

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第12期 Vol.32 No.12 **2012**

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 32 卷 第 12 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

- 河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例..... 孙永光,赵冬至,吴 涛,等 (3645)
- 鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征..... 张全军,于秀波,钱建鑫,等 (3656)
- 青岛市湿地生态网络评价与构建..... 傅 强,宋 军,毛 锋,等 (3670)
- 大堤型湖滨带生态系统健康状态驱动因子——以太湖为例..... 叶 春,李春华,王秋光,等 (3681)
- 绿色屋顶径流氮磷浓度分布及赋存形态..... 王书敏,何 强,张峻华,等 (3691)
- 坡度对农田土壤动物群落结构及多样性的影响..... 何先进,吴鹏飞,崔丽巍,等 (3701)
- 枣园桃蛀果蛾寄生蜂种类及其与寄主的关系..... 姚艳霞,赵文霞,常聚普,等 (3714)
- 基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价..... 邹丽丽,陈晓翔,何 莹,等 (3722)
- 温度、盐度和 pH 对马氏珠母贝稚贝清滤率的联合效应 朱晓闻,王 辉,刘 进,等 (3729)
- 鸡桑药共生模式库区土壤养分变化及流失风险..... 赵丽平,杨贵明,赵同科,等 (3737)
- 黑河中游典型土地利用方式下土壤粒径分布及与有机碳的关系 张俊华,李国栋,南忠仁 (3745)
- DEM 栅格分辨率和子流域划分对杏子河流域水文模拟的影响 邱临静,郑粉莉,Yin Runsheng (3754)
- 粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响..... 郭冠华,陈颖彪,魏建兵,等 (3764)
- 基于景观连接度的森林景观恢复研究——以巩义市为例 陈 杰,梁国付,丁圣彦 (3773)
- 城市能源利用碳足迹分析——以厦门市为例..... 林剑艺,孟凡鑫,崔胜辉,等 (3782)
- 高寒牧区村域生态足迹——以甘南州合作市为例..... 王录仓,高 静 (3795)
- 太湖湖滨带生态系统健康评价..... 李春华,叶 春,赵晓峰,等 (3806)
- 秦岭大熊猫栖息地巴山木竹生物量..... 党坤良,陈俊娴,孙飞翔,等 (3816)
- 盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响..... 尤 佳,王文瑞,卢 金,等 (3825)
- 海南霸王岭山地原始林与伐后林中木质藤本对支持木的选择..... 刘晋仙,陶建平,何 泽,等 (3834)
- 闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应..... 王振兴,朱锦懋,王 健,等 (3841)
- 基于形态及分子标记的濒危植物夏蜡梅自然居群的遗传变异研究 金则新,顾婧婧,李钧敏 (3849)
- 不同径级油松径向生长对气候的响应..... 姜庆彪,赵秀海,高露双,等 (3859)
- 珍稀濒危植物长蕊木兰种群的年龄结构与空间分布..... 袁春明,孟广涛,方向京,等 (3866)
- 巨桉与 5 种木本植物幼树的耗水特性及水分利用效率的比较..... 胡红玲,张 健,万雪琴,等 (3873)
- 银木凋落叶腐解过程对小白菜生长和抗性生理的影响..... 黄激激,胡庭兴,张念念,等 (3883)
- 基于氡示踪剂和热扩散技术的栓皮栎水分运输速率与效率研究..... 孙守家,孟 平,张劲松,等 (3892)
- 石漠化干旱环境中石生藓类水分吸收特征及其结构适应性..... 张显强,曾建军,湛金吾,等 (3902)
- 含铜有机肥对土壤酶活性和微生物群落代谢的影响..... 陈 琳,谷 洁,高 华,等 (3912)
- 钝叶枧不同性别花的花部形态与传粉特征比较..... 王 茜,邓洪平,丁 博,等 (3921)
- 我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性..... 何奇瑾,周广胜 (3931)
- 烯效唑干拌种对小麦氮素积累和运转及籽粒蛋白质品质的影响..... 樊高琼,杨恩年,郑 亭,等 (3940)

专论与综述

- 中国产业共生发展模式的国际比较及对策 石 磊,刘果果,郭思平 (3950)

研究简报

- 吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化 张国坤,卢京花,宋开山,等 (3958)
- 杨树人工林生态系统通量贡献区分析..... 金 莹,张志强,方显瑞,等 (3966)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-06



封面图说:鸳鸯——在分类上属雁形目,鸭科。英文名为 Mandarin Duck(即“中国官鸭”)。鸳指雄鸟,鸯指雌鸟,故鸳鸯属合成词。常常栖息于山地河谷、溪流、湖泊、水田等处,雌雄偶居,以植物性食物为主,也食昆虫等小动物。繁殖期 4—9 月间,雌雄配对后迁至营巢区。巢往往置于树洞中,用干草和绒羽铺垫,每窝产卵 7—12 枚。江西省婺源鸳鸯湖是亚洲最大的野生鸳鸯越冬栖息地。鸳鸯是一种美丽的禽鸟,中国传统文化又赋予它很多美好的寓意,因此,在许多文学艺术作品中经常用以表达爱情。

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

DOI: 10.5846/stxb201111161744

何奇瑾, 周广胜. 我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性. 生态学报, 2012, 32(12): 3931-3939.

He Q J, Zhou G S. Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3931-3939.

我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性

何奇瑾^{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: 根据中国气象局 216 个春玉米农业气象观测站资料与 1971—2000 年 10 km×10 km 空间分辨率的气候资料, 基于全国区域和年尺度筛选出了影响我国玉米种植分布的潜在气候指标, 利用最大熵 (Maximum Entropy, MaxEnt) 模型和 ArcGIS 空间分析技术, 构建了春玉米潜在种植分布与气候因子关系模型, 研究了影响我国春玉米潜在种植分布区的主导气候因子及其气候适宜性。结果表明, 影响我国春玉米潜在种植分布的主导气候因子有: $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的天数、最热月平均温度、年平均温度、年降水、湿润指数和气温年较差; 结合春玉米存在概率, 将我国春玉米潜在种植分布区划分成 4 个等级: 气候不适宜区、次适宜区、适宜区和最适宜区, 给出了各气候适宜区的气候特征。选取作物在待预测地区的存在概率这一综合反映各主导气候因子影响的指标来划分作物潜在种植分布区, 有助于更加准确地进行气候区划, 从而可为制定玉米应对气候变化措施提供科学依据。

