

文章编号:1004-4574(2012)05-0207-06

## 春旱对春玉米产量的影响试验研究

马树庆<sup>1</sup>,王琪<sup>2</sup>,于海<sup>3</sup>,徐丽萍<sup>3</sup>,张铁林<sup>3</sup>

(1. 吉林省气象台,吉林 长春 130062; 2. 吉林省气象研究所,吉林 长春 130062;  
3. 榆树市农业气象试验站,吉林 榆树 131106)

**摘要:**将分级土壤水分胁迫试验与分期播种田间试验相结合,研究了春旱对春玉米产量的影响。结果表明,玉米播种出苗期间耕层土壤含水量与玉米产量的关系是二次函数关系。春季土壤水分胁迫对玉米产量的影响很明显,在田间持水量以下,土壤湿度每下降1个百分点,单产下降7%左右,耕层有效水量每减少10 mm,单产下降14%左右。文章还确定了玉米春旱的土壤水分分级指标。土壤水分对产量的影响指标和模式可以用于开展玉米春旱程度评估和预报,也可用于确定抗旱灌水量。

**关键词:**春玉米;春旱;田间试验;减产;指标和模型

中图分类号:S423

文献标志码:A

### Field experiment study into influence of spring drought on maize yield

MA Shuqing<sup>1</sup>, WANG Qi<sup>2</sup>, YU Hai<sup>3</sup>, XU Liping<sup>3</sup>, ZHANG Tielin<sup>3</sup>

(1. Meteorological Observatory of Jilin Province, Changchun 130062, China; 2. Institute of Meteorological Science of Jilin Province, Changchun 130062, China; 3. Agrometeorological Observatory of Yushu County, Yushu 131106, China)

**Abstract:** This paper studies the influence of spring drought on maize yield based on the combination tests of soil water stress test and field test of seeding trials. Results show that during the corn planting and emerging periods, the relationship between soil water content and corn yield follows a quadratic function. Spring water stress of soil on maize yield is very obvious. In field water capacity, soil humidity declined by 1 percentage points each, maize yield will be reduced by about 7%; soil effective water reduction for every 10 mm, per unit area yield will drop about 14%. The article also identified maize drought index of soil moisture. The influence of soil moisture decrease on the corn yield was quantitatively studied. The indicator and mode of soil moisture influence on maize yield can be used for developing the assessment and prediction of maize spring drought, and can also be used to determine drought-resistant irrigation content.

**Key words:** maize; spring drought; field experiment; drop in yield; index and model

东北地区是我国春玉米主产区,玉米播种面积约占粮食作物面积的60%。东北春玉米主要依靠雨养,加之降水时空变率大,玉米生长季内易发生阶段性干旱,特别是春季玉米播种至幼苗生长期(4月下旬至6月上旬)常年雨水少,易发生春旱。春旱推迟玉米出苗期,降低出苗率,幼苗长势差,进而导致减产。

关于春旱对玉米生长和产量影响的研究成果较多,如刘庚山等<sup>[1]</sup>、赵先丽<sup>[2]</sup>等分别研究了玉米苗期水分胁迫对幼苗生长和产量的影响,李素美等<sup>[3]</sup>、白向历等<sup>[4]</sup>、覃永媛等<sup>[5]</sup>、邵立威等<sup>[6]</sup>、崔振海等<sup>[7]</sup>分别研究了土壤水分含量或灌溉量对玉米产量的影响,陈军等<sup>[8]</sup>研究了干旱对不同玉米品种光合作用及产量的影

收稿日期:2011-11-14; 修回日期:2011-12-19

基金项目:国家行业专项(GYHY20096021);科技部农业成果转化项目(2010GB24160651)

