

我国玉米种植区分布的气候适宜性

何奇瑾^{①②}, 周广胜^{①③*}

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

* 联系人, E-mail: gszhou@cma.gov.cn

2011-06-27 收稿, 2011-09-09 接受

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)和中国气象局经常性业务经费资助

摘要 针对气候变化背景下我国玉米生产布局及其应对气候变化政策制定的需求, 基于已有研究成果从全国层次和年尺度筛选出的影响玉米种植区分布的潜在气候因子, 结合玉米种植地理分布信息, 利用最大熵(MaxEnt)模型和 ArcGIS 空间分析技术, 研究了我国玉米种植区分布的气候适宜性. 结果表明, 基于影响我国玉米种植区分布的气候因子构建的最大熵模型可以用于我国玉米种植区分布研究; 影响我国玉米种植区分布的主导气候因子有: 无霜期、年平均温度、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温持续天数、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、年降水、最热月平均温度和湿润指数. 利用所建模型给出的玉米作物在待预测地区的存在概率, 提出了我国玉米种植区分布的气候适宜性等级划分; 并基于玉米种植区的分布面积, 给出了我国玉米潜在种植区分布的主导气候因子阈值. 研究还表明, 影响不同品种玉米种植分布的主导气候因子重要性及其气候阈值并不相同, 在实际研究中需要针对不同的品种、熟性开展作物种植区分布的气候适宜性研究, 以取得更为准确的种植分布区信息; 但最大熵模型方法可以有效地用于玉米作物种植区分布的气候适宜性研究. 研究结果可为我国玉米生产布局、气候区划及制定应对气候变化对策提供参考.

关键词

玉米
种植区分布
主导气候因子
气候适宜性
最大熵模型

植被与气候之间的相互作用主要表现在两个方面: 植被对气候的适应性与植被对气候的反馈作用. 植物生态学的观点认为, 主要的植被类型表现着植物界对主要气候类型的适应, 每个气候类型或分区都有一套相应的植被类型. 正因为如此, 气候-植被分类研究一直受到植物学、生态学、气候学和地理学等方面学者的高度重视^[1,2]. 关于作物种植制度、适宜种植区与气候的关系已有大量研究, 特别是关于我国不同气候区玉米气候适宜性及其对气候的响应已有较多研究^[3-6], 但这些研究大多限于局部地区, 没有针对全国性的分析; 所用资料的时间尺度各异, 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, 也制约着全国层次的生

产布局及作物应对气候变化政策的制定.

玉米是世界上种植最广泛的谷类作物之一. 据联合国粮农组织统计, 2003 年世界玉米种植面积达 $1.4268 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 产量 $6.3804 \times 10^8 \text{ t}$. 玉米是三大谷物(水稻、小麦与玉米)之一, 其种植面积仅次于水稻、小麦, 但总产量居三大谷物之首, 是近百年来全球种植面积扩展最大、单位面积产量提高最快的大田作物. 我国作为世界玉米生产大国, 20 世纪末~21 世纪初常年种植玉米面积高达 $2.453 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 总产达 $1.2318 \times 10^8 \text{ t}$, 仅次于美国. 当前, 玉米已成为食品、饲料、发酵工业和数以千计的精细化工产品重要原料, 在全球食品安全和国民经济发展中具有举足轻重的地位.

气候是影响玉米生产的重要因素. 当前, 以气候变暖为标志的全球变化已经发生, 并将持续到可预见的将来^[7]. 研究表明, 气候变化已经导致不同熟性玉米品种种植界线明显北移东扩, 早熟品种逐渐被中、晚熟品种取代, 中、晚熟品种可种植面积不断扩大^[8]; 西北地区玉米生长期延长^[9]; 根据政府间气候变化专门委员会(IPCC)2000年发布的温室气体《排放情景特别报告》(SRES)的排放方案中的A2和B2未来气候情景(A2情景以区域经济为主, 人均经济增长与技术进步越来越分离, 该情景下至21世纪末全球平均温度将升高3.5℃; B2情景注重强调区域性经济、社会和环境的可持续发展, 该情景下21世纪末全球平均温度将升高2.0℃), 预测得到未来我国5个玉米主产区的产量多呈下降趋势^[10]. 为确保气候变化背景下我国玉米的稳产高产, 迫切需要弄清我国玉米的潜在种植区域以及气候变化对我国不同地区玉米种植区的影响, 以制定我国玉米应对气候变化的策略. 解决这一问题的关键在于弄清影响我国玉米种植区分布的主导气候因子, 并进行我国玉米种植区分布的气候适宜性划分.

本研究将围绕气候变化背景下我国玉米生产布局及其应对气候变化政策制定的需求, 基于已有研究成果, 利用最大熵(MaxEnt)模型, 从全国层次和年尺度方面筛选影响我国玉米种植分布的主导气候因子, 并确定各主导气候因子的阈值; 同时, 根据玉米作物在待预测地区的存在概率, 结合统计学原理及IPCC第四次评估报告对“可能性”的表述, 进行我国玉米种植区分布的气候适宜性等级划分, 以为评估气候变化对不同玉米种植区的影响, 制定玉米种植应对气候变化策略提供依据.