关键词: 春玉米; 潜在种植分布; 主导气候因子; 气候适宜性; 最大熵 (MaxEnt) 模型

Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China

HE Qijin^{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: Based on the spring maize cultivation geographical information from 216 agricultural meteorological observation stations of China Meteorological Administration, climate data with 10km×10km spatial resolution from 1971 to 2000 in China, and the potential climate indices at national and annual scales influencing maize cultivation distribution from the references, together with the maximum entropy (MaxEnt) model as well as ArcGIS spatial analysis technique, the relationship between potential spring maize cultivation distribution and climate and the climatic suitability regionalization of potential spring maize cultivation in China were studied in this paper. The results show that the MaxEnt model is able to develop the relationship between potential spring maize cultivation distribution and climate. The key climatic factors affecting spring maize cultivation distribution include $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature, duration days of $\geq 10^{\circ}\text{C}$, the warmest month average temperature, annual average temperature, annual precipitation, humidity index and annual temperature range. The climatic suitability regionalization of potential spring maize cultivation in China was given by the existence probability from the relationship between potential spring maize cultivation distribution and climate. According to the statistical principles and the description of probability from the Fourth Assessment Report of the International Panel on Climate Change (IPCC), the suitability class of spring maize cultivation distribution was given by the existence probability (P): $P < 0.05$ (unsuitable area), $0.05 \leq P < 0.33$ (less suitable area), $0.33 \leq P < 0.66$ (suitable area), and $P \geq 0.66$ (optimum area). The optimum area of spring maize was approx. 5% of the total land area in China, included midwest and

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2010CB951303); 公益性行业 (农业) 科研专项经费 (200903003)

收稿日期: 2011-11-16; **修订日期:** 2012-04-17

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

northeast parts of Heilongjiang province; midwest part of Jilin province; Liaoning province; parts of Hebei, Shanxi, Shanxi provinces, Inner Mongolia Autonomous Region (Inner Mongolia for short) and Xinjiang Uygur Autonomous Region (Xinjiang for short). The suitable area of spring maize was approx. 30%, which included south of Heihe city in Heilongjiang province; Jilin province except its east part; most parts of Hebei, Tianjin, Shanxi, Shanxi, Shandong, Hubei, Jiangsu, Guizhou, Chongqing provinces and Ningxia Hui Autonomous Region (Ningxia for short); Tongliao, Chifeng, Hohhot and Erdos in Inner Mongolia; middle and south Gansu province; Sichuan basin; small parts of Henan, Anhui, Hunan, Yunnan provinces and Guangxi Zhuang Autonomous Region (Guangxi for short); Shannan district of Xizang (Tibet) Autonomous Region (Xizang for short). The less suitable area was approx. 34%, mainly included south Huma county in Heilongjiang province; west Inner Mongolia; north Gansu; most parts of the South Yangtze River Regions and South China; most parts of Xinjiang and Yunnan provinces. The unsuitable area of spring maize was approx. 31% of the total land area in China, which included north part of 52.6°N; east Inner Mongolia; east Jilin province; Qinghai-Tibet Plateau and high latitude areas of Xijiang. The north boundary of spring maize cultivation distribution given by $P \geq 0.05$ was around 52.6°N, and it is very close to the actual cultivation boundary at present. Furthermore, the climatic characteristics of different climatic suitability zones of potential spring maize cultivation were discussed. The actual distribution of spring maize cultivation in China depends not only on climate, socio-economic conditions, and local production technologies, but also on soil type, geographic characteristics, crop varieties, human activity and so on, especially in relation to its yield and economic value. This research provides scientific support for planning spring maize production and designing the countermeasures against the effects of climate change on spring maize.

Key Words: spring maize; potential cultivation distribution; dominant climatic factor; climatic suitability; maximum entropy (MaxEnt) model

我国是世界玉米生产大国。近 10a 来,我国玉米种植面积增加了 666.7 万 hm^2 ,总产提高了 6000 万 t,为粮食安全做出了突出贡献^[1]。我国玉米以四季种植为特点,其中春玉米占很大比重,种植面积约占全国玉米种植面积的 36%,而产量占全国玉米产量的 40%,在我国玉米产业中占据重要地位^[2-3]。

全球气候变化已经对自然与农业生态系统产生了广泛的影响,且可能进一步改变生态系统的结构和功能。农业生态系统对气候变化非常敏感,气候变化将增加农业生产的不稳定性、改变种植结构和布局、使局部地区的农业气象灾害加剧^[4-7]。近百年来,气候变暖已经显著地改变了农业生产的时空格局,气候变暖对玉米的影响因产区而异:温度升高,对部分高纬度及高海拔地区玉米生产总体有利,玉米潜在种植面积扩大,如东北地区玉米原有的次适宜区和不适宜区逐渐成为适宜种植区^[8],西藏地区海拔 3840 m 高处已可种植较早熟玉米^[9];温度升高同时也导致部分产区玉米的生育期和有效灌浆期缩短,极端性天气事件出现概率增加,病虫害爆发几率升高。因此,气候变化对玉米生产总体上仍可能为负面影响。

遵循农作物生理状况,改变种植结构、种植地域以及种植时间,是农业生产适应气候变化的重要手段,也是人类积极响应全球变暖的一种具体表现,研究两者关系及作用机制具有重要的科学和现实意义。我国学者针对各地气候特征,已经开展了不同地区的春玉米气候适宜性及其对气候的响应研究^[10-13],但这些研究由于采用资料或研究区域不同,选取的指标时空差异很大,对作物生长的影响因子及其阈值选取也不同,从而导致研究结果存在较大差异。为此,从全国区域研究影响春玉米的主导气候因子,探讨我国春玉米种植区的气候适宜性,对于科学地规划农业生产及制定应对气候变化政策具有重要意义。

本研究试图基于已有研究成果,结合最大熵(MaxEnt)模型,从全国区域和年尺度筛选影响我国春玉米潜在种植分布的主导气候因子;根据春玉米存在的概率并参考统计学原理及 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change,联合国政府间气候变化专门委员会)第四次评估报告对“可能性”的表述,进行现有种植制度下我国春玉米潜在种植分布的气候适宜性研究,以为评估气候变化对不同春玉米种植区的影响,制定玉米种

植应对气候变化策略提供依据。

1 数据与方法

1.1 数据来源

本研究使用的数据主要包括我国春玉米种植区的地理分布数据和气候数据,均来自于国家气象信息中心。春玉米种植区的地理分布数据取自我国农作物生长发育状况资料数据集,包括 216 个春玉米农业气象观测站(图 1)。