作者简介:马树庆(1959-),男,研究员,主要从事农业气象、农业生态和气候变化研究. E-mail:jlmasq@yahoo.cn

响;孙景生等<sup>[9]</sup>研究了夏玉米产量与水分的关系及合理用水灌溉方案,王春乙等<sup>[10]</sup>从宏观角度分析中国干旱对玉米等粮食产量的影响。长期以来,人们习惯认为影响东北春玉米产量的主要气候因素是春夏季低温,而不是春季降水,因此对东北春玉米春旱研究的投入要比华北夏玉米少得多。实际上,在全球变化背景下,20世纪90年代以来东北地区气候变暖和变干<sup>[11-12]</sup>,玉米主产区降水偏少,春旱频繁,已经成为决定玉米产量的首要因素,而温度影响已经退居次要地位<sup>[13-15]</sup>。因此,我们把玉米播种后土壤水分胁迫试验和分期播种试验相结合,在3个温度层面上试验研究水分胁迫(春旱)对玉米产量的影响,提炼春旱损失气象指标和模型,为开展玉米春旱的预测、评估提供科学依据和方法,也为确定抗旱灌水量提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

试验在榆树市农业气象试验站进行。榆树市位于我国东北黄金玉米带的中部,玉米生产水平和气象、土壤等条件在东北玉米带内有代表性。

用挡雨棚阻止自然降水,用喷壶模拟降水实现土壤水分胁迫差别控制。挡雨棚为一面坡自然通风式,前后沿水泥立柱高度分别为1.7 m和1.4 m,棚长25 m,宽5 m。雨天用塑料膜盖棚挡雨,雨后撤掉,自然通风和光照。在每个棚内并排设4个水分处理小区,每个小区四周土层(35 cm)内埋塑料布,防止区间地表水分交流。共建3个风雨棚,用于3期播种。

供试品种为先玉335,为中熟品种,是当地播种面积最大的品种。采用正常、偏晚、晚播3个期播处理,即在3个温度层面上研究春旱对产量的影响。以当地适宜播种期为第1播期,播种期间隔7 d。每个播期设4个灌水处理和一个对照(雨养)。每次灌水量分别为少、偏少、中等和偏多,使0~20 cm深耕层土壤大致处于重旱、中旱、轻旱和不旱4种状态。每次最大灌水处理后土壤湿润深度不超过20 cm。每次灌水记录灌水量,用于核算土壤有效水量。水分控制期从播种前10 d开始至玉米达到7叶期结束,而后都改为雨养。共设15个小区,每小区灌溉面积8.4 m<sup>2</sup>(约为2.5×3.4 m),播种面积约6.5 m<sup>2</sup>。播种密度10~12株/m<sup>2</sup>,定苗后密度为每平米5~6株,与普通玉米田基本一致。

### 1.2 观测项目和数据处理

依照《农业气象观测规范》开展玉米生物要素观测和相关气象土壤要素观测。与本文有关的观测项目有:玉米发育期、出苗率、单产及产量结构;播种至出苗期间土壤湿度、气温、雨量和灌水量。用土钻法测定0~10 cm和0~20 cm深土壤湿度。播种前测定一次灌溉前的土壤湿度,而后平均每周两次观测,2次重复。土壤容重、田间持水量、凋萎湿度等土壤参数用2010年统一测定的数据。试验期间的气温和降水量用气象站(距试验田20 m)观测数据代替。

统计播种至出苗期间的土壤湿度、降水量、灌水量、田间有效含水量等数据。用播种前土壤湿度折算同深度土壤有效水量。由于试验期间灌水和降水强度都不大,核算土壤有效水分时,径流、渗漏水可忽略不计,因此用播种前土壤有效水量、该时段降水量和灌水量之和作为某段时间耕层内土壤有效水量,其计算方法见文献[16]。

## 2 结果与分析

### 2.1 各处理间土壤水分、产量等观测要素的比较

#### 2.1.1 土壤湿度、土壤有效水量和气温

不同处理之间土壤湿度差异较大(图1(a))。播种出苗期间0~20 cm深平均土壤湿度,不旱、轻旱、中旱和重旱依次在21.5%、20.0%、16.7%和15%左右,部分时段中旱和重旱分别达到15%和13%左右。当年春季雨水偏多,对照的平均土壤湿度比不旱的还大,部分时段接近田间持水量,但仍然在种子发芽出苗适宜范围内。

