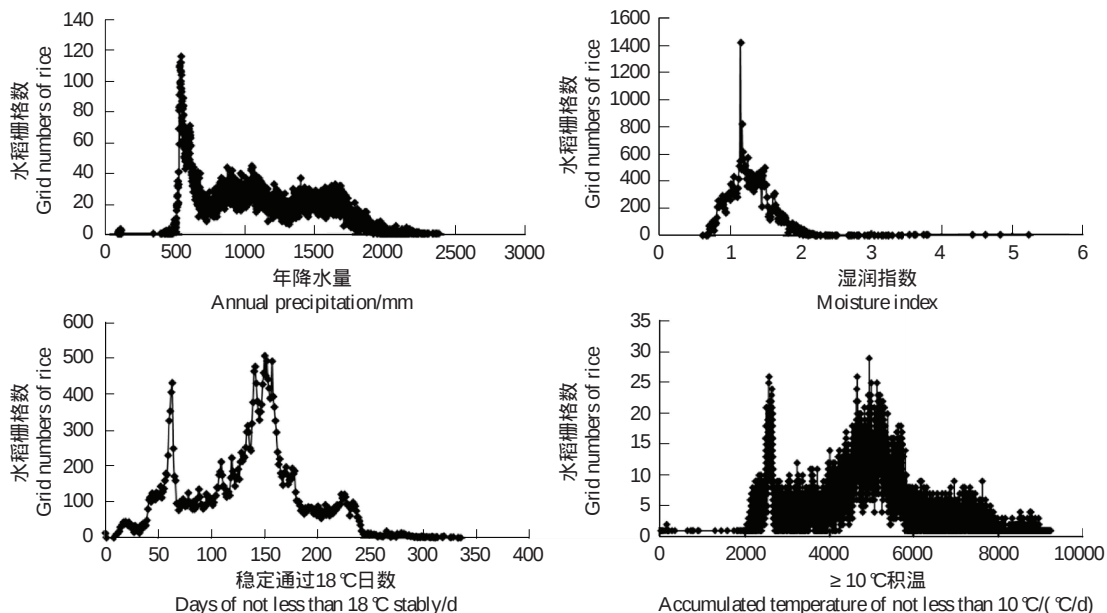


图4 水稻分布面积(栅格数)与各气候因子关系

Fig. 4 Relationships between distribution area (numbers of raster) of rice and climate factors

1.15,该条件下水稻潜在分布面积占水稻总潜在分布面积的4.15%。中国水稻潜在分布面积与稳定通过18℃持续日数呈近似正态分布关系(图4),80%的中国水稻潜在分布区的稳定通过18℃持续日数在58—205 d之间;稳定通过18℃持续日数小于36 d或大于235 d地区的水稻潜在分布面积小于总面积的5%(图4)。中国水稻潜在分布面积与 ≥ 10 ℃积温呈近似正态分布关系,主要潜在分布区 ≥ 10 ℃积温在2600—6718℃·d之间,占总潜在分布面积的约80%(图4);中国水稻潜在分布范围的 ≥ 10 ℃积温界限为2278℃·d和7653℃·d,低于2278℃·d或高于7653℃·d地区,水稻分布极少。

根据类似的方法,得到中国水稻潜在分布区各气候适宜性分区的气候特征如下:高适宜区的气候特征为年降水量为1594—1847 mm,稳定通过18℃持续日数在104—179 d和308—335 d之间,湿润指数在1.19—1.22和1.95—3.75之间, ≥ 10 ℃积温在5061—5770℃·d和8892—9224℃·d之间;中适宜区的气候特征为年降水量为542—1890 mm,稳定通过18℃持续日数为59—238 d,湿润指数1.04—1.88, ≥ 10 ℃积温是2548—7768℃·d;低适宜区的气候特征为年降水量为511—1011 mm,稳定通过18℃持续日数是18—145 d,湿润指数为0.73—1.78,稳定通过10℃积温为2167—5019℃·d;不适宜区的气候特征为年降水24—679 mm,稳定通过18℃日数0—134 d,湿润指数为0.1—2.28,稳定通过10℃积温为21—4439℃·d。