1 数据与方法

(i) 数据来源. 本研究使用的数据主要有我国玉米种植区的地理分布数据和气候数据. 玉米种植区的地理分布数据取自国家气象信息中心的农作物生长发育状况资料数据集, 包括366个玉米农业气象观测站(图1).

气候数据来自于国家气象信息中心1971~2000年中国基本、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等人^[11,12]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

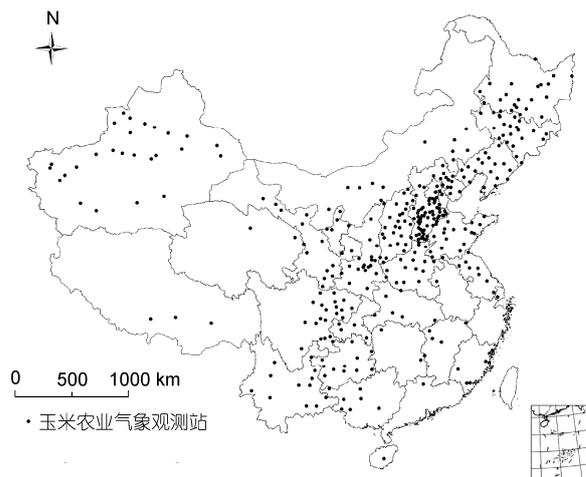


图1 我国玉米农业气象观测站地理分布图

(DEM)数据, 将日气候数据插值成 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ 分辨率的空间栅格数据.

(ii) 潜在气候因子选取. 作物分布是由各地的热量资源和水分资源共同决定的, 基于已有的玉米气候区划与自然植被区划研究成果, 从全国层次及年尺度考虑, 筛选出10个具有明确生物学意义的可能影响玉米种植区分布的气候因子^[13-26], 包括: 年平均温度、 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温持续天数、无霜期、最冷月平均温度、最热月平均温度、最冷最热月平均温度差、年降水、湿润指数(表1). 其中, 无霜期和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温持续天数是从持续时间方面反映热量资源; 年平均温度、最冷月平均温度、最热月平均温度、最冷最热月平均温度差是从热量强度方面反映热量资源; $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温是从热量的累积程度方面反映热量资源. 年降水和湿润指数用于评价某地的干湿程度. 湿润指数越大, 该地区的气候越湿润, 表示当地的降水量除能满足蒸发所需的水分外还有剩余.

(iii) 最大熵(MaxEnt)模型. 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)以及最大熵模型(MaxEnt)等^[27-31]. 其中, 最大熵模型(MaxEnt)被证实具有最佳的预测能力和精度^[32-38]. 该模型是从符合条件的分布中选择熵最大的分布作为最优分

表 1 影响我国玉米种植区分布的潜在气候因子

气候因子	计算方法	意义	文献来源
≥0℃积温	5 d 滑动平均法	适宜农耕期内的热量资源	[13,14]
≥10℃积温	5 d 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	[15~25]
≥10℃积温持续的天数	5 d 滑动平均法	喜温植物生长期、喜凉植物旺盛生长期	[19]
无霜期	日最低气温≥2℃的持续期	作物大田生长时期的长短	[13,17,20,21]
年平均温度	$\sum_{i=1}^n t_i / n$	年总的热量资源情况	[20]
年降水	$\sum_{i=1}^n p_i$	年总的水分条件	[14]
最冷月平均温度	1 月份平均气温	农作物越冬条件	[14]
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	[14]
最冷最热月平均温度差	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	[14]
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	[14,26]

布。首先确定特征空间，即物种已知分布区域；进而寻找限制物种分布的约束条件(环境变量)，构筑约束集合；在此基础上，建立二者之间的相互关系^[31]。

2 结果分析

2.1 最大熵模型的适用性分析

为验证最大熵模型对我国玉米种植分布区研究的适用性，首先需要基于训练子集(将整个数据随机取样取得总数据集的 75%作为训练子集)来训练模型，获取模型的相关参数，构建针对我国玉米种植区分布的最大熵模型；然后，基于没有参与模型构建的所有数据用作评估子集(即余下的 25%数据)，用来验证模型。模型运行需要两组数据，一是目标物种的地理分布数据，即我国玉米种植区的 366 个玉米农业气象观测站的地理分布数据；二是全国范围的环境变量，即基于已有研究成果从全国层次及年尺度筛选出的 10 个潜在气候因子(表 1)。

通常采用 ROC 曲线(受试者工作特征曲线)对模型的模拟精度进行评价^[39]。ROC 曲线下的面积即 AUC 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，其评估标准为^[40]：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 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^[41]。