气候数据来自于 1971—2000 年 756 个中国基本、基准地面气象观测站的日值数据集,包括:站点经度、站点纬度、日平均气温、日最低气温、降水量等要素。采用 Thornton 等给出的截断高斯滤波算子空间插值算法,结合数字地面高程(DEM)数据,将气候数据插值成 $10\text{km} \times 10\text{km}$ 分辨率的空间栅格数据^[14-15]。

1.2 研究方法

近年来,已有多种模型被用于物种潜在分布研究,包括生态位模型(BIOCLIM、BLOMAPPER、DIVA、DOMAIN)、动态模拟模型(CLIMEX)、广义相加模型

GAM(generalized additive model)、广义线性模型 GLM(generalized linear model)、基于检验假设的分布预测模型 GARP(the genetic algorithm for rule-set prediction)以及最大熵(MaxEnt)模型等^[16-20]。其中,最大熵模型以气候相似性为原理,利用已有的物种分布资料和环境数据产生以生态位为基础的物种生态需求,探索已知物种分布区的环境特征与研究区域的非随机关系。研究表明,最大熵模型的预测结果优于同类预测模型,特别是在物种分布数据不全的情况下仍然能得到较为满意的结果,在诸多研究中被证实具有最佳的预测能力和精度^[21-26]。

2 影响我国春玉米潜在种植分布的主导气候因子分析

2.1 潜在气候因子选取及计算

作物种植区的地理分布取决于 3 类气候因子:(1)能够忍受的最低温度;(2)完成生活史所需的生长季长度和热量供应;(3)用于冠层形成和维持的水分供应^[27-28]。基于已有的玉米气候区划与自然植被区划研究成果,从全国区域及年尺度考虑,筛选出 10 个具有明确生物学意义的可能影响玉米种植分布的气候因子,包括:年平均温度、 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天数、无霜期、最冷月平均温度、最热月平均温度、气温年较差、年降水、湿润指数(表 1)^[29-41]。其中,最冷月平均温度代表玉米生长能够忍受的最低温度; $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天数和无霜期表示生长季的长度; $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温、年平均温度、最热月平均温度、气温年较差分别从热量累积和强度方面反映热量供应情况;年降水和湿润指数用于评价水分供应程度。根据 1971—2000 年的空间栅格日值气候数据($10\text{ km} \times 10\text{ km}$ 分辨率),采用 Fortran 编程计算得到 10 个气候因子的 30a 平均值,作为利用最大熵模型构建我国春玉米种植分布与气候因子关系模型的环境输入变量。

2.2 模型效果评价

评价预测模型的性能一般采用 ROC 曲线(receiver operating characteristic curve,受试者工作特征曲线),将 ROC 曲线下的面积即 AUC(area under curve)值作为模型预测准确性的衡量指标。AUC 的取值范围为 0.5—1,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)。当 $\text{AUC} > 0.75$ 时,认为构建的模型可用,AUC 值越大,表示该构建模型的预测准确性越好^[42-44]。

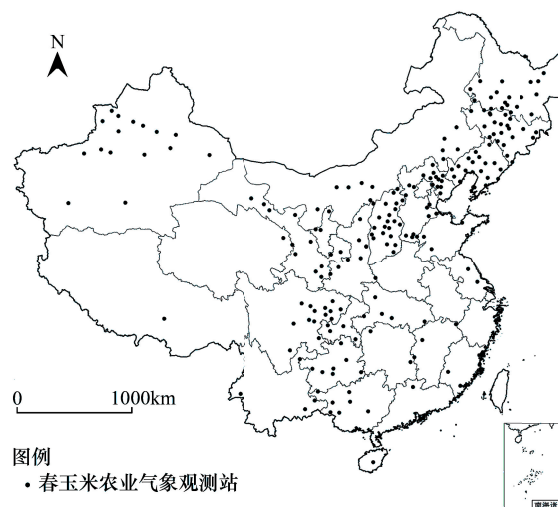


图 1 我国春玉米农业气象观测站地理分布图

Fig. 1 Distribution of agricultural meteorological observation stations of spring maize in China

表 1 影响我国玉米分布的潜在气候因子

气候因子 Climate factor	计算方法 Calculation method	意义 Explanation	文献来源 Reference
≥0 ℃ 积温	五日滑动平均法	适宜农耕期内的热量资源	[29-30]
≥10 ℃ 积温	五日滑动平均法	喜温植物生长期或喜凉植物旺盛生长期内的温度强度和持续时间	[13,31-40]
≥10 ℃ 的天数	五日滑动平均法	喜温植物生长期、喜凉植物旺盛生长期	[35]
无霜期	日最低气温≥2 ℃ 的持续期	作物大田生长时期的长短	[29,33,36-37]
年平均温度	$\sum_{i=1}^n t_i/n$	年总的热量资源情况	[36]
年降水	$\sum_{i=1}^n p_i$	年总的水分条件	[30]
最冷月平均温度	1 月份平均气温	农作物越冬条件	[30]
最热月平均温度	7 月份平均气温	喜温作物所需的高温条件	[30]
气温年较差	7 月月平均气温与 1 月月平均气温之差	一年中月平均温度的变化幅度	[30]
湿润指数	降水量与潜在蒸散的比值	某一地区气候干、湿程度的指标	[30,41]

首先,将春玉米种植地理分布数据及计算得到的 10 个气候因子导入最大熵模型,把整个数据分为两个子集:训练和评估子集。通过随机取样取得总数据集的 75% 作为训练子集,用来训练模型,余下的 25% 作为评估子集,构建我国春玉米种植分布与气候因子关系模型。得到 AUC 值为 0.872,表明所构建模型的预测准确性达到了“好”的标准。

2.3 主导气候因子分析

考虑到所选 10 个潜在气候因子间的相关性,对 3 类气候因子分别做相关分析,发现≥0 ℃ 积温与≥10 ℃ 积温,≥10 ℃ 的天数 与无霜期之间高度相关,将这 2 组因子分别组合成 4 类,再与其他 6 个因子分别构建我国春玉米种植分布-气候关系模型,得到 AUC 值最高(为 0.867)的组合为:≥10 ℃ 积温、≥10 ℃ 的天数、最热月平均温度、年平均温度、年降水、湿润指数、最冷月平均温度、气温年较差。