3 结论和讨论

3.1 中国水稻的潜在分布

本研究利用最大熵模型,基于筛选出的主导气候因子模拟了中国水稻的潜在分布,模拟准确性达到好的程度($AUC=0.892$)。模型模拟的中国水稻潜在分布与基于遥感和调查资料绘制的中国水稻分布图相比^[28-29],空间分布基本一致。高中适宜区与中国水稻主产区相近,低适宜区是中国水稻的种植区之一。研究表明^[30],气候是影响中国水稻地理分布的主要环境因子,筛选的4个气候因子起着主导因子的作用。最大熵模型反映的是物种的基础生态位^[14],理想状态下的分布几乎不可能发生,这时可能发生预测面积较实际分布面积大的现象。另一方面,由于植物的自适应性、人为影响等原因,使植物在超出原来基础生态位的地区也能生存,此时模拟物种分布面积比实际分布面积小。水稻作为受人为因素影响较大的农作物,人为因素,如水利灌溉、品种改进、栽培管理、市场需求等措施和条件都有可能使水稻分布面积扩大,会导致模拟的水稻分布面积比实际的小。在一个特定的模型分析中不可能包括所有的生态因子,因此,将模型看成偏生态位模型可能更符合实际^[31]。引进更多的影响物种分布的关键生态因子无疑会提高模型模拟的准确性。由于水利灌溉、品种改进、栽培管理、市场需求等影响因子相关数据难以取得,如何将这些因素纳入模型是未来需要进一步解决的问题。

环境因子影响模型模拟的准确性,同时作物种分布点数据的多少也将影响模型模拟的效果。分析不同训练样本数量对模型模拟效果的影响表明,当训练样本数达到20个时,模型模拟的准确度基本达到要求^[32];当样本数高于30个时,最大熵模型的预测结果表现稳定^[33-34]。本研究用于构建模型的水稻分布点训练样本数达127个,这可能是本研究模拟结果准确性较高($AUC=0.892$)的原因。此外,训练样本数在研究区分布的均衡程度、研究的尺度及模型自身的不足^[35]等会给模拟结果带来一定的误差和不确定性,这方面的工作未来需要进一步的完善和提高。

3.2 中国水稻潜在分布区的气候特征

本研究基于最大熵模型,提出了影响中国水稻潜在分布的主导气候因子,即年降水量、湿润指数、稳定通过18℃持续日数和 ≥ 10 ℃积温,分析了各气候因子对中国水稻潜在分布概率的影响,建立了中国水稻潜在分布面积与气候因子之间的关系,给出了中国水稻潜在分布、主要潜在分布区(约为总潜在分布面积的80%)及气候适宜等级四级分区的气候因子阈值。年降水与水稻存在概率的关系表明,水稻是喜湿作物,但过多降水将导致水稻的存在概率下降,对水稻生存不利。研究指出^[36],抛秧水稻大田秧苗定植期内遇上暴雨天气对水稻定植不利;淹水将影响水稻的生理生化过程,进而影响水稻生长发育,甚至导致水稻死亡^[37]。些研究结果也从实验上支持了水分过多对水稻生存不利的观点。湿润指数反映了气候的湿润程度,水稻存在概率较高