研究表明，基于潜在气候因子构建的我国玉米种植区分布的最大熵模型的 AUC 值达 0.818，表明所构建模型的预测准确性达到“好”的标准，可以用于

我国玉米种植区分布的研究。

2.2 影响我国玉米种植区分布的主导气候因子分析

由于这些影响玉米种植区分布的潜在气候因子主要来源于已有的研究成果，并没有从全国层次和年尺度上定量评价这些潜在气候因子对我国玉米种植区分布影响的贡献程度，从而将影响我国玉米种植区分布最大熵模型构建变量的准确选择，进而将影响我国玉米种植区分布模拟的准确性。为此，需要定量评价这些潜在气候因子对我国玉米种植区分布影响的贡献程度，筛选影响我国玉米种植区分布的主导气候因子。图 2 是基于最大熵模型的 Jackknife 模块给出的各潜在气候因子对玉米种植区分布影响的贡献。各潜在气候因子对我国玉米种植区分布影响的重要性排序为：无霜期、年平均温度、≥0℃积温、≥10℃积温持续天数、≥10℃积温、年降水、最热月平均温度、湿润指数、最冷月平均温度、最冷最热月平均温度差。

根据各潜在气候因子对我国玉米种植区分布影响的贡献程度从大到小选取变量，确定影响我国玉米种植区分布的主导气候因子为：无霜期、年平均温度、≥0℃积温、≥10℃积温持续天数、≥10℃积温、年降水、最热月平均温度、湿润指数。这 8 个因子的累积贡献百分率达 91.5%。

2.3 我国玉米潜在种植区分布的气候适宜性划分

基于最大熵模型以及选定的影响我国玉米种植区分布的 8 个主导气候因子，可以给出玉米作物在待

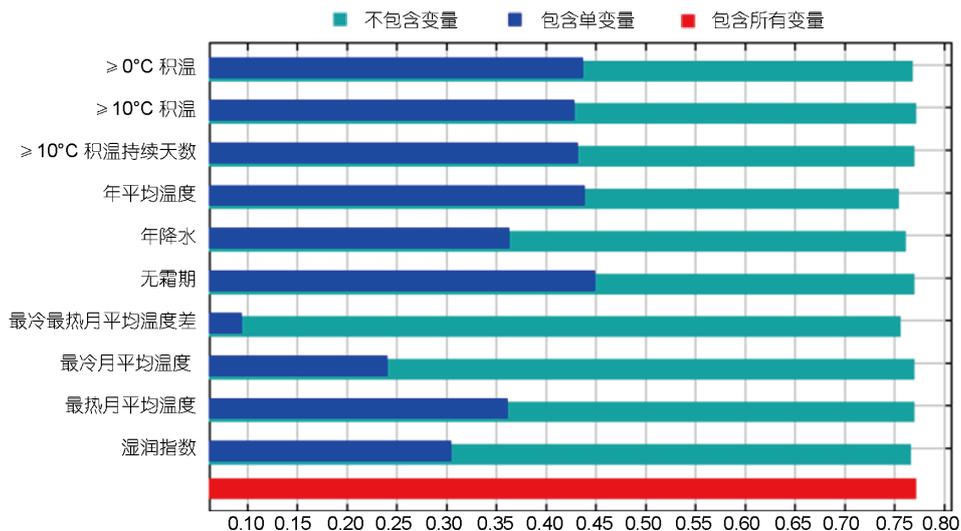


图2 基于 Jackknife 的潜在气候因子对我国玉米种植区分布的贡献

预测地区的存在概率 p , 取值范围为 0~1. 由统计学原理可知, 当玉米作物在某一地区的存在概率 $p < 0.05$ 时, 其出现的概率很小, 即小概率事件, 在此定义为不能种植玉米区. 参考 IPCC 第四次评估报告中对于“可能性”的表述, 对我国玉米种植区分布作气候适宜性等级划分, 即: $p < 0.05$ 为不适宜区; $0.05 \leq p < 0.33$ 为次适宜区; $0.33 \leq p < 0.66$ 为适宜区; $p \geq 0.66$ 为最适宜区.

图3给出了基于 ArcGIS 9.3 的我国玉米种植区分布的气候适宜性等级划分, 不同颜色代表不同气候条件下的玉米生长适宜程度. 其中, 玉米种植的气候最适宜分布区面积占我国陆地总面积的 4%, 适宜区占 25%, 次适宜区占 40%, 不适宜区占 31%. 由于玉米作物的适应性强, 分布广泛, 我国 31 个省、直辖市、自治区均有玉米作物分布; 但受气候条件限制, 玉米种植区主要呈现东北-西南的狭长带状分布(图3). 玉米生产主要集中在黑龙江、吉林、辽宁、河北、河南、山西、山东、陕西、湖北、四川、云南等省区, 各气候适宜区的气候特征存在一定差异(表2). 处在玉米种植气候最适宜区的吉林、辽宁、河北、山西、陕西、甘肃、河南等地区主要属于中温带和寒温带半干旱、半湿润气候, 热量条件适宜, 且没有高温危害, 自然降水基本满足玉米生长需求. 除玉米种植气候最适宜区外, 气候适宜区包含黑龙江、内蒙中西部、青藏高原南部、山东、江苏、安徽、湖北、重庆、四川、云南等地, 大部分为暖温带半湿润气候, 平均温度适宜, 多有灌溉设施, 对保证玉米生产起到重大

