

玉米抗倒性检测环境的选取方法

刘 哲, 李绍明^{*}, 杨建宇, 杨 扬, 米春桥, 王 虎, 张晓东, 朱德海

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘 要: 倒伏是玉米的重要胁迫之一, 为提高玉米新品种抗倒性检测的效率, 需选择倒伏胁迫高发环境作为测试环境。该文结合倒伏胁迫发生机理和大风概率统计模型, 首先计算每个气象站点的因风倒伏概率, 通过插值和区域统计, 得到东华北、黄淮海两大玉米主产区各县区的因风倒伏概率, 最后进行玉米抗倒性检测环境的选取分析。结果表明: 倒伏胁迫概率超过 60% 的县区适宜作为玉米抗倒性检测的备选环境, 只需 3~5 个点即可基本保证每年试验都会发生倒伏胁迫; 黄淮海发生极严重倒伏胁迫的平均概率高于东华北, 与实际情况吻合, 两大区域可作为极严重倒伏胁迫检测环境的备选县区有 54 个, 严重倒伏有 16 个, 一般性倒伏有 21 个; 本方法为测试环境选取决策提供了一种量化操作的手段, 有助于提高测试环境倒伏胁迫的发生概率和新品种抗倒性检测的效率, 降低应用风险。

关键词: 玉米, 倒伏, 概率, 风, GIS

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.10.028

中图分类号: S513, S424

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-10-0167-05

刘 哲, 李绍明, 杨建宇, 等. 玉米抗倒性检测环境的选取方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 167-171.

Liu Zhe, Li Shaoming, Yang Jianyu, et al. Method of test environments selection for corn lodging resistance[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(10): 167-171. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

倒伏(包括根倒、茎折和茎倒)是玉米的重要胁迫之一。在发达国家, 玉米倒伏平均每年可造成 5%~25% 的减产^[1], 茎折甚至会减产 75%^[2]。在中国, 玉米倒伏轻者减产 5%~10%, 重者减产 30%~50%^[3], 最近几年, 中国玉米倒伏发生越来越频繁; 如 2009 年 8 月末, 河南省的多地遭遇强暴风雨, 玉米倒伏面积超过 64 万 hm^2 , 损失超过 6.5 亿元^[4]。倒伏还将增加玉米收获(尤其像美国这样的机收区)的难度和开支。玉米品质的下降和许多病虫害的发生也与倒伏密切相关。因此, 新品种在推广前, 必须经过多环境测试, 对其抗倒性进行充分检测。

然而, 目前中国玉米品种区域试验(后简称区试)环境倒伏胁迫(尤其是严重倒伏)的发生概率较低。我们对 2001—2007 年东华北(包括吉林、辽宁, 黑龙江和内蒙古)、黄淮海(包括北京、天津、河北、河南、山东、山西、安徽和江苏)两大玉米主产区的国家区试 1 006 个点次的倒伏率进行了分析。试验数据来自全国农业技术推广服务中心。在分析之前, 对数据进行了一些必要的检验, 包括品种与试点名称在不同试验组(或年际间)的一致性, 数据重复与缺失, 以及数据类型一致性等等。

国家区试数据与倒伏相关的指标为倒伏(包括根倒和茎倒)和倒折(茎折), 将两指标求和, 并进行直方图分析。结果表明: 在 1 006 个点次中, 完全不发生倒伏的点次占 14.1%, 倒伏胁迫不大于 3% 的点次占 48.9%, 而大于 30% (严重)的点次仅占 4.5%, 大于 60% (极严重)的仅有 6 个点次(图 1); 在这些试验中, 玉米新品种的抗倒性(尤其是抗严重倒伏的性能)难以获得充分检验, 推广应用隐患巨大。由此引发的如滑丰 986、豫玉 22 等审定品种的大面积倒伏绝产事件, 不仅给广大农民造成了巨大的经济损失, 也对国家品种审定的公信力带来了严重的负面影响。

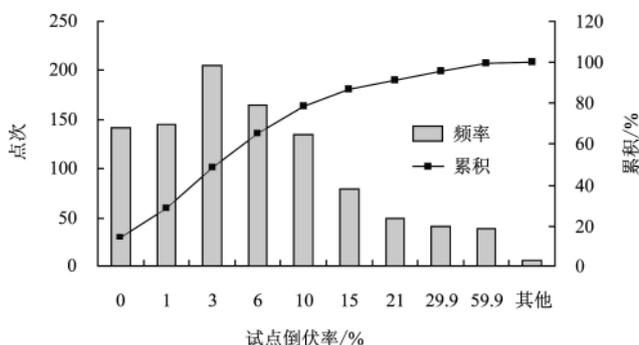


图 1 东华北、黄淮海玉米区试环境倒伏概率统计

Fig.1 Environment lodging probability of maize variety regional trial of the Two Regions (Northeast and North China, the Huang-Huai-Hai Plain)