的湿润指数主要介于 1.0—2.0 之间,其值与水稻潜在分布面积中高适宜区的湿润指数(1.04—1.88)相近,说明湿润指数影响的存在概率较高的地区,也是中国水稻的中高适宜区,这些地区具有湿润、亚湿润的气候特征^[23]。稳定通过 18 ℃ 持续日数高于约 50 d 时,水稻的存在概率迅速升高,水稻主要潜在分布区的稳定通过 18 ℃ 持续日数在 58—205 d 之间,存在概率迅速升高的稳定通过 18 ℃ 持续日数和主要潜在分布区的稳定通过 18 ℃ 持续日数低值相近。高亮之等^[8]用基于农学经验的稳定通过 18 ℃ 持续日数 ≥ 30 d 作为水稻气候生态区划主要指标之一,与本研究通过水稻潜在分布栅格分析所得到的水稻潜在分布下限稳定通过 18 ℃ 持续日数为 36 d 的结果相近。导致水稻存在概率显著增加的 ≥ 10 ℃ 积温值,与中国水稻潜在分布的下限 ≥ 10 ℃ 积温值(2311 ℃·d)相近。西内光^[38]指出,水稻栽培的临界热量指标之一是积温在 2300 ℃·d 以上;在中国水稻生长季最短的黑龙江省南部与吉林省,由于采用塑料薄膜育秧,提高了温度,使水稻播期提早 15—20 d,生长季积温为 2200—2300 ℃·d^[8],这是人为改变水稻生长气候条件的例证。本研究给出的 ≥ 10 ℃ 积温略高,可能是没有考虑农艺措施对水稻栽培的影响引起。气候因子的作用是综合性的,因而可以根据水稻存在概率这一综合指标划分水稻气候适宜等级,并且气候因子不同值之间的组合能够得出同样的适宜等级,这与以往水稻区划相比^[6,8],既给出了气候影响的水稻潜在分布区域,又给出了水稻气候适宜等级。

本研究对气象数据进行空间插值时,虽然没有引入数字高程模型,但模拟结果仍能很好地揭示水稻潜在分布与气候的关系。在区域模拟研究中,地理信息系统具有的强大数据处理能力、空间分析功能极大地提升了模型模拟、预测和定量分析能力^[39-40]。与采用距离物种实际分布最近气象台站的气候资料代替物种实际分布地点的气候资料研究物种分布与气候关系的方法相比^[41-42],本研究利用地理信息系统分析和处理数据,使作物分布数据和气候数据在每栅格单元上相对应,有效地提高了数据的准确性。同时,应用地理信息系统清晰和直观地反映中国水稻的潜在分布,可直接反映出模型模拟能力,尤其能够定量分析水稻潜在分布与气候之间的关系。

本文研究的是自然气候条件下水稻的潜在分布及其气候特征。由于社会经济的需求、水利条件的改善及旱作水稻的发展等,水分对水稻种植界限的影响作用减小,因而,受人为调节水分因子影响的水稻潜在分布有待深入研究。

References:

- [1] Cheng S H, Hu P S. Development strategy of rice science and technology in China. *Chinese Journal of Rice Science*, 2008, 22(3): 223-226.
- [2] Peng S B, Huang J L, Sheehy J E, Laza R C, Visperas R M, Zhong X H, Centeno G C, Khush G S, Cassman K G. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(27): 9971-9975.
- [3] Tao F L, Yokozawa M, Xu Y L, Hayashi Y, Zhang Z. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981—2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 138(1/4): 82-92.
- [4] Yang X G, Liu Z J, Chen F. The possible effects of global warming on cropping systems in China I. The possible effects of climate warming on northern limits of cropping systems and crop yields in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(2): 329-336.
- [5] Zhang T Y, Zhu J, Wassmann R. Responses of rice yields to recent climate change in China: an empirical assessment based on long-term observations at different spatial scales (1981—2005). *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(7/8): 1128-1137.
- [6] Ding Y. *Rice Cultivation Science in China*. Beijing: Agriculture Press, 1961: 101-180.
- [7] Cooperative Research Group of Rice Photoperiod and Temperature Ecology. *Rice Cultivars' Photoperiod and Temperature Ecology in China*. Beijing: Science Press, 1978: 65-71.
- [8] Cooperative Group of Agricultural and Forest Crop Regionalization in China. *Climate Regionalization That Agricultural and Forest Crop in China*. Beijing: China Meteorological Press, 1987: 36-55.
- [9] China National Rice Research Institute. *Rice Cropping Regionalization in China*. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1989: 1-155.
- [10] Peterson A T. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *The Quarterly Review of Biology*, 2003, 78(4): 419-433.