利用基于最大熵模型的 Jackknife 模块,分析各气候因子对春玉米种植分布影响的贡献(图 2)。图中横坐标代表各气候因子的贡献程度,纵坐标代表各气候因子。红色条带代表所有变量的贡献;蓝色的条带越长,说明该变量越重要;绿色的条带长度代表除该变量以外,其他所有变量组合的贡献。各气候因子对我国春玉米种植分布影响的重要性排序为:≥10 ℃ 积温、≥10 ℃ 的天数、最热月平均温度、年平均温度、年降水、湿润指数和气温年较差、最冷月平均温度。可见,对春玉米种植分布影响最大的是≥10 ℃ 积温(蓝色条带最长);影响最小的是最冷月平均温度(蓝色线条最短);气温年较差、年平均温度因包含其他变量不可替代的信息(绿色条带较短),作用不可忽视。进一步分析发现前 7 个因子的累积贡献百分率达 97.5%,由此筛选出影响我国春玉米种植分布的主导气候因子为:≥10 ℃ 积温、≥10 ℃ 的天数、最热月平均温度、年平均温度、年降水、湿润指数和气温年较差。由于春玉米是一年一熟种制,受越冬条件的影响较小。

3 我国春玉米潜在种植分布的气候适宜性分析

3.1 气候适宜性划分

利用最大熵模型,结合选定的影响我国春玉米种植分布的 7 个主导气候因子,可以预测我国春玉米潜在种植分布的气候适宜性。最大熵模型可以给出作物在待预测地区的存在概率 P ,取值范围为 0—1。根据统计学原理,当作物在某一格点的存在概率 $P<0.05$ 时为小概率事件,在此定义为不适宜区;当 $P\geq0.05$ 时,为可种植区。同时,IPCC 第四次评估报告中对“可能性”的表述,将春玉米的可种植区划分为 3 个等级: $0.05\leq P<0.33$ 为次适宜区; $0.33\leq P<0.66$ 为适宜区; $P\geq0.66$ 为最适宜区。

图 3 给出了基于 ArcGIS 9.3 的我国春玉米潜在种植分布的气候适宜性等级划分,不同颜色代表不同气

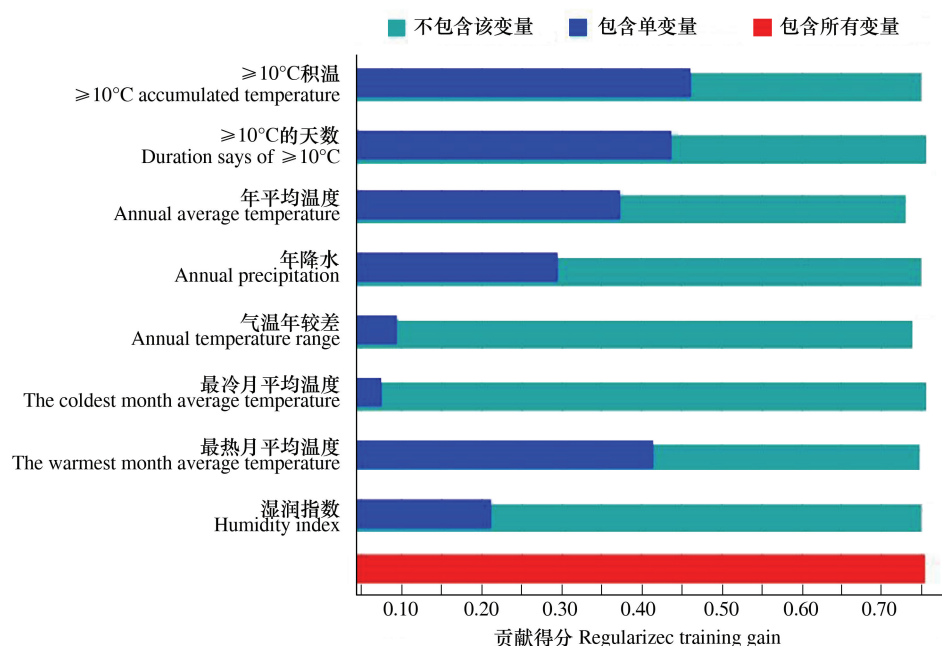


图2 基于 Jackknife 的气候因子对我国春玉米种植分布的贡献

Fig. 2 Contribution of climatic factors on the cultivation distribution of spring maize in China

候条件下的春玉米生长适宜程度。其中,春玉米种植的气候最适宜分布区面积占我国总面积的 5%,适宜区占 30%,次适宜区占 34%,不适宜区占 31%。

3.2 气候适宜区的气候特征分析

由于玉米的适应性强,分布广泛,我国 31 个省、直辖市、自治区均有分布;但受气候条件限制,春玉米种植区主要集中在我国的北方、西北及西南的部分区域,各气候适宜区的气候特征存在一定差异(图 3,表 2)。

春玉米种植的气候最适宜区主要属于中温带和寒温带半干旱、半湿润气候,大部分地区温度适宜、日照充足,对春玉米生长发育十分有利。尤其是西北地区光资源丰富,温度也非常适宜春玉米种植,应大力发展灌溉措施,提高水、热、光能利用率,达到增产目的。

春玉米种植的气候适宜区主要包括北方大部分省区、西北和西南的部分地区,气候类型多样,有中温带和寒温带半干旱、半湿润气候,温带干旱气候,暖温带半湿润气候,亚热带半湿润、半干旱气候,亚热带湿润气候等,许多地区具备灌溉条件,对春玉米生产起到了保障作用。但本区北部活动积温年际间变动较大,热量条件不稳定,个别年份的低温冷害可能影响春玉米生产,宜选育推广耐低温、生育期短的玉米品种,以减轻或避免低温危害;本区的南部和西部,春玉米生产可能受到干旱少雨的影响,拟适度发展水利灌溉工程,同时推广间套作,充分利用气候资源。