处理间土壤湿度差异是由灌水量差异决定的。在播种出苗期间,不旱、轻旱、中旱和重旱小区累计灌水量依次为200,100,55和20 kg,分2~4次灌溉,一次灌水相当于一场小到中雨,灌水后土层湿润深度不超过20 cm。根据前期土壤湿度、累积灌水量和降水量(对照)折算播种至出苗期间土壤有效水量(用降水量表示,

图 1(b))。由于当年其间雨水多,早中晚播 3 个对照 0~20 cm 土壤有效水量依次为 76.6,58.3 和 45.0 mm,不早、轻旱、中旱和重旱的依次为 45,35,31 和 25 mm。

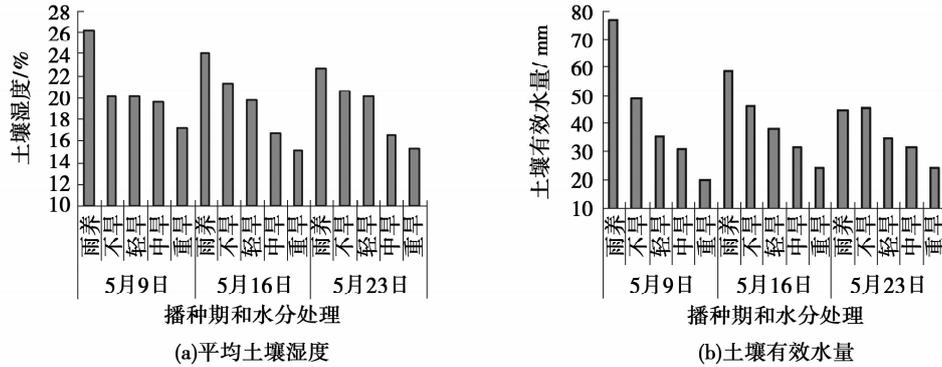


图 1 播种出苗期间各处理的平均土壤(0~20cm 深)湿度和有效水量

Fig. 1 Average moistures and effective water quantilies of soil within depth 0-20cm in each treatment during maize seeding and emerging stages

由于春季气温呈上升趋势,因此播种至出苗期间水分处理(含对照)的平均气温,早、中、晚播分温度差异较明显(图略),早、中、晚播种处理播种至出苗期间平均气温分别为 15.9,18.9 和 20.1℃。相同播种期不同水分处理之间,由于干旱处理的出苗晚,播种至出苗平均气温要稍大于对照和不旱处理的。

2.1.2 处理和对照的产量及穗重

处理之间玉米单产对比十分明显(图 2),3 个播种期比较,同一水分处理的早播和中播的产量接近,而晚播的产量明显偏低。不同水分处理间产量差异更大,中旱和重旱的产量分别比对照和不旱处理的低 40%~50%左右。不同处理间产量结构要素差异明显,其中平均穗重比较如图 2(c)。