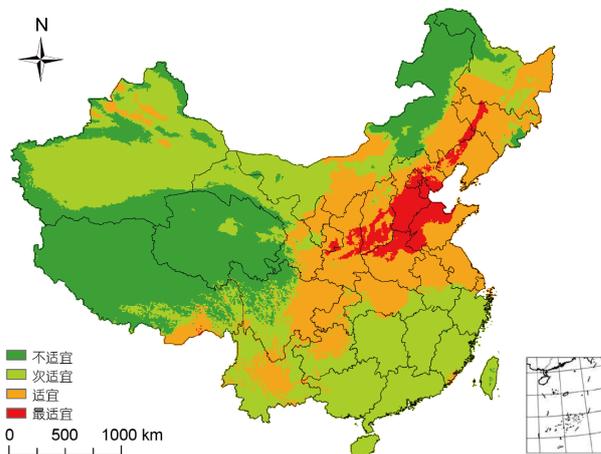


图3 我国玉米种植区分布的气候适宜性划分

作用. 玉米种植气候次适宜区主要包括新疆、内蒙西部、甘肃大部、浙江、江西、贵州、湖南、广西、广东、福建、海南、台湾等地. 其中, 新疆、内蒙、甘肃大部光照充足, 昼夜温差大, 但自然降水少, 气候干燥, 有灌溉条件才能够种植玉米; 而浙江、江西、贵州、湖南、广西、广东、福建、海南、台湾等地虽然具备雨热条件, 但热害严重, 降水量过多, 不能充分发挥水资源利用效率, 是我国水稻的主产区, 玉米处于附属地位. 青海、西藏的大部分地区、新疆北部和南部、黑龙江北部和内蒙古东部、四川西北部属于玉米种植的气候不适宜区, 这些地区气候高寒、干旱、或无灌溉条件, 不宜种植玉米.

比较中国农林作物气候区划协作组^[42]编著的中国玉米气候区划可见, 本研究给出的我国玉米种植

表2 我国玉米种植分布的气候适宜区概况

项目	最适宜区	适宜区	次适宜区	不适宜区
无霜期(d)	176~316	147~366	62~366	61~366
年平均温度(℃)	4.7~19.2	2.9~22.1	-0.5~24.9	-10.2~21.0
≥0℃积温(℃ d)	3336.9~6507.3	2047.0~7179.9	1419.4~7980.7	45.0~6915.5
≥10℃积温持续天数(d)	166~270	125~309	82~310	11~299
≥10℃积温(℃ d)	2913.9~6146.0	1320.3~7164.3	291.6~7980.7	1.5~6772.0
年降水(mm)	508.7~812.7	125.3~1708.3	53.3~2203.3	52.0~2198.6
最热月平均温度(℃)	22.1~28.6	13.5~30.8	8.7~29.3	-0.4~26.8
湿润指数	0.05~0.14	0.02~0.27	0.01~0.50	0.01~3.67
主要分布区	河北、山西、山东和河南的大部分地区；北京、天津；吉林、辽宁、陕西和甘肃的局部	大兴安岭以东的东北平原、华北平原、黄土高原、四川盆地、长江中下游平原；以及云贵高原、准噶尔盆地和西藏南部的部分地区	黑龙江北部；内蒙古西部；新疆、甘肃、云南大部；四川南部；长江以南地区	50°N 以北；内蒙古东部；青藏高原和川西高原的大部；新疆北部和南部地区

区的气候最适宜区、适宜区、次适宜区和不适宜区范围与之基本一致，但最适宜区的主体南移，包括了河南和山东两省的大部，而西北内陆地区大部由原来的气候最适宜区变成了气候适宜区与次适宜区；原内蒙西部的气候不适宜区变成了气候适宜及次适宜区。这是因为原有玉米区划主要基于生育期长短、降水量与产量，气候变暖与玉米作物品种的改良使玉米作物的生育期延长、抗旱能力增强，从而造成玉米种植区分布的气候最适宜区南移。高蓉等人^[43]研究指出，西北干旱半干旱过渡区近 50 年的年降水量呈明显下降趋势，且近 10 年来降水出现剧烈下降，随

着温度的进一步上升，土壤蒸发散的增加，未来干旱化将进一步加剧。因此，气候暖干化使得西北内陆地区大部分玉米种植区由气候最适宜区变成了气候适宜区与次适宜区。内蒙西部由于气候变暖使得原来玉米种植分布的气候不适宜区变成了气候适宜及次适宜区。