春玉米种植的气候次适宜区主要包括我国南方地区 and 新疆大部,其中南方地区虽然具备雨热条件,但热害严重,降水量过多,对春玉米生产不利,是我国水稻的主产区。

青海、西藏的大部分地区、新疆局部、黑龙江北部、吉林东部和内蒙古东部、四川西北部属于春玉米种植的气候不适宜区,因气候高寒、干旱、或无灌溉条件,不适宜种植玉米。

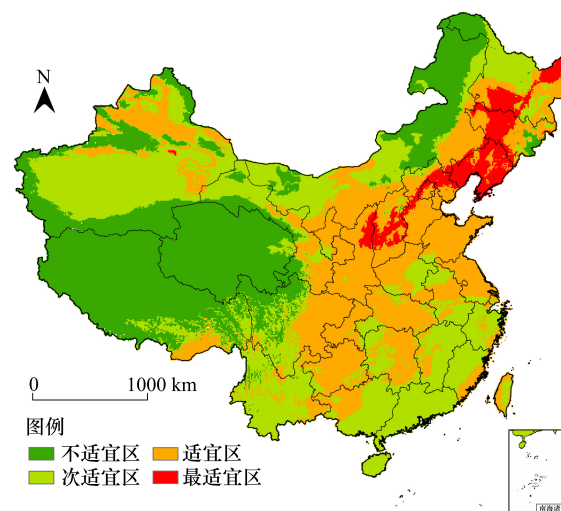


图3 我国春玉米种植的气候适宜性划分

Fig. 3 Climatic suitability of spring maize cultivation in China

目前,全国范围的春玉米气候适宜性研究还未见报道,主要是各省市或局部地区的研究。为此,本研究以气候变化剧烈且影响较大的东北地区为例,比较分析了本研究与现有研究结果的异同。李季贞等^[30]指出,黑龙江省是春玉米适种区,但嫩江、北安、德都、伊春、逊克、嘉荫以北的全部地区不适合玉米的大面积种植,只能在局部小气候条件下零星种植早熟品种;而高素华^[45]将呼玛以北地区、以东岗为中心的长白山地区划分为不适宜区,吉林西南部和辽宁中西部为最适宜区,鸡西、牡丹江为适宜区,黑龙江东部为次适宜区;黄青等^[46]基于遥感信息获取了东北春玉米种植范围,其中黑龙江东西部、吉林中西部、辽宁大部均有春玉米种植,呼玛以北有零星分布,吉林东部的长白山地区没有春玉米分布。因此,本研究给出的东北地区春玉米种植气候最适宜区和适宜区范围与以往研究结果基本一致,但本研究将 52.6°N 以北地区划为气候不适宜区较已有研究结果更符合实际情况。这进一步证明了本研究确定的影响春玉米种植分布的主导气候因子的合理性以及选取作物存在概率划分春玉米潜在种植分布气候适宜性的可行性。

表 2 我国春玉米种植的气候适宜区概况
Table 2 General situation of climatic suitability of spring maize cultivation zone in China

项目 Item	最适宜区 Optimum area	适宜区 Suitable area	次适宜区 Less suitable area	不适宜区 Unsuitable area
≥10℃ 积温/℃·d	2267.6—5096.4	1604.7—7164.3	502.2—7980.7	1.54—4127.6
日平均气温≥10℃ 的持续日数/d	151—214	140—309	95—310	11—258
最热月平均温度/℃	18.8—30.8	14.3—30.7	9.7—29.3	2.9—26.9
年平均温度/℃	2.9—13.5	2.3—22.1	-2.3—24.9	-9.0—14.0
年降水/mm	129.3.0—906.8	122.7—1840.2	53.3—2203.3	52.0—1475.2
湿润指数	0.15—1.74	0.15—2.83	0.08—4.62	0.08—57.34
气温年较差/℃	27.8—43.0	11.7—43.6	7.5—45.8	8.9—46.7
主要分布区	黑龙江中西部 and 东部;吉林中西部;辽宁;内蒙、河北、山西、陕西、新疆的局部	黑龙江黑河以南的大部分分地区;吉林除东部以外地区;河北、天津、山西、陕西、宁夏、山东、湖北、江苏、贵州、重庆的绝大部分地区;内蒙的通辽、赤峰、呼和浩特和鄂尔多斯等地;甘肃的中南部;四川盆地;河南、安徽、湖南、广西和云南的局部;西藏的山南地区	黑龙江呼玛县以南地区;内蒙西部;甘肃北部;江南和华南的大部分分地区;新疆和云南的大部分分地区	52.6°N 以北;内蒙东部;吉林东部;青藏高原;新疆的高海拔地区

4 结论与讨论

根据我国 216 个春玉米农业气象观测站资料与 10 km×10 km 空间分辨率 1971—2000 年的气候资料,结合最大熵模型,研究了我国春玉米的潜在种植分布。结果表明:最大熵模型适于模拟我国春玉米的潜在种植分布,基于最大熵模型构建的我国春玉米潜在种植分布与气候因子关系模型的准确性达到“好”的标准(AUC 值为 0.872)。影响我国春玉米潜在种植分布的主导气候因子有 7 个:≥10℃ 积温、≥10℃ 的天数、最热月平均温度、年平均温度、年降水、湿润指数和气温年较差,其累积百分率达 97.5%。根据春玉米的存在概率,可将我国春玉米潜在种植区划分成 4 个等级:气候不适宜区(31%)、次适宜区(34%)、适宜区(30%)和最适宜区(5%)。本研究给出的春玉米可种植北界在 52.6°N,与黄青等^[46]根据遥感资料得到的实际春玉米可种植界线基本一致。但需要注意的是,本研究给出的是我国春玉米的潜在种植区分布,现实的春玉米种植分布不仅决定于平均的气候条件,还受到极端天气气候事件以及社会经济结构、生产技术水平等影响。同时,本研究关于春玉米潜在种植分布的气候适宜性划分尚没有考虑农业气象灾害的影响,也还没有区分不同的玉米品种等,在实际应用时需要根据具体情况作进一步的深入研究。

作物生长发育需要一定的气候条件,气候条件影响着作物的布局。以往关于作物区划或自然植被分区大都是基于多个限制因子的阈值来逐步确定其分布区,没有给出一个考虑各因子影响的综合参数。由于多个限

制因子阈值的选择存在误差,这种累积误差导致最后确定的分布区与实际分布差异较大。为减小这一误差,本研究选取作物在待预测地区的存在概率来划分春玉米潜在种植分布区,因为它包含了所有主导因子的综合影响。这一方法有助于更加准确地进行作物区划或自然植被分区,从而可为准确评估作物或植被对气候变化的适应性与脆弱性,制定应对气候变化的科学策略提供依据。

References:

- [1] Pan G X. Analyzing and evaluating the impacts of climate change on agricultural production in China. Beijing: China Agriculture Press, 2010.
- [2] Yue D R. Regionalization of maize quality in China and its industrial distribution. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
- [3] Xiao J F, Liu Z D, Liu X F, Liu Z G, Chen Y M. Analysis and study on irrigation problem of main spring maize area of China. Water Saving Irrigation, 2010, (4): 1-3.
- [4] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [5] Rosenzweig C, Parry M L. Potential impact of climate change on world food supply. Nature, 1994, 367(6459): 133-138.
- [6] Tao F L, Zhang Z. Impacts of climate change as a function of global mean temperature: maize productivity and water use in China. Climatic Change, 2011, 105(3/4): 409-432.
- [7] Lobell D B, Field C B. Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. Environmental Research Letters, 2007, 2(1): 1-7.
- [8] Yun Y R, Yun W J, Su Q, Zhao Y. Impacts estimating of thermal factors on agricultural land classification in susceptible area. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2008, 24(S1): 113-116.
- [9] Yu D L, Ou Z. Situation and proposal of corn production in Tibet. Tibet Journal of Agricultural Sciences, 1999, 22(1): 20-21.
- [10] Zhao J F, Yang X G, Liu Z J. Influence of climate warming on serious low temperature and cold damage and cultivation pattern of spring maize in Northeast China. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6544-6551.
- [11] Cooperative Group of Agriculture, Forestry and Crop Regionalization in China. Climatic Regionalization of Agriculture, Forestry and Crop in China. Beijing: China Meteorological Press, 1987.
- [12] Wang Z M, Yu L, Zhang B, Song K S. Changes in spatial and temporal distribution of maize sown area and its causative factors in Maize Belt of Jilin province in last 50 Years. Scientia Geographica Sinica, 2006, 26(3): 299-305.
- [13] Tang H Y, Niu B L. Climate division of spring maize based on GIS technology in Xing'an League, Inner Mongolia. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(23): 447-450.
- [14] Thornton P E, Running S W, White M A. Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain. Journal of Hydrology, 1997, 190(3/4): 214-251.
- [15] Liu Y, Chen P Q, Zhang W, Hu F. A spatial interpolation method for surface air temperature and its error analysis. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2006, 31(1): 146-152.
- [16] Kriticos D, Randall R. A comparison of systems to analyse potential weed distributions//Grove R H, Panetta F D, Virtue J G, eds. Weed Risk Assessment. Australia: CSIRO Publishing, 2001: 61-79.
- [17] Guisan A, Thuiller W. Predicting species distribution; offering more than simple habitat models. Ecology Letters, 2005, 8(9): 993-1009.
- [18] 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, Scachetti-Pereira R, Schapire R E, Soberón J, Williams S, Wisz M S, Zimmermann N E. Novel methods improve prediction of species' distribution from occurrence data. Ecography, 2006, 29(2): 129-151.
- [19] Sun W T, Liu Y T. Research progress of risk analysis of biological invasion. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(7): 233-236.
- [20] Phillips S J, Dudík M, Schapire R E. A maximum entropy approach to species distribution modeling//Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning. New York: ACM Press, 2004: 655-662.
- [21] Wang Y S, Xie B Y, Wan F H, Xiao Q M, Dai L Y. Potential geographic distribution of *Radopholus similis* in China. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(11): 2502-2506.
- [22] Giovanelli J G R, Haddad C F B, Alexandrino J. Predicting the potential distribution of the alien invasive American bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Brazil. Biological Invasions, 2008, 10(5): 585-590.
- [23] Moffett A, Shackelford N, Sarkar S. Malaria in Africa: vector species' niche models and relative risk maps. PloS One, 2007, 2(9): e824, doi: 10.1371/journal.pone.0000824.
- [24] Saatchi S, Buermann W, Ter Steege H, Mori S, Thomas B S. Modeling distribution of Amazonian tree species and diversity using remote sensing

- measurements. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(5): 2000-2017.
- [25] Cao X F, Qiang G L, Hu B S, Liu F Q. Prediction of potential suitable distribution area of *Flaveria bidentis* in China based on niche models. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(12): 3063-3069.
- [26] Wu W H, Li M Y. Methods for predicting potential habitat of *Bursaphelenchus xylophilus* based on ecological niche model. *Forest Inventory and Planning*, 2009, 34(5): 33-38.
- [27] Woodward F I. *Climate and Plant Distribution*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- [28] Fang J Y, Song Y C, Liu H Y, Piao S L. Vegetation-climate relationship and its application in the division of vegetation zone in China. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(9): 1105-1122.
- [29] Office of Agricultural Regionalization in Hebei Province, Hebei Province Meteorological Administration. *Agricultural Climate and its Generalization in Hebei Province*. Beijing: China Meteorological Press, 1988.
- [30] Weng E S, Zhou G S. Defining plant functional types in China for global change studies. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(1): 81-97.
- [31] Deng Z Y. Analysis of climatic adaptation of maize planting and its regionalization. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1983, (1): 23-28.
- [32] Li J Z, Liu D H. Maize favorable planting regionalization in Heilongjiang province. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1983, (1): 6-10.
- [33] Xu D Y. *Agricultural Climate Resource and Generalization in Xinjiang Autonomous Region*. Beijing: China Meteorological Press, 1989.
- [34] Liu D, Du C Y, Yu C L. Ecological adaptability evaluation and planting division of maize in Heilongjiang province. *Journal of Maize Sciences*, 2009, 17(5): 160-163.
- [35] Lv X, Zhang W, Hu C H, Dong S T, Bai P. Study on the integrated evaluation of the advantages of climatic ecological factors in maize-growing regions. *Arid Zone Research*, 2005, 22(3): 387-390.
- [36] Yang Z Y. A Study on division of maize growing areas in Shanxi province. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2005, 25(3): 223-227.
- [37] Zhao J, Chen H. The fuzzy clustering of agricultural regionalization about the maize's cultivation in Xinjiang. *Journal of Huangshan University*, 2007, 9(3): 6-8.
- [38] Xu G L, Hao J P, Liu K Z. Ecological regionalization of maize planting in Shanxi Province. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 1990, 10(3): 194-200.
- [39] Liu M C, Deng Z Y, Li Q Z, Yang X L, Pu J Y. The suitable planting division of corn in Gansu. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(3): 112-117.
- [40] Chen Y X, Liu W, Li J Y. Climatic regionalization of maize planting in Ningcheng county. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2009, (3): 78-78, 99-99.
- [41] 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 Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1993, 17(2): 97-109.
- [42] Hanley J A, McNeil B J. The meaning and use of the area under a Receiver Operating Characteristic (ROC) curve. *Radiology*, 1982, 143(1): 29-36.
- [43] Swets J A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 1988, 240(4857): 1285-1293.
- [44] Elith J. Quantitative methods for modeling species habitat: comparative performance and an application to Australian plants. *Quantitative Methods for Conservation Biology*, 2000, 39-58.
- [45] Gao S H. *Agroclimatic Potentially Development Application and Countermeasures in the Three-North Regions of China*. Beijing: China Meteorological Press, 1995.
- [46] Huang Q, Tang H J, Zhou Q B, Wu W B, Wang L M, Zhang L. Remote-sensing based monitoring of planting structure and growth condition of major crops in Northeast China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(9): 218-223.