中国有关玉米区试的行业标准制定于 2006 年^[5], 名为农作物品种试验技术规程-玉米。该标准中关于试验环境选择的部分仅有定性描述, 如依据试验区组的气候、土壤和栽培类型, 兼顾承担单位的物质条件和技术力量,

收稿日期: 2010-05-10 修订日期: 2010-09-01

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“基于 GIS 的农作物品种种植精细区划方法研究”(40971055)

作者简介: 刘 哲 (1985-), 男, 湖南隆回人, 博士生, 教育部博士研究生学术新人, 研究方向为品种试验与评价、品种认知理论及软件研发。北京中国农业大学信息与电气工程学院, 100083. Email: liuzhe23@vip.qq.com

※通信作者: 李绍明 (1966-), 男, 新疆石河子人, 副教授, 博士, 中国种子协会副理事长, 主要从事农业信息技术及应用研究。北京中国农业大学信息与电气工程学院, 100083. Email: lshaoming@sina.com.

选择试验点。这种描述没有将试验环境的选择要求量化,所选试验环境生物与非生物胁迫的发生强度和概率很不确定,而且往往是强度不足,由此导致品种的许多抗逆性(如抗倒性)很难获得充分检测,对后续大规模推广带来巨大隐患。究其原因,面对复杂多变的种植环境,缺少有效的定量化分析方法是一个重要方面。

该文运用 GIS 技术,利用国家气象站点数据,结合倒伏胁迫发生机理和大风概率统计模型,对东华北、黄淮海两大玉米种植区域的环境倒伏概率进行定量化研究;依据得到的每个县域的大风概率,结合县域玉米种植面积,进行玉米抗倒性检测环境的决策研究,以期提高玉米试验环境发生倒伏胁迫的概率,有助于充分检测新品种的抗倒性,降低应用风险。

1 材料与方法

1.1 倒伏机理与定量化表达

玉米倒伏的相关因素很多,如品种自身的抗压强度、茎秆直径、重量^[6-7],以及皮下穿透阻力^[8]等因素;水肥、土壤和种植密度^[9]等人为可控因素;以及大风或暴风雨^[3]这类难以控制的直接成因。本研究针对外部环境的直接成因进行分析。玉米倒伏在抽雄到乳熟阶段较为频发,在东华北、黄淮海,相应的公历时间约为7—9月,在此期间,若遭遇大风或暴风雨,倒伏的概率会大幅提高。由于风速与倒伏胁迫强度之间的定量化关系还未有准确的结论,我们从相关文献与报道中,估算出了一个定量化关系^[4,10-11],将两大区域的倒伏强度与相应的风速分成3类(表1)。

表1 黄淮海、东华北玉米倒伏胁迫与风速分级对应关系

Table 1 Classification of lodging levels in the Two Regions based on extreme wind speed

倒伏胁迫水平	倒伏率/%	日极大风速/(m·s ⁻¹)	风力等级
一般	11~30	10.8~13.8	6
严重	31~60	13.9~17.1	7
极严重	>60	>17.1	8

1.2 数据说明

所需的气象数据来自中国气象局,两大区域覆盖257个国家气象站点,站点拥有最长达59a(1951—2009年)的连续日值数据和玉米生产的农事时间,指标选用日极大风速。1:400万的行政区划底图可从中国测绘局免费获取,最小行政单元为县,包括每个县的2006年国标码、名称,以及面积等信息。根据每个气象站点的经纬度,创建了气象站点的点状图层。各县的农业生产统计数据来自中国农业部,包括2000—2005年每个县区的玉米种植面积和总产等信息。

1.3 环境倒伏概率分析

研究表明,对于大风这一极值气候要素,不同站点遵循的渐近分布相似,主要包括 Weibull、Gumbel^[12-14]和正态分布^[15]。为了便于处理,将研究区域内257个站点多年的抽雄到乳熟期间年度最大日极大风速值的渐近分布统一视为正态分布。首先计算每个站点在这一阶段最大日极大风速的多年平均值和标准差,根据正态分布