基于同样的方法，根据我国 216 个春玉米、188 个夏玉米的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，给出了我国春玉米和夏玉米种植区分布的气候适宜区划分，见表 3 和 4。

表3 我国春玉米种植分布的气候适宜区概况

项目	最适宜区	适宜区	次适宜区	不适宜区
≥0℃积温(℃ d)	3035.9~4244.1	2214.0~7179.8	1500.4~7980.7	44.85~7247.7
≥10℃积温(℃ d)	2559.2~3814.3	1403.0~7164.3	321.8~7980.7	1.54~7150.8
≥10℃积温持续天数(d)	259~211	125~308	91~310	11~302
无霜期(d)	164~248	157~366	62~366	61~366
最热月平均温度(℃)	20.6~25.1	13.5~30.8	8.7~29.6	-0.42~28.3
年平均温度(℃)	3.8~11.5	2.9~22.1	-1.5~24.9	-10.2~22.0
年降水(mm)	383.0~811.1	126.6~1749.7	53.3~2203.3	52.0~2076.3
湿润指数	0.08~0.20	0.02~0.28	0.01~0.49	0.01~3.67
主要分布区	吉林和辽宁的西部；内蒙、河北、北京、山西、陕西、甘肃的局部地区	辽宁、河北、北京、天津、山东、宁夏的全部；黑龙江、吉林、山西、河南、陕西等的大部分地区；甘肃南部；内蒙古、新疆、四川盆地、重庆、云南、江苏、湖北、湖南、西藏南端的局部	除黑龙江北部、吉林东部以外的东北地区；除内蒙东部的华北地区；华东、华中、华南地区；四川东部、新疆大部及西藏南部	50°N 以北；内蒙古东部；青藏高原、川西高原；新疆的部分地区

表4 我国夏玉米种植分布的气候适宜区概况

项目	最适宜区	适宜区	次适宜区	不适宜区
无霜期(d)	212~313	195~359	116~366	61~366
年平均温度(°C)	10.5~17.9	8.8~22.1	-0.7~23.3	-10.2~24.9
≥10°C积温持续天数(d)	196~263	183~309	77~309	11~310
≥0°C积温(°C d)	4229.4~6080.3	3506.3~7179.8	1254.5~7480.4	44.9~7980.7
≥10°C积温(°C d)	3755.5~5667.2	2822.6~7164.3	154.0~7472.6	1.54~7980.7
最冷月平均温度(°C)	-6.4~7.0	-10.4~15.1	-24.9~18.5	-29.8~20.0
最热月平均温度(°C)	22.0~27.1	17.7~30.8	8.5~30.7	-0.4~29.3
年降水(mm)	514.1~901.7	90.2~1407.6	53.5~2038.5	52.0~2203.3
主要分布区	山东和河北省的大部分区域;天津;北京大部;山西南部、陕西中部及河南北部	山东;河南大部;山西和陕西的中南部;江苏、湖北和安徽的北部;四川东部;以及甘肃南部、重庆、新疆和西藏的局部地区	除黑龙江北部、吉林东部和内蒙东部以外的我国北方地区;除甘肃北部、新疆局部和内蒙西部的西北地区;除广东、江西西北部、广西和福建局部、海南大部以外的我国南方地区	黑龙江北部、吉林东南部、内蒙古西部和东北部、甘肃北部;广东和海南大部;广西、江西和福建的局部;青藏高原

从表2~4可知,影响不同品种玉米种植分布的主导气候因子重要性及其气候阈值并不相同.据比较,本研究给出玉米种植区分布的气候适宜性划分与已有的研究结果^[42]基本一致、春玉米种植北界与张建平等^[44]根据历年玉米种植面积得到的种植界线基本一致.这表明,在实际研究中需要针对不同的品种、熟性开展作物种植区分布的气候适宜性研究,以取得更为准确的种植分布区信息;但关于已有玉米与春玉米种植区分布的气候适宜性研究表明,最大熵模型方法可以有效地用于玉米作物种植区分布的气候适宜性研究.

2.4 影响玉米种植区分布的主导气候因子阈值分析

作物生长发育需要一定的气候条件,气候条件的差异制约着作物的生长发育,进而影响作物的布局^[45].采用最大熵模型确定的影响我国玉米种植区分布的8个主导气候因子:无霜期、年平均温度、≥0°C积温、≥10°C积温持续天数、≥10°C积温、年降水、最热月平均温度和湿润指数,结合我国玉米种植区分布的适宜性等级划分,从玉米种植区分布面积(可采用栅格数表示)与主导气候因子的关系给出各主导气候因子的阈值,并分析我国玉米种植区的气候特征.由图4(a)~(h)可见,影响我国玉米种植区分布的主导气候因子阈值为:无霜期≥62 d、年平均温

度-0.51~24.9°C、≥0°C积温 1419.4~7980.7 °C d、≥10°C积温持续天数 82~310 d、≥10°C积温 291.57~7980.7 °C d、年降水 53.3~2203.3 mm、最热月平均温度 8.7~30.8°C、湿润指数 0.01~0.50.