参考文献:

- [1] 潘根兴. 气候变化对中国农业生产的影响分析与评估. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [2] 岳德荣. 中国玉米品质区划及产业布局. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [3] 肖俊夫, 刘战东, 刘小飞, 刘祖贵, 陈玉民. 中国春玉米主产区灌溉问题分析与研究. *节水灌溉*, 2010, (4): 1-3.
- [8] 云雅如, 勐文聚, 苏强, 赵焯. 气候变化敏感区温度因子对农用地等别的影响评价. *农业工程学报*, 2008, 24(增刊1): 113-116.
- [9] 禹代林, 欧珠. 西藏玉米生产的现状与建议. *西藏农业科技*, 1999, 22(1): 20-21.
- [10] 赵俊芳, 杨晓光, 刘志娟. 气候变暖对东北三省春玉米严重低温冷害及种植布局的影响. *生态学报*, 2009, 29(12): 6544-6551.
- [11] 中国农林作物气候区划协作组编著. *中国农林作物气候区划*. 北京: 气象出版社, 1987.
- [12] 王宗明, 于磊, 张柏, 宋开山. 过去 50 年吉林省玉米带玉米种植面积时空变化及其成因分析. *地理科学*, 2006, 26(3): 299-305.
- [13] 唐红艳, 牛宝亮. 基于 GIS 技术的内蒙古兴安盟春玉米种植气候区划. *中国农学通报*, 2009, 25(23): 447-450.

- [15] 刘宇, 陈泮勤, 张稳, 胡非. 一种地面气温的空间插值方法及其误差分析. 大气科学, 2006, 31(1): 146-152.
- [19] 孙文涛, 刘雅婷. 生物入侵风险分析的研究进展. 中国农学通报, 2010, 26(7): 233-236.
- [21] 王运生, 谢丙炎, 万方浩, 肖启明, 戴良英. 相似穿孔线虫在中国的适生区预测. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2502-2506.
- [25] 曹向锋, 钱国良, 胡白石, 刘凤权. 采用生态位模型预测黄顶菊在中国的潜在适生区. 应用生态学报, 2010, 21(12): 3063-3069.
- [26] 吴文浩, 李明阳. 基于生态位模型的松材线虫潜在生境预测方法研究. 林业调查规划, 2009, 34(5): 33-38.
- [29] 河北省农业区划办公室, 河北省气象局. 河北省农业气候及其区划. 北京: 气象出版社, 1988.
- [30] 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.
- [31] 邓振镛. 武威县玉米气候适应性分析及种植区划. 农业气象, 1983, (1): 23-28.
- [32] 李季贞, 刘东辉. 黑龙江省玉米适种区划. 农业气象, 1987, (1): 6-10.
- [33] 徐德源. 新疆农业气候资源及区划. 北京: 气象出版社, 1989.
- [34] 刘丹, 杜春英, 于成龙. 黑龙江省玉米的生态适宜性评价及种植区划. 玉米科学, 2009, 17(5): 160-163.
- [35] 吕新, 张伟, 胡昌浩, 董树亭, 白萍. 玉米种植区气候生态因素优势综合评价研究. 干旱区研究, 2005, 22(3): 387-390.
- [36] 杨志跃. 山西玉米种植区划研究. 山西农业大学学报, 2005, 25(3): 223-227.
- [37] 赵娟, 陈浩. 新疆玉米种植农业区划的模糊聚类. 黄山学院学报, 2007, 9(3): 6-8.
- [38] 徐桂玲, 郝建平, 刘克治. 山西省玉米种植生态区划的研究. 山西农业大学学报, 1990, 10(3): 194-200.
- [39] 刘明春, 邓振镛, 李巧珍, 杨小利, 蒲金涌. 甘肃省玉米气候生态适应性研究. 干旱地区农业研究, 2005, 23(3): 112-117.
- [40] 陈云喜, 刘伟, 李俊有. 宁城县玉米种植气候区划. 内蒙古农业科技, 2009, (3): 78-78, 99-99.
- [41] 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. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(2): 97-109.
- [45] 高素华. 中国三北地区农业气候生产潜力及开发利用对策研究. 北京: 气象出版社, 1995.
- [46] 黄青, 唐华俊, 周清波, 吴文斌, 王利民, 张莉. 东北地区主要作物种植结构遥感提取及长势监测. 农业工程学报, 2010, 26(9): 218-223.

中文核心期刊《生命科学研究》征稿启事

《生命科学研究》是由中华人民共和国新闻出版署、科技部批准创办的,国内外公开发行的反映生命科学领域中最新研究成果的综合性学术期刊。本刊已经进入包括北大《中文核心期刊要目总览》、中国科学引文索引数据库(CSCD)、中国科技论文统计源期刊数据库、中国核心期刊(遴选)数据库、中国期刊网、美国《化学文摘》、俄罗斯《文摘杂志》等国内外 15 家重要检索数据库。本刊为双月刊,国内公开刊号为 CN43-1266/Q,国际标准刊号为 ISSN1007-7847, CODEN:SKYAFL。本刊主要刊登国内外生命科学领域中的具有创造性的学术论文及少量反映国内外重大进展或热点问题的快讯或综述性文章,覆盖的主要学科是:生物化学与分子生物学、发育生物学、细胞生物学、生物技术、遗传学、植物学、动物学、微生物学、解剖学、生理学、基因工程、农业工程、病理学、毒理学、药理学、免疫学、基础医学等等。开设“研究进展与综述”、“研究论文”等栏目。本刊诚邀反映国内外生命科学相关领域最新研究成果的中英文论文,国家自然科学基金等国家级科研课题资助论文将优先发表。

通讯方式:

地 址:长沙市湖南师范大学生科院 1 号楼 127 房《生命科学研究》编辑部,邮编:410081

投稿 E-mail:life@hunnu.edu.cn;smkxyj@gmail.com 咨询 E-mail:sky@hunnu.edu.cn

网 址: <http://SMKY.cbpt.cnki.net>

咨询电话:0731-88872616; 传 真:0731-88872616

《生命科学研究》承诺“特快通道”修回稿件 2 个月内出版,一般稿件修回后 6 个月内出版。热诚欢迎国内外各大专院校、科研院所生命科学相关领域的研究人员投稿。

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎发布广告!

