

潘东华, 贾慧聪, 张万昌, 等. 基于野外试验的玉米干旱脆弱性研究[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 150–153, 180. [PAN Donghua, JIA Huicong and ZHANG Wanchang, et al. Research on the Maize Drought Vulnerability Based on Field Experiment[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(2): 150–153, 180. doi: 10. 3969/j. issn. 1000–811X. 2017. 02. 026. ]

# 基于野外试验的玉米干旱脆弱性研究<sup>\*</sup>

潘东华<sup>1</sup>, 贾慧聪<sup>2</sup>, 张万昌<sup>2</sup>, 尹圆圆<sup>3</sup>

(1. 民政部国家减灾中心, 北京 100124; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所  
中科院数字地球重点实验室, 北京 100094; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘 要:** 基于人工控制田间试验的方法, 选取河北黄骅基地为试验区, 通过观测玉米每个生长阶段在不同干旱强度下的生物量损失数值, 分析了不同干旱程度对玉米营养器官生长和生物量的影响, 构建了玉米受旱的 5 个生育期自然脆弱性曲线。结果表明, 对玉米株高影响最大的生育期是拔节期。根系对轻度缺水反应不敏感。不同生育期的干旱胁迫对玉米地上器官鲜重的影响大于对根系的影响。在轻旱致灾下, 出苗–拔节期的生物量损失风险最高; 在重旱致灾下, 拔节–抽雄期的生物量损失风险最高。

**关键词:** 野外试验; 脆弱性曲线; 玉米旱灾; 河北黄骅; 生育期

**中图分类号:** X43; S423; P53 **文摘标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2017)02–0150–05

doi: 10. 3969/j. issn. 1000–811X. 2017. 02. 026

玉米是需水量较高的旱田作物之一, 土壤水分状况对玉米的生理过程具有重要的影响。关于水分胁迫对玉米生长发育和产量造成的影响已有较多的研究<sup>[1–6]</sup>, 多数研究结果表明, 土壤水分胁迫抑制玉米的生长发育, 降低光合性能, 从而导致减产。但限于土壤水分条件控制的困难, 水分控制层段、时期与指标不同, 尤其对各生育期水分胁迫对玉米生长发育及物质累积与分配影响的研究较少。

并不是所有灾害历史事件都有数据记录, 当指标方法不够规范、评价结果不能够达到充分可信度的时候, 脆弱性曲线为脆弱性的评价提供了新的思路。脆弱性曲线也称为脆弱性函数或灾损率曲线<sup>[7]</sup>, 最早出现于 1964 年, 用来衡量不同强度的各灾种与其相应损失(率)之间的关系, 主要以曲线、曲面或者表格的形式表现出来。脆弱性曲线真正面对承灾体个体, 可从根本上解决脆弱性评价结果针对性不强、可操作性不强等特点, 通过承灾体自身个体的脆弱性反映区域总体脆弱性特征<sup>[8–10]</sup>。因此, 开展“作物自然脆弱性曲线”研究可以从微观角度刻画旱灾, 为深入研究农业旱灾风险提供新的思路和方法<sup>[11]</sup>。

本文认为玉米干旱脆弱性是受干旱影响的玉米应对干旱的一种内在特性, 是特定品种玉米本身特有的自然物理属性, 通过确定玉米干旱致灾强度和产量损失率之间的关系, 可以得出特定品种玉米的自然脆弱性曲线。将每个玉米旱灾致灾强度打击下的损失值, 进行非线性拟合可得到该种玉米旱灾的脆弱性曲线。

## 1 试验设计

### 1.1 自然地理条件

本文选取河北黄骅野外试验基地进行系统的小区覆膜玉米水分胁迫试验。该区域多年平均降水量 626.5 mm, 年降水量 75% 集中在夏季, 年平均气温 12 ℃, 年平均无霜期 194 d。黄骅试验基地供试土壤为滨海盐土, 厚度 150 cm, 田间持水量 32%, 容重为 1.50 g/cm<sup>3</sup>, 表层≤0.01 mm 的物理黏粒占 7%~10%; 表层有机质 0.598%~1.286%; 全氮量 0.032%~0.742%; 全盐量 0.501 3%~3.990 1%<sup>[12]</sup>。黄骅试验基地提供试验面积 100 m<sup>2</sup>。分析试验基地 1~11 月每日降雨量