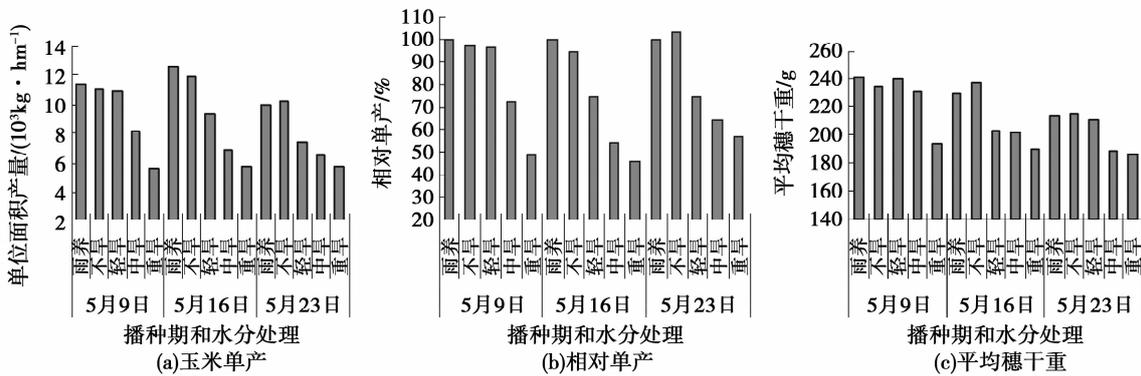


图 2 各处理的玉米单产、相对单产和平均穗干重

Fig. 2 Maize yield per unit area, relative yield and average dry spike weight in each treatment.

2.2 春旱对玉米产量的影响指标和模式

2.2.1 春季土壤水分胁迫与产量的关系

为了突出水分胁迫的影响,用相对产量(相对于对照)来分析。图 3 可以看出,各水分处理相对产量与相对土壤湿度的变化是基本一致的。播种出苗期间的 0~20 cm 土壤湿度 S(%) 和土壤有效水量 H(mm) 与相对产量 Y(%) 的关系都是很密切的二次函数关系(如图 4),其方程为:

Y = 24.805S - 0.473S<sup>2</sup> - 221.870 (1)

Y = 4.217H - 0.033H<sup>2</sup> - 29.616 (2)

相关指数的平方分别达到 0.81 和 0.85。在播种至出苗期间,0~20 cm 平均土壤湿度 22%~25%左右,或 0~20 cm 土壤有效水量在 50 mm 以上,产量最高,每 hm<sup>2</sup> 产量为 11 000 kg 左右;平均土壤湿度 20%左右,或土壤有效水量 45 mm 左右,产量较高,每 hm<sup>2</sup> 产量为 9 000 kg 左右;平均土壤湿度在 18%左右,或土壤有效水量 37mm 左右,减产 12%左右,每 hm<sup>2</sup> 产量为 8 900 kg 左右;耕层土壤湿度 17%左右,或土壤有效水

量 30 mm 左右,减产 22% 左右,每  $\text{hm}^2$  产量 7000 kg 左右;土壤湿度在 16% 左右,或土壤有效水量 25 mm 以下,将减产 30% 以上,每  $\text{hm}^2$  产量在 6 000 kg 以下。用 0 ~ 10 mm 深土壤湿度和有效含水量来分析,结果与 0 ~ 20 cm 的相似,只是适宜水分和干旱指标要低一点。相对土壤湿度与相对产量的关系也类似, 0 ~ 20 cm 深土壤相对湿度在 85% 以上产量最高;80% 左右产量较高;70% 左右产量偏低,属于轻旱;60% ~ 70% 为中度干旱,60% 以下为重旱,造成严重减产。

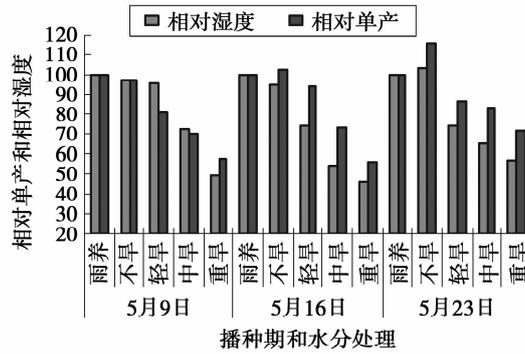


图 3 各处理的土壤相对湿度和相对玉米单产

Fig. 3 Soil relative humidity and relative maize yield per unit area in each treatment