- [11] Kozak K H, Graham C H, Wiens J J. Integrating GIS-based environmental data into evolutionary biology. *Trends in Ecology and Evolution*, 2008, 23(3): 141-148.
- [12] Cao M C, Zhou G S, Weng E S. Application and comparison of generalized models and classification and regression tree in simulating tree species distribution. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2031-2040.
- [13] Wang J, Ni J. Modelling the distribution of five *Caragana* species in temperate northern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(1): 12-24.
- [14] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 2006, 190(3/4): 231-259.
- [15] Jaynes E T. Information theory and statistical mechanics. *Physical Review*, 1957, 106(4): 620-630.
- [16] Li M Y, Ju Y W, Kumar S, Stohlgren T J. Modeling potential habitat for alien species of *Dreissena polymorpha* in the Continental USA. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4253-4258.
- [17] Elith J, Graham C H, Anderson R P, Dudík M, Ferrier S, Guisan A, Hijmans R J, Huettmann F, Leathwick J R, Lehmann A, Li J, Lohmann L G, Loiselle B A, Manion G, Moritz C, Nakamura M, Nakazawa Y, Overton J McC M, Peterson A T, Phillips S J, Richardson K S, Scachetti-Pereira R, Schapire R E, Soberón J, Williams S, Wisz M S, Zimmermann N E. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 2006, 29(2): 129-151.
- [18] Qi P C. GIS-Based Modeling of the Potential Distribution and the Potential Net Primary Productivity of Deciduous Broadleaved Forest in the Western Part of the Chinese Loess Plateau. Lanzhou: Lanzhou University, 2009.
- [19] Weng E S, Zhou G S. Defining plant functional types in China for global change studies. *Plant Phytoecologica Sinica*, 2005, 29(1): 81-97.
- [20] Associate Research Group for Agroclimatological Study of Cropping System in South China. Regionalization of cropping systems in rice growing regions in south China. *Scientia Agricultura Sinica*, 1982, (4): 35-42.
- [21] Zhu Y, Duan C C, Wang P Y. The agroclimatic advantages to growing hybrid rice and its zoning in Yunnan Province. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1999, 20(2): 21-24.
- [22] Liu H S, Liang H, Wang J X. Compatibility of climate resource and rice, wheat growth in Dianzhong Plateau. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1997, 18(1): 21-26.
- [23] Zhang X S, Yang D A, Ni W G. The potential evapotranspiration (PE) index for vegetation and vegetation-climatic classification (Ⅲ) — an introduction of main methods and PEP program. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1993, 17(2): 97-109.
- [24] Qu M L. Agro-Climatic Internship Guide. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1991: 1-9.
- [25] Li F, Zhou G S, Cao M C. Responses of *Larix gmelinii* geographical distribution to future climate change: a simulation study. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(12): 2255-2260.
- [26] IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2007: 104-104.
- [27] Swets J A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 1988, 240(4857): 1285-1293.
- [28] Froliking S, Qiu J J, Boles S, Xiao X M, Liu J Y, Zhuang Y H, Li C S, Qin X G. Combining remote sensing and ground census data to develop new maps of the distribution of rice agriculture in China. *Global Biogeochemical Cycles*, 2002, 16(4): 3801-3810.
- [29] Xiao X M, Boles S, Liu J Y, Zhuang D F, Froliking S, Li C S, Salas W, Moore B. Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 95(4): 480-492.
- [30] Beerling D J, Huntley B, Bailey J P. Climate and the distribution of *Fallopia japonica*: use of an introduced species to test the predictive capacity of response surfaces. *Journal of Vegetation Science*, 1995, 6(2): 269-282.
- [31] Wiley E O, McNysset K M, Peterson A T, Robins C R, Stewart A M. Niche modeling and geographic range predictions in the marine environment using a machine-learning algorithm. *Oceanography*, 2003, 16(3): 120-127.
- [32] Stockwell D R B, Peterson A T. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling*, 2002, 148(1): 1-13.
- [33] Phillips S J, Dudík M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 2008, 31(2): 161-175.
- [34] Wisz M S, Hijmans R J, Li J, Peterson A T, Graham C H, Guisan A, NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 2008, 14(5): 763-773.
- [35] Anderson R P, Raza A. The effect of the extent of the study region on GIS models of species geographic distributions and estimates of niche evolution: preliminary tests with montane rodents (genus *Nephelomys*) in Venezuela. *Journal of Biogeography*, 2010, 37(7): 1378-1393.
- [36] Huang G M, Wang G L, Lu Y C, Cai M C. Effects of meteorological conditions on fix plant and early growth of fling rice in field. *Meteorological Monthly*, 2004, 30(3): 53-55.