的概率分布函数和表1中设定的每一等级倒伏发生时的日极大风速阈值,计算在每一等级下,各站点发生倒伏的概率。计算采用农事时间,每个站点抽雄与乳熟时间有所不同,避免了对不同环境划定统一起止点造成的时间偏差。对于每一等级,通过插值处理,将站点的倒伏概率扩展到整个研究区域,所采用的克里格插值法,适用于温度、降水、风速等区域化气象要素^[16-18];最后,对研究区域内的所有县,以县域内所有样点倒伏概率的平均值进行区域统计分析,获得所有县域的倒伏概率及其分布。

2 结果与分析

2.1 气象站点倒伏概率结果分析

研究表明,对于每个气象站点,倒伏胁迫概率因不同倒伏程度而异(表2),如南宫、唐山等站点发生一般性倒伏的概率较高,五台山、烟台和威海等站点发生极严重倒伏的概率较高,松江、阜新等站点发生严重倒伏的概率较高,而新乡、开鲁等站点发生各等级倒伏胁迫的概率则比较均衡。88%以上的气象站点每年在这一阶段发生10.8 m/s以上大风的概率均超过了80%。

表2 部分气象站点各等级倒伏概率

Table 2 Lodging probabilities of climate stations in three levels

站点名称	大风概率/%			
	>17.1	[13.9, 17.1]	[10.8, 13.8]	>10.8
松江	7.4	92.6	0.0	100.0
五台山	95.5	3.9	0.5	100.0
烟台	82.5	13.6	3.4	99.4
威海	80.2	14.0	4.6	98.8
阜新	9.5	65.6	24.4	99.4
新乡	25.7	35.6	26.6	87.9
开鲁	29.9	29.7	23.7	83.3
唐山	0.1	19.6	72.2	91.8
南宫	0.0	8.1	88.8	96.9

2.2 县域倒伏概率结果分析

在进行县域的玉米倒伏胁迫概率分析之前,我们对东华北、黄淮海两大种植区域947个县区的玉米种植面积进行了分析,剔除了非种植区。剔除依据为:以各县2000—2005年的玉米平均种植面积除以该县面积,种植比例小于0.5%则视为非种植区;部分市辖区、绝大部分玉米积温不能满足的县区都属于非种植区,总共114个县区,后续的分析均不包括这些县区。

从图2、3中可以看到,在东华北、黄淮海两大区域的833个玉米种植县区中,6.48%的县区(54个)发生极严重倒伏的概率超过60%,主要分布在山东、山西、天津、安徽、江苏、黑龙江和内蒙古;其中,二连浩特(概率86.3%)、繁峙(概率83.2%)、荣城(概率80.2%)、威海市区(概率80.2%)4个县区的概率超过80%,若以其中3个县区(二连浩特、繁峙和荣城)作为检测玉米抗倒性的试验环境,因3个县区空间相隔非常远,其发生倒伏胁迫可视为互相独立的概率事件,所以3个县区

同时不发生极严重倒伏的概率为 0.46%，这样基本可以保证每年试验都会发生极严重倒伏。二连浩特因其常年玉米种植面积仅有 1 300 hm²，可选其它概率超过 60% 的县区将其替换，繁峙、荣城的玉米常年种植面积均超过 7 000 hm²，可以作为检测玉米是否抗极严重倒伏的备选环境。