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2016–08–24 修回日期: 2016–10–10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471428; 41671505); 国家重点研发计划(2016YFA0602302; 2016YFB0502502); 中国气象局兰州干旱气象研究所资助项目(IAM201609)

第一作者简介: 潘东华(1981–), 男, 汉族, 江苏丹阳人, 博士, 副研究员, 主要从事干旱灾害评估与风险防范研究与管理研究。

E-mail: pandonghua@ndrcc.gov.cn

通讯作者: 贾慧聪(1981–), 女, 汉族, 山东聊城人, 博士, 副研究员, 主要从事 GIS&RS 在自然灾害风险分析中的应用研究。

E-mail: jiahc@radi.ac.cn

分布(图1)可知,夏季(6~8月)降水量为444.5 mm,约占总降水量的69.6%。

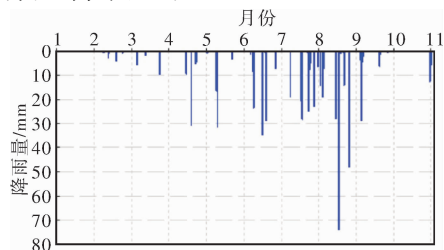


图1 试验基地降雨量分析(1-11月)

## 1.2 试验材料与种植

试验选取的玉米品种为隆源六号,春播生育期120 d左右,为当地主栽品种。试验小区规格为宽2 m,长3 m,设计5个试验处理,3个重复,共计15个小区。种植小区周围设有保护行,且用塑料膜隔离,防止水分侧渗;小区由西向东依次编为1~5#,种植小区在此基础按重复编号。种植方式采用膜侧沟种垄盖栽培技术,即选用宽度40 cm的微膜,起垄、盖膜、播种一次完成,地膜盖在垄背上,玉米种在垄沟里,每亩用膜1.6 kg,株距间隔30 cm。由于膜侧沟种垄盖玉米实行宽窄行种植,宽行74 cm、窄行40 cm,基本株数在每亩4 000株。4月28日播种,9月10日收获。

## 1.3 试验方案

选定“土壤含水量占田间持水量的百分比”作为评价玉米不同干旱致灾强度的指标。试验按0~100 cm土层土壤水分含量设计5个处理,土壤含水量分别为田间持水量的90%(轻度干旱W90)、75%(中度干旱W75)、60%(重度干旱W60)、40%(极重度干旱W40)。以水分适宜处理(CK)作对照,重复3次。各处理土壤水分目标实行全程控制,每5 d测定补充1次水,各处理每次灌水量采用水表控制。为了控制玉米各生育阶段的水分供应状况,在拔节、孕穗、抽穗、开花和乳熟五个时期进行水分控制(拔节期前各小区水分条件一致)。采用“灌溉梯度递减”的灌溉方式进行灌溉(表1)。

表1 干旱强度设计处理

| 干旱等级   | 生育期     |         |         |         |         |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
|        | 出苗 - 拔节 | 拔节 - 孕穗 | 孕穗 - 抽穗 | 抽穗 - 开花 | 灌浆 - 成熟 |
|        | 5月下旬    | 6月下旬    | 7月上旬    | 7月下旬    | 8月下旬    |
| CK 无旱  | √       | √       | √       | √       | √       |
| W90 轻旱 | √       | √       | √       | √       |         |
| W75 中旱 | √       | √       | √       |         |         |
| W60 重旱 | √       | √       |         |         |         |
| W40 特旱 | √       |         |         |         |         |

## 1.4 试验基本参数获取

试验对土壤、作物有关参数均定期进行测定,包括:用取土样烘干法测定玉米根土层土壤含水量,每10 d测定1次且在灌水前后加测。生育期内定期、定点取代表性植株5株调查测定株高、叶面积、

鲜重、干物重等求得平均值,收获期小区计产,所得数据进行方差分析。作物株高用钢卷尺测量,叶面积测定取样本植株每片完全展开叶的完整的绿色叶片长度(cm)和最大宽度(cm),叶面积用长×宽×系数的方法求得(玉米的校正系数为0.70)。