- [37] Reddy M D, Mittra B N. Effects of complete plant submergence on vegetative growth, grain yield and some biochemical changes in rice plants. *Plant and Soil*, 1985, 87(3): 365-374.
- [38] Zu S H, Mao Y L. Rice agroclimate regionalization in Heilongjiang Province. *Journal of Northeast Agricultural College*, 1983, (2): 34-45.
- [39] Guisan A, Theurillat J P, Kienast F. Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. *Journal of Vegetation Science*, 1998, 9(1): 65-74.
- [40] Bakkenes M, Alkemade J R M, Ihle F, Leemans R, Latour J B. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology*, 2002, 8(4): 390-407.
- [41] Hong B G, Li S Z. The preliminary study of the correlations between the distribution of main every green broad-leaf tree species in Jiangsu and climate. *Acta Ecologica Sinica*, 1981, 1(2): 105-111.
- [42] Ni J, Song Y C. Relationships between geographical distribution of *Cyclobalanopsis glauca* and climate in China. *Acta Botanica Sinica*, 1997, 39(5): 451-460.

参考文献:

- [1] 程式华, 胡培松. 中国水稻科技发展战略. *中国水稻科学*, 2008, 22(3): 223-226.
- [4] 杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析. *中国农业科学*, 2010, 43(2): 329-336.
- [6] 丁颖. 中国水稻栽培学. 北京: 农业出版社, 1961: 101-180.
- [7] 水稻光温生态研究协作组. 中国水稻品种的光温生态. 北京: 科学出版社, 1978: 65-71.
- [8] 中国农林作物气候区划协作组. 中国农林作物气候区划. 北京: 气象出版社, 1987: 36-55.
- [9] 中国水稻研究所. 中国水稻种植区划. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1989: 1-155.
- [12] 曹铭昌, 周广胜, 翁恩生. 广义模型及分类回归树在物种分布模拟中的应用与比较. *生态学报*, 2005, 25(8): 2031-2040.
- [13] 王娟, 倪健. 中国北方温带地区 5 种锦鸡儿植物的分布模拟. *植物生态学报*, 2009, 33(1): 12-24.
- [18] 戚鹏程. 基于 GIS 的陇西黄土高原落叶阔叶林潜在分布及潜在净初级生产力的模拟研究. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [19] 翁恩生, 周广胜. 用于全球变化研究的中国植物功能型划分. *植物生态学报*, 2005, 29(1): 81-97.
- [20] 全国种植制度气候研究南方协作组. 我国南方稻区种植制度的气候生态区划. *中国农业科学*, 1982, (4): 35-42.
- [21] 朱勇, 段长春, 王鹏云. 云南杂交水稻种植的气候优势及区划. *中国农业气象*, 1999, 20(2): 21-24.
- [22] 刘洪顺, 梁红, 王继新. 滇中高原气候资源与水稻、小麦生长的协调性. *中国农业气象*, 1997, 18(1): 21-26.
- [23] 张新时, 杨奠安, 倪文革. 植被的 PE (可能蒸散) 指标与植被气候分类 (三) ——几种主要方法与 PEP 程序介绍. *植物生态学报*, 1993, 17(2): 97-109.
- [24] 曲曼丽. 农业气候实习指导: 农业气候分析方法 30 例. 北京: 北京农业大学出版社, 1991: 1-9.
- [25] 李峰, 周广胜, 曹铭昌. 兴安落叶松地理分布对气候变化响应的模拟. *应用生态学报*, 2006, 17(12): 2255-2260.
- [36] 黄光民, 王广伦, 吕业成, 蔡绵聪. 气象条件对抛秧水稻大田定植及前期生长的影响. *气象*, 2004, 30(3): 53-55.
- [38] 祖世亨, 毛玉兰. 黑龙江省水稻农业气候区划. *东北农学院学报*, 1983, (2): 34-45.
- [41] 洪必恭, 李绍珠. 江苏主要常绿阔叶树种的分布与热量关系的初步研究. *生态学报*, 1981, 1(2): 105-111.
- [42] 倪健, 宋永昌. 中国青冈的地理分布与气候的关系. *植物学报*, 1997, 39(5): 451-460.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 22 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Hyperspectral estimation models for plant community water content at both leaf and canopy levels in Wild Duck Lake wetland	6645
Potential distribution of rice in china and its climate characteristics	6659
Effects of seed soaking with soybean isoflavones on soybean seedlings under salt stress	6669
Ecophysiological responses and adaptation of <i>Tamarix ramosissima</i> to changes in groundwater depth in the Heihe river basin	6677