3 结论与讨论

基于已有研究成果,从全国层次和年尺度筛选出的影响我国玉米种植区分布的10个潜在气候因子,结合实际玉米种植区的地理分布信息,分析了最大熵模型对我国玉米种植区分布研究的适用性.结果表明:基于最大熵模型构建的我国玉米种植区分布与气候因子关系模型的准确性达到“好”的标准(AUC值为0.818),表明最大熵模型可用于研究影响我国玉米种植区分布的主导气候因子及我国玉米种植区分布的气候适宜性等级划分.

基于我国玉米种植区的地理分布信息,结合最大熵模型,根据各气候因子的贡献程度确定了影响我国玉米种植区分布的8个主导气候因子,并给出了我国玉米种植区分布的主导气候因子阈值:无霜期≥62 d, -0.51°C≤年平均温度≤24.9°C, 1419.4 °C d ≤ ≥0°C积温≤7980.7 °C d, 82 d ≤ ≥10°C积温持续天数≤310 d, 291.57 °C d ≤ ≥10°C积温≤7980.7 °C d, 53.3 mm ≤ 年降水 ≤ 2203.3 mm, 8.7°C ≤ 最热月平均温度 ≤ 30.8°C, 0.01 ≤ 湿润指数 ≤ 0.50.

针对气候变化对玉米种植区的可能影响,基于

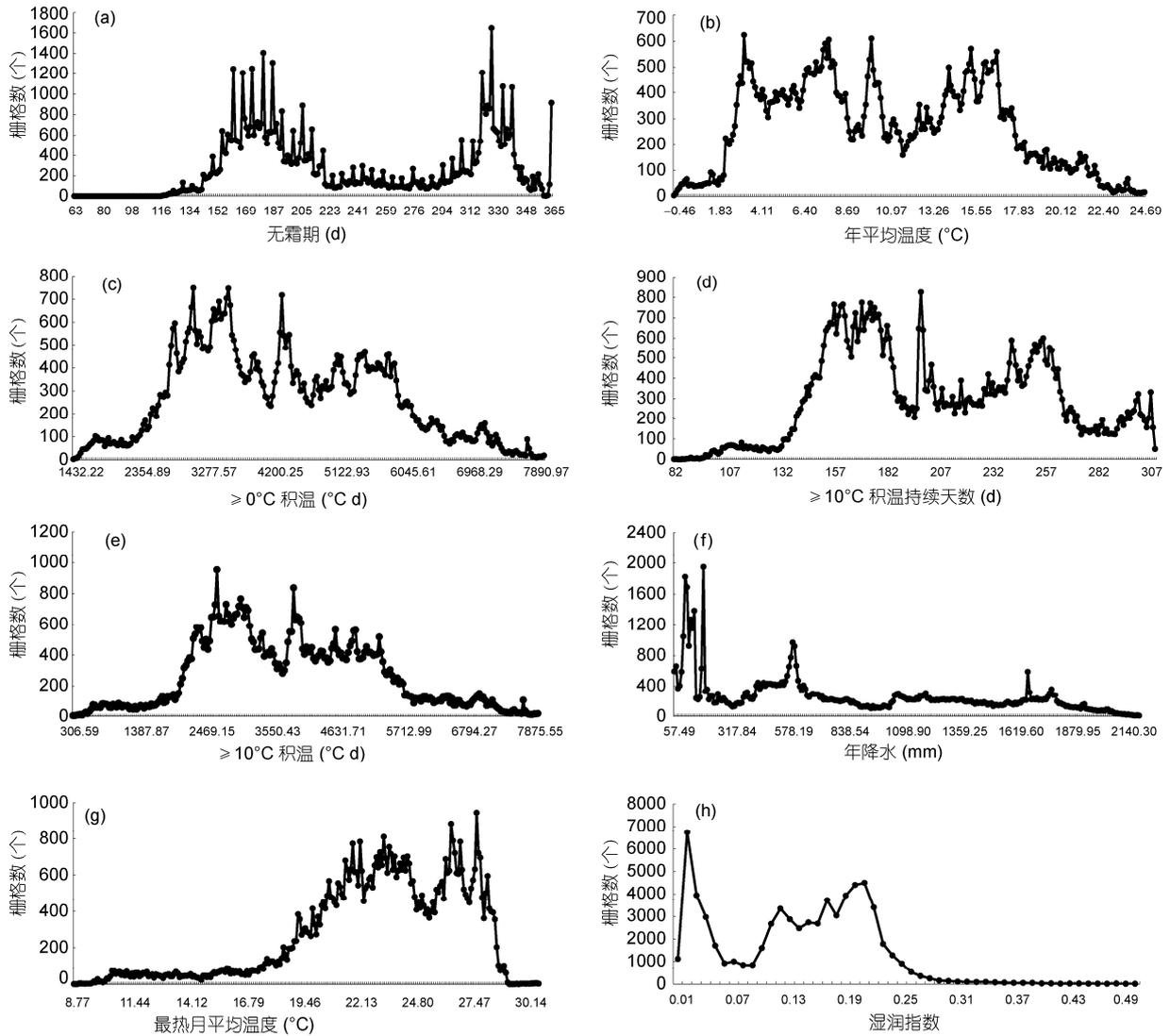


图 4 我国玉米种植区分布面积与主导气候因子的关系

(a) 无霜期; (b) 年平均温度; (c) $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温; (d) $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温持续天数; (e) $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温; (f) 年降水; (g) 最热月平均温度; (h) 湿润指数

影响我国玉米种植区分布的主导气候因子，结合最大熵模型给出的玉米作物在待预测地区的存在概率，进行了玉米种植区分布的气候适宜性等级划分，将我国玉米种植区分布划分为气候不适宜区(占全国陆地总面积的 31%)、次适宜区(40%)、适宜区(25%)和最适宜区(4%)。该划分结果与中国农林作物气候区划协作组^[42]给出的中国玉米气候区划基本一致，但受气候变暖的影响，玉米种植区分布的最适宜区主体南移，包括了河南和山东两省的大部，而西北内陆地区大部由原来的气候最适宜区变成了气候适宜区与次适宜区，原内蒙古西部的气候不适宜区变成了

气候适宜及次适宜区。该划分结果基本符合当前我国玉米的种植现状，可为我国玉米的生产布局及制定玉米应对气候变化对策提供参考。

研究还表明，影响不同品种玉米种植分布的主导气候因子重要性及其气候阈值并不相同，在实际研究中需要针对不同的品种、甚至熟性开展作物种植区分布的气候适宜性研究，以取得更为准确的种植分布区信息；但最大熵模型方法可以有效地用于玉米作物种植区分布的气候适宜性研究。

需要指出的是，我国玉米种植区分布不仅取决于气候条件，还取决于社会经济结构、生产技术水平

等因素的综合影响,同时还受到包括土壤类型、地理特征、品种类型、人类活动、历史原因等因素的影响^[46].因此,在实际生产活动实践中,玉米种植还需要综合考虑各种因素的作用,特别是要考虑产量因

素及其经济要素对玉米种植的影响.同时,本研究关于我国玉米种植区的气候适宜性划分还没有考虑农业气象灾害的影响,也还没有区分玉米的不同品种、熟制等,需要未来进一步的深入研究.

参考文献

- 1 李宜垠,张新时,周广胜,等.中国北方几种常见表土花粉类型与植被的数量关系.科学通报,2000,45:761-765
- 2 周广胜,王玉辉.全球变化与气候-植被分类研究和展望.科学通报,1999,44:2587-2593
- 3 王宗明,于磊,张柏,等.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.地理学报,2006,26:299-305
- 4 余卫东,陈怀亮.河南省夏玉米精细化农业气候区划研究.气象与环境科学,2010,33:14-19
- 5 何守法,董中东,詹克慧,等.河南小麦和夏玉米两熟制种植区的划分研究.自然资源学报,2009,24:1115-1123
- 6 李正国,杨鹏,周清波,等.基于时序植被指数的华北地区作物物候期/种植制度的时空格局特征.生态学报,2009,29:6216-6226
- 7 姚凤梅,秦鹏程,张佳华,等.基于模型模拟气候变化对农业影响评估的不确定性及其处理方法.科学通报,2011,56:547-555
- 8 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,2009,29:6544-6551
- 9 Wang R Y, Zhang Q, Wang Y, et al. Response of corn to climate warming in arid areas in Northwest China. Acta Bot Sin, 2004, 46: 1387-1392
- 10 胡亚南.气候变化对中国玉米生产的影响及适应性研究.硕士学位论文.北京:中国农业科学研究院,2008.1-55