## 2 干旱胁迫对玉米生长发育及产量的影响

### 2.1 不同干旱程度对玉米营养器官生长的影响

在干旱水分胁迫下,玉米一个可以测得的生理反应就是生长缓慢,阻碍植株的高度发展。图2表明,不同时期不同程度的干旱程度都导致玉米株高降低,但所造成的影响程度不同。在拔节期受旱对玉米株高的影响最大,其中的特旱处理仅为无旱处理的63.38%,该期轻旱和中旱处理的玉米高度为无旱的97.18%和80.28%,说明干旱程度越高,对玉米株高的影响也越显著。在进入抽雄期后,玉米由营养生长向生殖生长转变,因此该阶段及其以后的干旱对玉米株高的影响不明显。

针对干旱胁迫对玉米根长的影响(图3),可以发现,只有特旱程度下,根长才会明显降低,其他程度的受旱反而有促进根系下扎、根量增加的作用。根系对轻度缺水反应不敏感,尤其在苗期阶段轻度控水反而有利于根系生长,增加根叶比,对最终产量有益。

由图4和图5可以得出,随着生育期的进程,玉米地上部鲜重和地下鲜重呈现先增长后降低的趋势。不同生育期的干旱程度对玉米地上器官鲜重的影响大于对根系的影响。抽雄-乳熟期是对玉米地上部鲜重、地下部鲜重影响最大的生育期。分析表明,抽雄期是玉米一生对水分反应最敏感的时期,在该期发生特旱的干旱胁迫时,相比没有干旱胁迫,地上部鲜重下降37.9%,而地下部鲜重下降37.5%。

### 2.2 不同干旱程度对玉米生物量的影响

本文计算的玉米日生物量是地上部与地下部的总重量。由图6可知,随着生育期的进程,5个时段的生物量都呈现出逐渐增长然后保持平稳的趋势,生物量在乳熟-成熟期达到最大。拔节期是玉米株体形成的重要时期,植株生长旺盛,玉米需水强烈,此期受旱对产量的影响较大。而抽雄期为玉米的需水临界期,该期的干旱对产量损失产生重大影响。进入乳熟期后,玉米仍需要较多的水分,此时玉米的光合作用和蒸腾都在旺盛进行,同时大量的营养物质从茎叶向果穗运移,此期受旱玉米植株生物量减产风险仍较高。进入成熟期后,干旱胁迫对玉米的减产风险基本不变。因此,拔节-抽雄期对水分胁迫的敏感性最高,这可以作为减轻旱灾风险水平,选择田间灌水时

期以及灌水数量的重要依据,以达到最优的玉米产量结果。

### 3 干旱脆弱性曲线的构建

通过定期观测土壤相对湿度和玉米的生育期、叶面积、株高、茎粗、生物量等。得出每个生长季的干旱致灾强度和因旱生物量损失率,通过非线性统计模型多次拟合,回归出5个生育期玉米各自受旱的自然脆弱性曲线(图7)。