<i>Melica przewalskyi</i> population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland	6688
A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint	6696
Spatial-temporal variation of NPP and NDVI correlation in wetland of Yellow River Delta based on MODIS data	6708
Marshclassification mapping at a community scale using high-resolution imagery	6717
The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of <i>Arabidopsis thaliana</i> L. and the possible mechanisms	6727
Spatial and dynamic analysis of plantations in Xishuangbanna using network <i>K</i> -function	6734
Contrastive analysis and climatic response of tree-ring gray values and tree-ring densities	6743
Fractal structure of dominant tree species in north-facing slope of mountain of northern Hebei	6753
Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China	6766
Effects of seed-dressing agents on groundnut and rhizosphere microbes	6777
Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing	6788
A trend surface analysis of geographic variation in the traits of seeds and seedlings from different <i>Quercus acutissima</i> provenances	6796
Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin, Shaanxi Province, China	6805
An analysis on the water status in twigs and its relations to the drought resistance in Five woody plants living in arid zone	6815
The effect of fire on soil properties in a <i>Pinus massoniana</i> stand	6824
Water-environment effects of industry structure in Taihu Lake Basin in Jiangsu Province	6832
Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two <i>Kappaphycus</i> species	6845
Analysis on characteristics of a typical drought event in Jiangsu Province	6853
Surface heat flux and energy budget for semi-arid grassland on the Loess Plateau	6866
Effects of light quality on photosynthetic characteristics and on the carotenoid and cuticular extract content in tobacco leaves	6877
Cyanobacterial diversity in biological soil crusts on wastelands of copper mine tailings	6886
Stereotypic behavior frequency and the influencing factors in captive Alpine musk deer (<i>Moschus sifanicus</i>)	6896
Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station	6902
Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China	6912
A novel cognitive-based approach to motivation for non-use value	6926
Review	
Salt-responsive proteomics in plants	6936
Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments	6947
Review of research progress of infectious diseases in wild birds	6959
Review on the methods to quantify fish's ability to cross velocity barriers in fish passage	6967
Monograph	
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: foundation, prospect and response strategy	6973
Scientific Note	
A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature <i>Caragana korshinskii</i> plantations	6978

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 22 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 22 2011

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