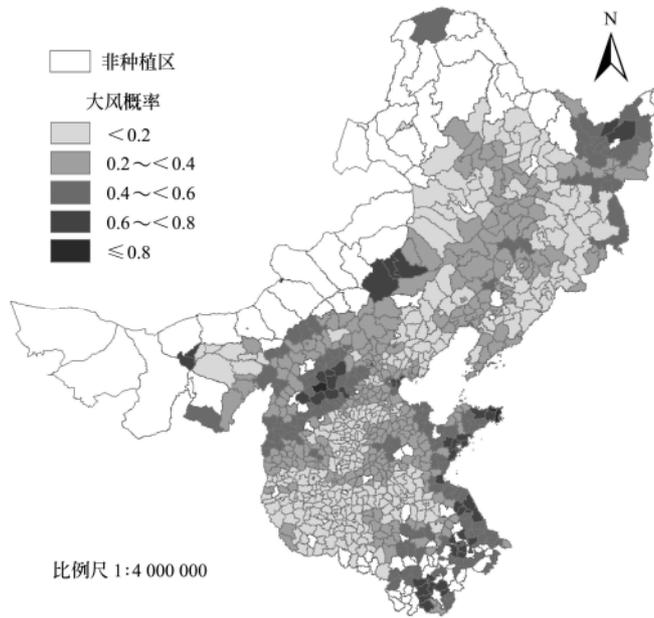


图 2 县域极严重倒伏胁迫概率分布图

Fig.2 Probability distribution of critical lodging in the regions

吉林、辽宁、河南和河北较低；统计结果表明，黄淮海区域极严重倒伏胁迫的平均概率（31.6%）高于东北区域（26.4%），这点与实际情况吻合。

如图 4 所示，1.92% 的县区发生严重倒伏的概率超过 60%，如洮南、扎鲁特旗、昌图和右玉等 16 个县区，其中 14 个县区的玉米常年种植面积均超过 7 000 hm²，可以作为检测玉米是否抗严重倒伏的备选环境；而发生严重倒伏概率低于 40% 的县（约 658 个，占 78.99%）则不适宜作为备选环境。此外，发生一般性倒伏概率超过 60% 的县区有 21 个，约占 2.52%。

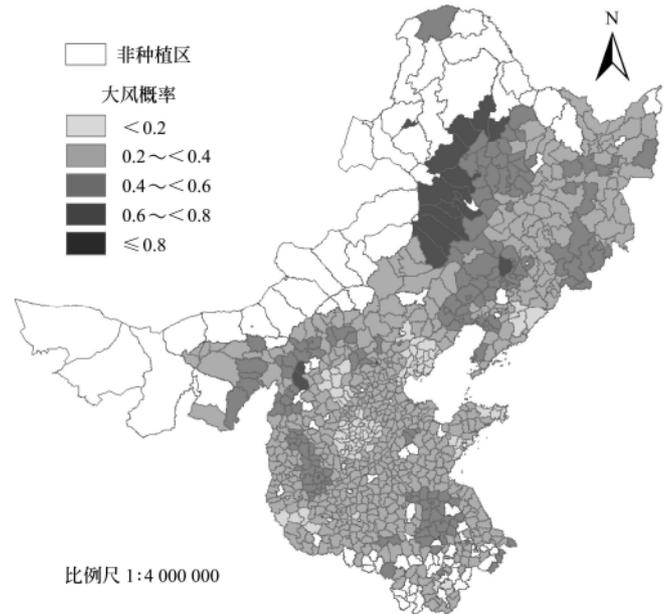


图 4 县域严重倒伏胁迫概率分布图

Fig.4 Probability distribution of severe lodging in the regions

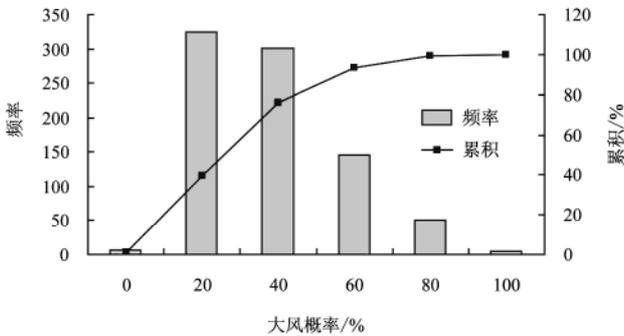


图 3 县域极严重倒伏胁迫概率统计直方图

Fig.3 Probability histogram of critical lodging in the regions

若从发生极严重倒伏概率超过 60% 的县区中选取玉米抗倒性检测的试验环境，则只需 3~5 个点，即可基本保证每年试验都会发生极严重倒伏（概率 99% 以上：公式 $(1-p)^n$ 表示 n 个倒伏率均为 p 的点，同时不发生倒伏的概率；则 $1-(1-0.8)^3 = 1-(1-0.6)^5 = 99%$ ，即 3 个倒伏率 80% 或 5 个倒伏率 60% 的点中，至少有 1 个点发生倒伏的概率可达到 99%，倒伏基本可以肯定会发生）；而发生极严重倒伏概率低于 40% 的县（约 633 个，占 75.99%）则不适宜作为备选环境，因为理论上需要至少 10 个点才能基本保证每年试验都有极严重倒伏发生，这一类县区主要分布在河南、河北、辽宁与吉林。此外，由图 2 可知，山东、山西、天津、安徽、江苏、黑龙江和内蒙古各个县区发生极严重倒伏胁迫的平均概率较高，而北京、