- 11 Thornton P E, Running S W, White M A. Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain. J Hydrol, 1997, 190: 214-251
- 12 刘宇,陈泮勤,张稳,等.一种地面气温的空间插值方法及其误差分析.大气科学,2006,31:146-152
- 13 河北省农业区域区划办公室,河北省气象局.河北省农业气候及其区划.北京:气象出版社,1988.134
- 14 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,2005,29:81-97
- 15 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
- 16 李季贞,刘东辉.黑龙江省玉米适种区区划.农业气象,1987,1:6-10
- 17 徐德源.新疆农业气候资源及区划.北京:气象出版社,1989.326
- 18 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,2009,17:160-163
- 19 吕新,张伟,胡昌浩,等.玉米种植区气候生态因素优势综合评价研究.干旱区研究,2005,22:387-390
- 20 杨志跃.山西玉米种植区划研究.山西农业大学学报,2005,25:223-227
- 21 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,2007,9:6-8
- 22 徐桂玲.山西省玉米种植生态区划的研究.山西农业大学学报,1990,10:194-200
- 23 刘明春,邓振镛,李巧珍,等.甘肃省玉米气候生态适应性研究.干旱地区农业研究,2005,23:112-117
- 24 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,2009,25:447-450
- 25 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,2009,3:98-99
- 26 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,1993,17:97-109
- 27 Kriticos D, Randall R. A comparison of systems to analyse potential weed distributions. In: Grove R H, Panetta F D, Virtue J G, eds. Weed Risk Assessment. Australia: CSIRO Publishing, 2001. 61-79
- 28 Guisan A, Thuiller W. Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. Ecol Lett, 2005, 8: 993-1009
- 29 Elith J, Graham C H, Anderson R P, et al, Novel methods improve prediction of species' distribution from occurrence data. Ecography, 2006, 29: 129-151
- 30 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,2010,26:233-236
- 31 Phillips S J, Dudik 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
- 32 王运生,谢丙炎,万方浩,等.相似穿孔线虫在中国的适生区预测.中国农业科学,2007,40:2502-2506
- 33 Giovanelli J G R, Haddad C F B, Alexandrino J. Predicting the potential distribution of the alien invasive American bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Brazil. Biol Invas, 2008, 10: 585-590
- 34 Moffett A, Shackelford N, Sarkar S. Malaria in Africa: Vector species' niche models and relative risk maps. PLoS ONE, 2007, 2: e824
- 35 Saatchi S, Buermann W, Steege H T, et al. Modeling distribution of Amazonian tree species and diversity using remote sensing measurements. Remote Sens Environ, 2008, 112: 2000-2017