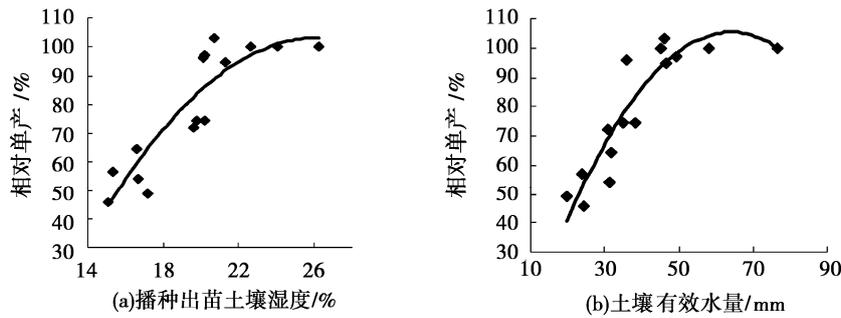


图 4 玉米相对单产与播种出苗期间土壤湿度和耕层有效水量的关系

Fig. 4 Relationship of relative yield per unit area of maize and soil moisture during seeding/emerging stage as well as effective water content in ploughed topsoil

当年 3 个播期播种前土壤湿度是 18% ~ 24% 左右,当时 0 ~ 20 cm 深土壤有效水分在 20 mm 左右,由此可以推算在播种至出苗期间田间补水量(降水量 + 灌水量)在 32 ~ 50 mm 之间产量最高,25 ~ 30 mm 为产量较高,补水量 20 ~ 25 mm、15 ~ 20 mm 和 15 mm 以下均为补水不足,导致不同程度减产。在田间持水量以下,土壤湿度每下降 1 个百分点,单产下降 7% 左右,耕层有效水量每减少 10 mm,单产下降 14% 左右。

试验数据和分析结果还表明,在 3 个温度水平上,土壤水分胁迫对产量的影响基本相同,说明本试验结果适用于东北地区玉米主产区南北不同区域。分析播种出苗期间温度与产量的关系,结果是相关不显著,证明在试验温度范围内(15.8 ~ 20℃)温度变化对产量没有显著影响。在播种至成熟整个生长季节积温基本满足的条件下,由于积温对产量的影响在时间上有互补作用,只要春季水分比较适宜,即使是春季温度偏低一些也是高产年。曹铁华等<sup>[14]</sup>、扈艳萍等<sup>[15]</sup>的研究也认为近十多年来东北地区春玉米产量与水分(特别是春季水分)正相关,而与温度或积温关系不大。

### 2.2.2 春旱减产的主要原因

春旱导致严重减产的原因主要是春旱明显降低出苗率和推迟出苗期,并明显影响出苗后的生长状况<sup>[16]</sup>。土壤水分严重不足导致玉米种子发芽出苗困难,出苗率下降,进而导致单位面积穗数减少。试验结果表明,不同水分处理出苗率差异很大,适宜水分条件下出苗率达到或接近 100%,而严重干旱情况下出苗率只有 65% 左右。出苗率与玉米单产的关系是线性的(图 5(a)),出苗率在 92% 以上单产最高,随着出苗率的下降,产量基本上等比例下降。春旱导致种子不能及时吸收水分,出苗期较适宜水分条件下推迟一周以

上。同时,出苗期推迟破坏了玉米中、后期生长发育的节律,导致玉米后期生长进程滞后一周左右,灌浆成熟期处于秋季降水少、气温较低的阶段,且晚播干旱处理的成熟前还遭受霜冻,从而使玉米穗小,百粒重降低。相对于对照的玉米出苗期推迟天数与相对产量的关系如图5(b),出苗期推迟1d,产量降低3%左右。而相对穗干重、相对百粒重与相对单产是众所周知的正比关系,本试验穗、粒重与产量的相关系数都达到0.9以上。

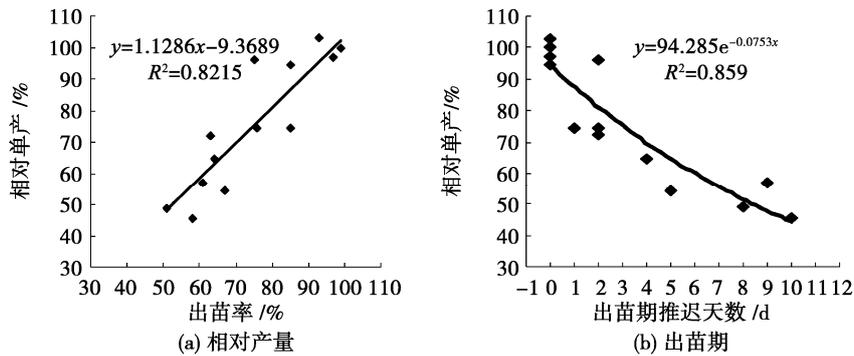


图5 玉米相对产量与出苗率和出苗期的关系

Fig.5 Relationship of relative yield of maize and emerging rate and emerging stage