3 讨论

在概率模型方面：本研究将每个气象站点多年的阶段最大日极大风速值的渐近分布统一视为正态分布，这种简化处理有利于研究的开展，但难免会对站点概率的分析带来误差；后续研究可以预先研究每个气象站点这一指标的渐近分布，并利用相应的概率分布函数分别计算概率，以提高准确性。风速参数方面：本研究估计的 3 个等级倒伏胁迫对应的风速阈值，其合理性还有待进一步调查验证；后续研究若是具体到某个省市县，则需要根据当地的历史情况重新设定阈值。指标选取方面：本研究仅考虑了抽雄到乳熟期间的大风这一直接外因，若综合考虑降水、土壤质地和肥力等指标，将可获得更加准确的结果。

前文提及的严重与极严重胁迫概率大于 60% 的县域可作为两大区域玉米抗倒性强化鉴定的备选点；还可运用类似的方法对玉米主要抗逆性的检测环境进行选取分析，在此基础上，综合分析玉米区试点与强化鉴定点的选取和布局。

本方法基于玉米胁迫的发生概率，来分析试验点的选取与组合，可以让玉米的各种性状得到充分检验，这是此类方法的优点，其缺点是这样的试验点布局对目标推广环

境的代表性较差,影响试验结果的外推;而国外学者进行试验点布局研究时,一般先对研究区域的种植环境进行分类和聚类分析,再从中选择有代表性的试点^[19-22],这种方法可以避免上述问题,但其缺点是不能保障品种的各种抗逆性获得充分检验,加之种植环境条件的年际波动^[22],使得这样的试验布局无法稳定,给实际操作带来不便。若结合2种方法进行试验点选取与布局分析,可能会是更加有效的方式。

4 结 论

1) 倒伏胁迫概率超过60%的县区适宜作为玉米抗倒性检测的备选环境,只需3~5个点即可基本保证(概率99%以上)每年试验都会发生倒伏胁迫;而概率低于40%的县区则不适宜作为备选环境。

2) 黄淮海发生极严重倒伏胁迫的平均概率高于东华北,这一点与实际情况吻合,两大区域可作为极严重倒伏胁迫检测环境的备选县区有54个,严重倒伏有16个,一般性倒伏有21个。

3) 虽然在概率模型、风速参数和指标选取方面不尽完善,但该文提出的基于胁迫发生机理和概率模型的分析方法,为进行试验环境选取决策提供了一种量化操作的手段,有助于提高测试环境倒伏胁迫的发生概率和新品种抗倒性检测的效率,降低应用风险。

致谢: 全国农技中心、中国气象局为本试验提供的试验数据,车小平为本试验录入国家区试数据,论文评审专家和编辑为文提出宝贵建议,特致谢意!

[参 考 文 献]

- [1] Nielsen B. Stalk Lodging in Corn: Guidelines for Preventive Management: Agronomy Guide[M]. Indiana (USA): University of Purdue Press, 2006.
- [2] Van Dyk J. Corn lodging sets In: Integrated Crop Management: Plant Diseases[M]. Iowa (USA), Iowa State University Press, 2001.
- [3] 宋朝玉,张继余,张清霞,等.玉米倒伏的类型、原因及预防、治理措施[J].作物杂志,2006,(1):36-38.
- [4] 中华粮网,河南:遭遇暴雨大风袭击玉米倒伏严重[EB/OL].<http://www.cngrain.com/>,2009-9-1.
- [5] 农作物品种试验技术规程-玉米[S].中国农业部,NY/T 1209-2006.
- [6] Zuber M S, Kang M S. Corn lodging slowed by sturdier stalks[J]. Crop Soils, 1978, 30(5): 13-15.
- [7] Hondroyanni E, Papakosta D K, Gagianas A A, et al. Corn stalk traits related to lodging resistance in two soils of differing quality[J]. Maydica, 2000, 45: 125-133.
- [8] Abedon B G, Darrah L L, Tracy W F. Developmental changes associated with divergent selection for rind penetrometer resistance in the MoSCSSS maize synthetic[J]. Crop Science, 1999, 39: 108-114.
- [9] 袁公选,杨金慧,李雅文,等.玉米倒伏成因及预防[J].西北植物学报,1999,19(5):72-76.
Yuan Gongxuan, Yang Jinhui, Li Yawen, et al. Lodging