- 36 曹向锋, 钱国良, 胡白石, 等. 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: 3063-3069
- 37 杨波, 薛跃规, 唐小飞, 等. 外来入侵植物飞机草在中国的适生区预测. 植物保护, 2009, 35: 70-73
- 38 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: 33-38
- 39 Hanley J A, Mcneil B J. The meaning and use of the area under a Receiver Operating Characteristic (ROC) curve. Radiology, 1982, 143: 29-36
- 40 Swets K A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 1988, 240: 1285-1293
- 41 Elith J. Quantitative methods for modeling species habitat: Comparative performance and an application to Australian plants. In: Ferson S, Burgman M, eds. Quantitative Methods for Conservation Biology. New York: Springer, 2002. 39-58
- 42 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. 213
- 43 高蓉, 张燕霞, 石圆圆, 等. 西北干旱半干旱过渡区近 50 年气候变化特征分析及对粮食产量的影响. 安徽农业科学, 2009, 37: 6493-6519
- 44 张建平, 王春乙, 杨晓光, 等. 未来气候变化对中国东北三省玉米需水量的影响预测. 农业工程学报, 2009, 25: 50-55
- 45 李世奎, 侯光良, 郑剑非, 等. 中国农业气候资源和农业气候区划. 北京: 科学出版社, 1988. 341
- 46 李荣平, 周广胜, 王宇. 中国东北玉米农田生态系统非生长季土壤呼吸作用及其对环境因子的响应. 科学通报, 2010, 55: 1247-1254

· 动态 ·

北京离子探针中心成立十周年学术报告会在京成功举办

2011年12月18~20日,北京离子探针中心成立十周年学术报告会在北京成功举办。来自全国各地的200余名地学界同仁和国土资源部、科学技术部、财政部及国家自然科学基金委员会等部门的有关领导参加了此次会议。会议开幕式由中国地质科学院地质研究所侯增谦所长主持,中国地质科学院王小烈书记致开幕词。北京离子探针中心主任刘敦一研究员在开幕式上做了题为《十年一剑》的中心建设运行成果汇报。国土资源部科技与国际合作司姜建军司长、科学技术部科研条件与财务司吴学梯副司长、财政部教科文司宋秋玲副司长等有关领导和许志琴院士、朱日祥院士、郑永飞院士以及来自国内各兄弟单位的代表分别致辞,畅谈回顾了中心在过去的十年中为我国地球科学事业发展所做出的杰出贡献。

本次会议上,参会代表做了40个学术报告,就应用

北京离子探针中心的SHRIMP II分析结果为基础的研究成果进行了详细的介绍并展开深入的讨论。所涉及的领域包括:SHRIMP II新技术研发,应用SHRIMP II解决岩浆锆石以及变质锆石的成因问题,SHRIMP II在前寒武纪地质学以及在造山带构造演化研究中的应用等方面,报告会现场气氛十分热烈。

北京离子探针中心自2001年12月18日成立以来,经过十年的艰苦努力,已发展成为一个依托于高技术、高效率,向国内外开放的,拥有国际优秀研究和技术人才的矿物微区地质年代学和同位素地球化学研究及实验平台,一个培养一流人才,出一流成果的国际性的技术中心、研究中心和学术交流中心。

(本刊讯)