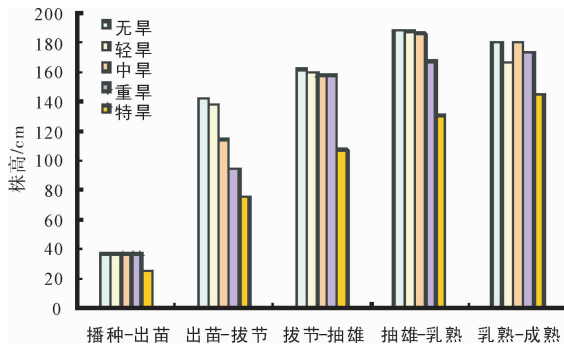


图2 不同生育期干旱强度对株高的影响

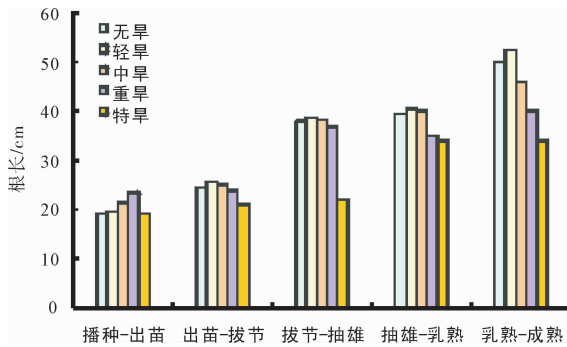


图3 不同生育期干旱强度对根长的影响

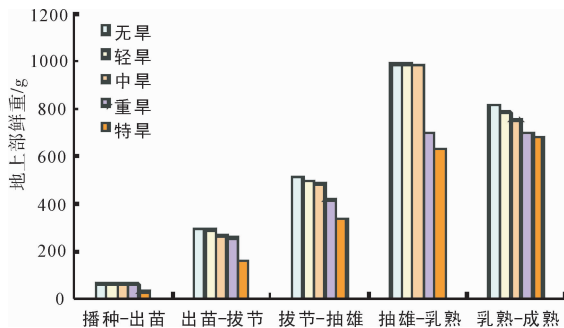


图4 不同生育期干旱强度对地上部鲜重的影响

玉米生物量的积累取决于光合性能的高低,由于光合性能的诸多因素均受到土壤水分状况的影响,因此,不同生育时期在不同的干旱胁迫强度下,玉米生物量的积累会发生明显的变化。播种-出苗期:玉米受旱程度无论是轻旱还是重度干旱,生物量损失率都比较小。可见,苗期的玉米耐旱性强,表明苗期阶段轻度控水有利于根系

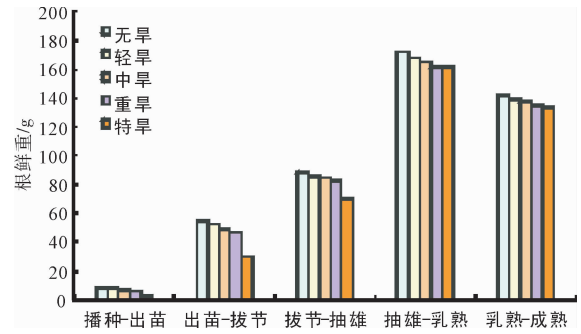


图5 不同生育期干旱强度对根重的影响

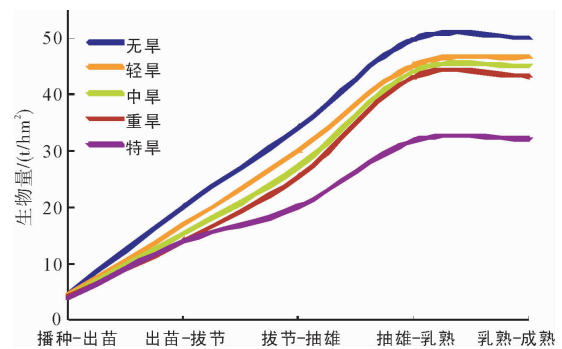


图6 黄骅试验区玉米不同生育期对应生物量变化

生长的规律一致。出苗-拔节期:此时期玉米受旱的损失率加大,因为该期是玉米株体形成的重要阶段,根、茎、叶等营养器官迅速生长。随着受旱程度的加大,玉米植株营养体的生长受抑,特旱的损失率达到31.5%。拔节-抽雄期:此时期玉米由营养生长向生殖生长过渡,干旱的胁迫对玉米的生殖生长影响明显,特旱的损失率达到41.4%。抽雄-乳熟期:此时期玉米仍需要较多的水分,如果干旱胁迫,易造成籽粒发育不完全,造成减产,特旱的损失率达到36.1%。乳熟-成熟期:此期的干旱胁迫明显影响果穗长度、粗度、结实花数以及穗粒数,特旱的损失率达到35.9%。

对比分析不同程度干旱致灾强度下各生育期的损失风险水平,可知拔节-抽雄期是玉米生物量损失的高风险时期,而播种-出苗期的玉米受旱损失风险较低。

### 4 结论与讨论

(1)基于人工控制田间试验的方法,选取黄骅基地为试验区,通过观测玉米每个生长阶段,在不同干旱强度下的生物量损失数值,经过计算模拟可为农作物生长模型的校准参数提供来源,为模拟结果提供实证检验,加强了基础性的实验支持。