- factors and its prevention in maize[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1999, 19(5): 72-76. (in Chinese with English abstract)
- [10] 河北省气象局.河北省2009年8月气候影响评价[EB/OL].<http://www.weather.he.cninfo.net>,2009.
- [11] 吉林省气象局.吉林省2009年8月气候影响评价[EB/OL].<http://www.jlqx.gov.cn>,2009.
- [12] 曲延禄,阎书源,张程道.我国地面气温极值和地面风速极值的渐近分布[J].气象学报,1988,46(2):187-193.
Qu Yanlu, Yan Shuyuan, Zhang Chengdao. On asymptotic distributions for extremes of surface temperature and surface wind over china[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1988, 46(2): 187-193. (in Chinese with English abstract)
- [13] 徐人平,傅惠民,高镇同.风速概率分布的参数估计和置信度计算[J].数理统计与管理,1995,14(3):32-35.
Xu Renping, Fu Huimin, Gao Zhenlong. Estimation of parameters and confidence limits for wind speed probability distribution[J]. Application of Statistics and Management, 1995, 14(3): 32-35. (in Chinese with English abstract)
- [14] 段忠东,欧进萍,周道成.极值风速的最优概率模型[J].土木工程学报,2002,35(5):11-16.
Duan Zhongdong, Ou Jinping, Zhou Daocheng. The optimal probabilistic distribution for extreme wind speed[J]. China Civil Engineering Journal, 2002, 35(5): 11-16. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘大刚,朱海燕.大风风速非定常性的特征[J].大连海事大学学报,2002,28(4):110-112.
Liu Dagang, Zhu Haiyan. Study on the nonstationary characteristic of high wind speed[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2002, 28(4): 110-112. (in Chinese with English abstract)
- [16] 林忠辉,莫兴国,李宏轩,等.中国陆地区域气象要素的空间插值[J].地理学报,2002,57(1):47-56.
Lin Zhonghui, Mo Xingguo, Li Hongxuan, et al. Comparison of three spatial interpolation methods for climate variables in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2002, 57(1): 47-56. (in Chinese with English abstract)
- [17] 庄立伟,王石立.东北地区逐日气象要素的空间插值方法应用研究[J].应用气象学报,2003,14(5):605-615.
Zhuang Liwei, Wang Shili. Spatial interpolation methods of daily weather data in northeast China[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2003, 14(5): 605-615. (in Chinese with English abstract)
- [18] 高歌,龚乐冰,赵珊珊,等.日降水量空间插值方法研究[J].应用气象学报,2007,18(5):732-736.
Gao Ge, Gong Lebing, Zhao Shanshan, et al. Spatial interpolation methods of daily precipitation[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2007, 18(5): 732-736. (in Chinese with English abstract)
- [19] Setimela P, Chitalu Z, Jonazi J, et al. Environmental classification of maize-testing sites in the SADC region and its implication for collaborative maize breeding strategies in the subcontinent[J]. Euphytica, 2005, 145: 123-132.
- [20] Linda M Pollak, John D Corbett. Using GIS datasets to classify maize-growing regions in Mexico and central

- America[J]. *Agron J*, 1993, 85: 1133—1139.
- [21] A.D. Hartkamp, J.W. White, A. Rodríguez Aguilar, et al. Maize Production Environments Revisited-A GIS-based Approach[R]. CIMMYT, Mexico, 2000.
- [22] Carlos M. Löffler, Jun Wei, Tim Fast, et al. Classification of maize environments using crop simulation and Geographic Information Systems[J]. *Crop Science*, 2005, 45(5): 1708—1716.

Method of test environments selection for corn lodging resistance

Liu Zhe, Li Shaoming^{*}, Yang Jianyu, Yang Yang, Mi Chunqiao, Wang Hu, Zhang Xiaodong, Zhu Dehai

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Lodging is a major stress of maize. In order to improve the efficiency of lodging resistance detection of new varieties, high stress location must be selected as a test environment. In this study, firstly, corn lodging mechanism and wind stress probability model were researched. Secondly, lodging probability of each meteorological station caused by wind stress was calculated. Then, lodging probability was obtained for all counties in Northeast and North China, the Huang-Huai-Hai Plain, by using Spatial Interpolation and Regional Statistical Analysis. Finally, the test environments selection analysis for corn lodging resistance was conducted. The results show that: counties with lodging probability above 60% are suitable for alternative environments, lodging will certainly happen among 3-5 locations in each year; the average critical lodging probability of the Huang-Huai-Hai Plain is higher than that of the Northeast and North China, the available counties for critical lodging in the two regions is 54, the severe is 16, and the medium is 21. The method provides a quantitative operation for test environments selection decision-making. The lodging probability of environment trials can be significantly improved, which contributes to test lodging resistance of new varieties sufficiently and reduces extension risk.

Key words: corn, lodging, probability, wind, GIS