### 3 初步结论和讨论

(1)玉米播种出苗期间土壤含水量与产量的关系为二次函数关系。在田间持水量以下,土壤湿度每下降1个百分点,单产下降7%左右,0~20 cm土壤累积有效水量每减少10 mm,单产下降14%左右。春旱使玉米出苗晚、保苗率低、果穗数和穗重低,从而造成严重减产。

(2)播种出苗期间0~20 cm深平均土壤湿度22%~25%(或相对湿度85%以上)玉米产量最高;土壤湿度18.5%~22%(或相对湿度80%左右)产量较高;土壤湿度17%~18.5%(或相对湿度70%左右)为轻旱,单产比适宜条件减少12%左右;湿度16%~17%(或相对湿度65%左右)为中旱,减产20%左右;湿度<16%(或相对湿度60%以下)为重旱,减产30%以上。其间0~20 cm深土壤有效水量50~70 mm产量最高;40~50 mm产量较高;35~40 mm产量偏低,为轻旱;25~35 mm为中旱,25 mm以下为重旱,导致严重减产。在播种前土壤不早的条件下,播种至出苗期间的降水量(或灌水量)在32~50 mm之间为适宜,产量最高;25~32 mm为较适宜,18~25 mm为轻旱,12~18 mm为中旱;少于12 mm为重旱。

(3)用4级水分胁迫和3个温度层面的田间试验数据建立的春玉米春旱减产定量指标和模式,可作为玉米春旱定量评估和预报的科学依据和基本方法,也为确定抗旱灌水量提供依据。

### 参考文献:

- [1] 刘庚山,郭安红,任三学. 夏玉米苗期有限水分胁迫及拔节期复水的补偿效应[J]. 生态学杂志,2004, 23(3):24-29.  
LIU Gengshan, GUO Anhong, REN Shanxue. Compensatory effects of re-watering on Summer maize threatened by water stress at seedling period [J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(3): 24-29. (in Chinese)
- [2] 赵先丽,张玉书,纪瑞鹏. 辽宁春玉米出苗期水分胁迫试验初探[J]. 气象与环境学报, 2010,26(4):35-39.  
Zhao Xuianli, ZHANG Yushu, JI luipeng. Preliminary discussion on water stress of spring maize during seedling in Liaoning province[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2010, 26(4): 35-39. (in Chinese)
- [3] 李素美,东先旺,陈建华. 不同土壤目标含水量对夏玉米生育性状和产量的影响[J]. 华北农学报,1999(3):55-59.  
LI Shumei, DONG Xianwang, CHEN Jianhua. Effects of different target soil water content on summer maize growth traits and yield[J]. Journal of North Agricultural Science, 1999(3): 55-59. (in Chinese)
- [4] 白向历,孙世贤,杨国航,等. 不同生育期水分胁迫对玉米产量的影响[J]. 玉米科学,2009, 17(2):60-64.  
BAI Xiangli, SUN Shixian, YANG Guohang, et al. Effects of water stress at different stages on maize yield [J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(2): 60-64. (in Chinese)
- [5] 覃永媛,时成俏,王伟伟. 干旱胁迫对不同栽培方式玉米生理和产量的影响[J]. 耕作与栽培,2009(3):26-27  
TAN Yongyuan, SHI Chengqiao, WANG Bingwei, et al. Effects of drought stress on corn physiological and yield for different cultivation patterns [J]. Journal of Tillage and Cultivation, 2009(3):26-27. (in Chinese)