<http://www.ecologica.cn>

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 12 June, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China	SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, WU Tao, et al (3645)
Distribution characteristics of plant communities and soil organic matter and main nutrients in the Poyang Lake Nanji Wetland	ZHANG Qianjun, YU Xiubo, QIAN Jianxin, et al (3656)
Evaluation and construction of wetland ecological network in Qingdao City	FU Qiang, SONG Jun, MAO Feng, et al (3670)
Driving forces analysis for ecosystem health status of littoral zone with dikes: a case study of Lake Taihu	YE Chun, LI Chunhua, WANG Qiuguang, et al (3681)
The concentrations distribution and composition of nitrogen and phosphorus in stormwater runoff from green roofs	WANG Shumin, HE Qiang, ZHANG Junhua, et al (3691)
Effects of slope gradient on the community structures and diversities of soil fauna	HE Xianjin, WU Pengfei, CUI Liwei, et al (3701)
Investigation of populations of parasitic wasps parasitizing <i>Carposina sasakii</i> Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae) in jujube orchards in China, with respect to the wasp-host relationship	YAO Yanxia, ZHAO Wenxia, CHANG Jupu, et al (3714)
Assessment of ardeidae waterfowl habitat suitability based on a binary logistic regression model	ZOU Lili, CHEN Xiaoxiang, HE Ying, et al (3722)
Combined effects of temperature, salinity and pH on the clearance rate of juveniles of <i>Pinctada martensii</i> (Dunker)	ZHU Xiaowen, WANG Hui, LIU Jin, et al (3729)
Soil nutrient dynamics and loss risks in a chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system	ZHAO Liping, YANG Guiming, ZHAO Tongke, et al (3737)
Soil particle size distribution and its relationship with soil organic carbons under different land uses in the middle of Heihe river	ZHANG Junhua, LI Guodong, NAN Zhongren (3745)
Effects of DEM resolution and watershed subdivision on hydrological simulation in the Xingzihe watershed	QIU Linjing, ZHENG Fenli, YIN Runsheng (3754)
Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis	GUO Guanhua, CHEN Yingbiao, WEI Jianbing, et al (3764)
Landscape connectivity analysis for the forest landscape restoration: a case study of Gongyi City	CHEN Jie, LIANG Guofu, DING Shengyan (3773)
Carbon footprint analysis on urban energy use: a case study of Xiamen, China	LIN Jianyi, MENG Fanxin, CUI Shenghui, et al (3782)
The ecological footprint of alpine pastures at the village-level: a case study of Hezuo in Gannan Autonomous Prefecture, China	WANG Lucang, GAO Jing (3795)
The ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu	LI Chunhua, YE Chun, ZHAO Xiaofeng, et al (3806)
The biomass of <i>Bashania fargesii</i> in giant pandas habitat in Qinling Mountains	DANG Kunliang, CHEN Junxian, SUN Feixiang, et al (3816)
Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte <i>Limonium aureum</i> (L.) Hill	YOU Jia, WANG Wenrui, LU Jin, et al (3825)
Liana-host tree associations in the tropical montane primary forest and post-harvest forest of Bawangling, Hainan Island, China	LIU Jinxian, TAO Jianping, HE Zeet al (3834)
The response of photosynthetic characters and biomass allocation of <i>P. bournei</i> young trees to different light regimes	WANG Zhenxing, ZHU Jinmao, WANG Jian, et al (3841)
Genetic variation among populations of the endangered <i>Sinocalycanthus chinensis</i> based on morphological traits and ISSR profiles	JIN Zexin, GU Jingjing, LI Junmin (3849)
Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter	JIANG Qingbiao, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (3859)
Age structure and spatial distribution of the rare and endangered plant <i>Alcimandra cathartii</i>	YUAN Chunming, MENG Guangtao, FANG Xiangjing, et al (3866)
The water consumption and water use efficiency of the seedlings of <i>Eucalyptus grandis</i> and other five tree species in Sichuan Province	HU Hongling, ZHANG Jian, WAN Xueqin, et al (3873)
Effects of leaf litter of <i>Cinnamomum septentrionale</i> on growth and resistance physiology of <i>Brassica rapa</i> in the decomposition process of litter	HUANG Weiwei, HU Tingxing, ZHANG Niannian, et al (3883)
Water transport velocity and efficiency in <i>Quercus variabilis</i> detected with deuterium tracer and thermal dissipation technique	SUN Shoujia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3892)
The saxicolous moss's features of absorbing water and its structural adaptability in the heterogeneous environment with rock desertification	ZHANG Xianqiang, ZENG Jianjun, CHEN Jinwu, et al (3902)
Effects of organic materials containing copper on soil enzyme activity and microbial community	CHEN Lin, GU Jie, GAO Hua, et al (3912)
Comparison of floral morphology and pollination characteristics between the sexes in <i>Eurya obtusifolia</i>	WANG Qian, DENG Hongping, DING Bo, et al (3921)
Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China	HE Qijin, ZHOU Guangsheng (3931)
Effects of uniconazole dry seed dressing on nitrogen accumulation and translocation and kernel protein quality in wheat	FAN Gaoqiong, YANG Ennian, ZHENG Ting, et al (3940)
Review and Monograph	
International comparison and policy recommendation on the development model of industrial symbiosis in China	SHI Lei, LIU Guoguo, GUO Siping (3950)
Scientific Note	
The Change of landscape pattern in Zhenlai Xian, Jilin Province in recent ten years	ZHANG Guokun, LU Jinghua, SONG Kaishan, et al (3958)
Footprint analysis of turbulent flux over a poplar plantation in Northern China	JIN Ying, ZHANG Zhiqiang, FANG Xianrui, et al (3966)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 12 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 12 (June, 2012)

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:1000717	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 70.00 元