(2)结果表明,对玉米株高的影响最大的生育期是拔节期。根系对轻度缺水反应不敏感,尤其在苗期阶段轻度控水反而有利其生长。不同生育

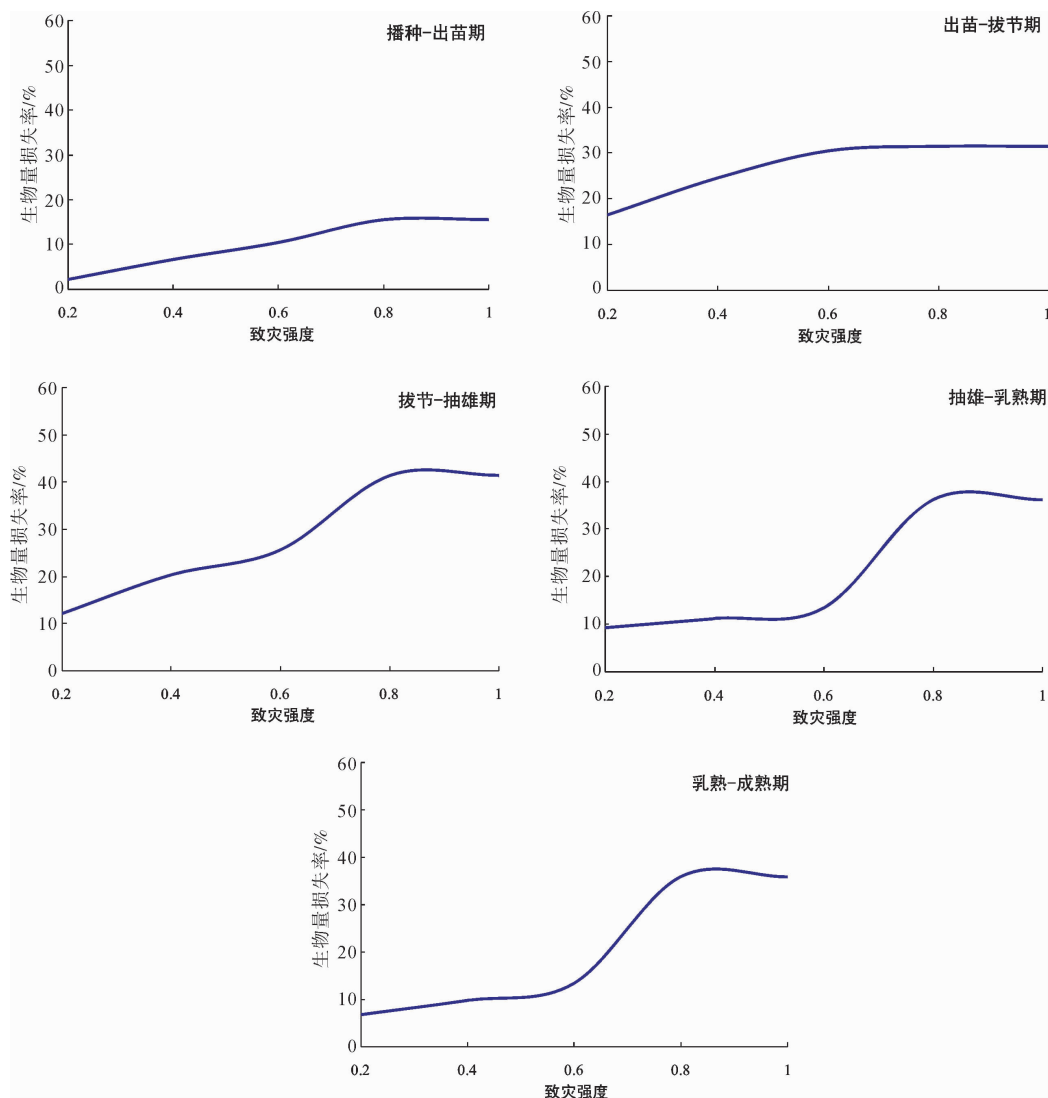


图7 不同生育阶段玉米旱灾自然脆弱性曲线

期的干旱胁迫对玉米地上器官鲜重的影响大于对根系的影响。在轻旱致灾下, 出苗-拔节期的生物量损失风险最高; 在重旱致灾下, 拔节-抽雄期的生物量损失风险最高。

(3) 针对玉米旱灾高风险的生育时段, 接下来应考虑不同生育阶段的农事活动, 综合各地玉米水分管理的经验, 提出有利于减轻农业旱灾风险的适应性对策。

## 参考文献:

- [1] 郑盛华, 严昌荣. 水分胁迫对玉米苗期生理和形态特性的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1138-1143.
- [2] 张淑杰, 张玉书, 纪瑞鹏, 等. 水分胁迫对玉米生长发育及产量形成的影响研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(12): 68-72.
- [3] 张玉书, 米娜, 陈鹏狮, 等. 土壤水分胁迫对玉米生长发育的影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(3): 1-7.
- [4] 王智威, 牟思维, 闫丽丽, 等. 水分胁迫对春播玉米苗期生长及其生理生化特性的影响[J]. 西北植物学报, 2013, 33(2): 343-351.