- [6] 邵立威,张喜英,陈素英,等. 降水、灌溉和品种对玉米产量和水分利用率的影响[J]. 灌溉排水学报,2009, 28(1):50-53.  
SHAO Liwei, ZHANG Xiyng, CHEN Shuying, et al. Effects of precipitation, irrigation and variety on Yield and water use efficiency of maize [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2009, 28(1):50-53. (in Chinese)
- [7] 崔震海,马兴林,张立军,等. 苗期干旱对玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 玉米科学,2005, 13(2): 79-81.  
CHUI Zhenhai, MA Xinglin, ZHANG Lijun, et al. Effects of drought stress during seedling stage on Yield and water use efficiency of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2005, 13(2): 79-81. (in Chinese)
- [8] 陈军,戴俊英. 干旱对不同耐性玉米品种光合作用及产量的影响[J]. 作物学报, 1996,22(6):757-762.  
CHEN Jun, DAI Junying. Effects of drought on photosynthesis and yield for different maize varieties[J]. Journal of Crops, 1996,22(6):757-762. (in Chinese)
- [9] 孙景生,肖俊夫,张寄阳,等. 夏玉米产量与水分的关系及高效利用水灌溉制度[J]. 灌溉排水学报,1998. 17(3):19-23.  
SUN Jingsheng, XIAO Junfu, ZHANG Jiyang, et al. Relation of summer maize yield and water and irrigation system for efficient utilization of water [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 1998, 17(3):19-23. (in Chinese)
- [10] 王春乙,娄秀荣,王建林. 中国农业干旱对粮食产量的影响[J]. 自然灾害学报,2007,16(5):37-43.  
WANG Chunyi, LOU Xiuyong, WANG Jianlin. Effects of China agricultural drought on food yield[J]. Journal of Natural Disasters, 2007,16(5): 37-43. (in Chinese)
- [11] 马树庆,王琪,安刚. 东北区玉米带热量资源变化规律研究[J]. 资源科学,2000, 22(5):41-46.  
MA Shuqing, WANG Qi, AN Gang. Study on the variation laws of the thermal resources in maize-growing belt of Northeast China[J]. Resources Science, 2000, 22(5): 41-45. (in Chinese)
- [12] 王绍武,马树庆,陈莉,等. 低温冷害[M]. 北京:气象出版社, 2009:35-37.  
WANG Shaowu, MA Shuqing, CHEN Li, et al. Chilling Damage[M]. Beijing: Meteorological Press, 2009: 35-37. (in Chinese)
- [13] 马树庆. 2009年吉林省气象灾害及其对粮食生产的影响[J]. 吉林农业科学,2010,35(1):49-52.  
MA Shuqing. Agro-meteorological disasters in 2009 and their impact on food crop production in Jilin Province[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2010,35(1):49-52. (in Chinese)
- [14] 曹铁华,梁恒赫,刘亚军,等. 吉林省气候变化对玉米气象产量的影响[J]. 玉米科学,2010,18(2):120-124.  
CAO Tiehua, LANG Henghe, LIU Yajun, et al. Influence of climate change on meteorological yield of maize in Jilin Province[J]. Journal of Maize Sciences, 2010, 18(2): 142-145. (in Chinese)
- [15] 扈艳萍,曹建敏,刘敏. 辽宁省玉米产区气候因子与玉米产量的相关性研究[J]. 玉米科学,2008,16(3):140-146.  
HU Yianping, CHAO Jianmin, LIU Min. Correlation study of maize yield and climate factors in Liaoning Province[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(3): 140-146. (in Chinese)
- [16] 王琪,马树庆,徐丽萍,等. 东北地区春旱对春玉米幼苗长势的影响指标和模式[J]. 自然灾害学报,2011,20(5):141-147.  
WANG Qi, MA Shuqing, XU Liping, et al. Indices and modes of spring drought influence on maize seedling growth in Northeast China[J]. Journal of Natural Disasters, Disasters, 2011,20(5):141-147. (in Chinese)