- [5] 任丽雯, 马兴祥. 石羊河流域水分胁迫对玉米生长发育指标和产量的影响[J]. 干旱气象, 2014, 32(5): 760-772.
- [6] Singh B R, Singh D P. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation [J]. Field Crops Research, 1995, 42: 57-67.
- [7] Zornitsa Popova, Milena Kercheva. CERES model application for increasing preparedness to climate variability in agricultural planning risk analyses [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2005, 30: 117-124.
- [8] Jia H C, Wang J A, Cao C X, et al. Maize drought disaster risk assessment of China based on EPIC model [J]. International Journal of Digital Earth, 2012, 5(6): 488-515.
- [9] 贾慧聪, 王静爱, 潘东华, 等. 基于EPIC模型的黄淮海夏玉米旱灾风险评价[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 643-652.
- [10] 潘东华, 袁艺, 贾慧聪, 等. 我国典型区因旱饮水困难人口快速评估模型研究[J]. 灾害学, 2014, 29(3): 34-39.
- [11] Pan D H, Jia H C. Drought disaster risk assessment of the Yellow River Basin based on historical drought information in GIS environment [J]. Disaster Advances, 2012, 5(4): 90-94.
- [12] 李恒哲, 郭年冬, 陈召亚, 等. 县域耕地资源价值综合评价及动态分析-以河北省黄骅市为例[J]. 土壤通报, 2015, 46(6): 1334-1340.

(下转第180页)

## The Definition, Characteristic, Function and Structure of Safety Culture Industry

JIANG Wei<sup>1</sup>, WANG Bing<sup>2</sup>, FU Xiaoyi<sup>1</sup> and XUE Guoqing<sup>1</sup>

(1. *School of Information & Safety Engineering, Zhongnan University of Economics & Law, Wuhan 430073, China;*

2. *School of Resources & Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China*)

**Abstract:** In order to have a clear comprehension about the structure of safety culture industry, and promote its competitiveness, from the views of macro-safety and megaculture, the definition of safety culture industry was proposed based on the definition of culture industry. Meanwhile, its connotation, functions and characteristics were analyzed. Based on this, the structure of safety culture industry was constructed, and three routes to optimize the structure of safety culture industry were proposed. The results show that the basic contents and forms of safety culture industry are safety culture products and services, its basic means is market, and its essence is the production, innovation, accumulation, communication and application of safety knowledge, skills and so on. Accordingly, the structure of safety culture industry consists of three aspects, including core, peripheral and related safety culture industry.

**Key words:** safety culture industry; definition; characteristic; function; structure

(上接第 153 页)

## Research on the Maize Drought Vulnerability Based on Field Experiment

PAN Donghua<sup>1</sup>, JIA Huicong<sup>2</sup>, ZHANG Wanchang<sup>2</sup> and YIN Yuanyuan<sup>3</sup>

(1. *National Disaster Reduction Center of China, Ministry of Civil Affairs of the People's Republic of China, Beijing 100124, China;* 2. *State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing and*

*Digital Earth, Chinese Academy of Sciences. Beijing 100094, China;*

3. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China*)

**Abstract:** Based on an artificial controlling field experiment, taking Huanghua city of Hebei Province base as the experimental site, the effect of different drought degree on maize growth of vegetative organs and biomass were analyzed, the physical maize drought vulnerability curves of the five stages were constructed. The results show that, the most impact growth period of maize plant height was the jointing stage. Root system was not sensitive to small degree of water shortage. The effect of drought stress at different stages of corn on the ground organs fresh weight is greater than that of root system. Under the low drought hazard-inducing degree, emergence-jointing stage has the highest biomass loss risk. Under the high drought hazard-inducing degree, jointing to tasseling stage has the highest biomass loss risk.

**Key words:** field experiment; physical vulnerability curves; maize drought; Huanghua city of Hebei Province; growth stage