

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2012.00315

## 不同年代玉米品种苗期耐旱性的比较分析

孙琦<sup>1,2</sup> 张世煌<sup>1</sup> 郝转芳<sup>1</sup> 张德贵<sup>1</sup> 慈晓科<sup>1</sup> 陈朝辉<sup>1</sup> 李新海<sup>1</sup>  
谢传晓<sup>1</sup> 翁建峰<sup>1</sup> 白丽<sup>1</sup> 李明顺<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; <sup>2</sup> 山东省农业科学院玉米研究所, 山东济南 250100

**摘要:** 我国北方地区时常发生春旱, 严重影响玉米生产。因此苗期耐旱性是玉米育种中需要考虑的一个重要性状。本试验选用 20 世纪 50 年代以来玉米品种 35 个, 包括 50 年代农家种 4 个, 60 年代双交种 4 个, 70 年代以后的单交种 27 个, 在旱棚内鉴定苗期耐旱性, 调查幼苗的生物量(鲜重和干重), 计算各品种的耐旱系数, 分析苗期耐旱系数随年代及年份变化的趋势, 并根据耐旱指数对 70 年代以来的 27 个单交种进行聚类。结果表明, 干旱处理对供试品种生物量的影响显著。我国玉米品种的苗期耐旱性 50 至 60 年代快速提高, 60 年代及 70 年代以后呈下降趋势, 70 年代以来的 27 个单交种可分为 3 类, 耐旱性强杂交种有鲁单 50、群单 105、农大 108、掖单 13、掖单 4 号、郑单 2 号, 耐旱性弱的杂交种有农大 3138、农大 60、沈单 16, 其余为中间类型。下一步育种工作的重点之一是在自交系选育中加大干旱压力, 为进而培育耐旱的杂交种奠定基础。

**关键词:** 玉米; 品种; 苗期耐旱性; 年代响应

## Comparative Analysis of Seedling Drought Tolerance of Different Era Maize Varieties

SUN Qi<sup>1,2</sup>, ZHANG Shi-Huang<sup>1</sup>, HAO Zhuan-Fang<sup>1</sup>, ZHANG De-Gui<sup>1</sup>, CI Xiao-Ke<sup>1</sup>, CHEN Zhao-Hui<sup>1</sup>, LI Xin-Hai<sup>1</sup>, XIE Chuan-Xiao<sup>1</sup>, WENG Jian-Feng<sup>1</sup>, BAI Li<sup>1</sup>, and LI Ming-Shun<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; <sup>2</sup> Maize Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China

**Abstract:** Spring drought often occurs in northern region, which affects the production of maize. So seedling drought tolerance is an important factor to account for in maize breeding. Thirty-five varieties included four OPVs (open pollinated varieties) (1950s), four double hybrids (1960s) and twenty-seven single hybrids (1970s–2000s). Seedling drought tolerance was evaluated in drought house. Biomass of seedling was investigated, including fresh weight and dry weight. Coefficient of seedling drought tolerance was calculated. The trend and response of the coefficient on era were analyzed. The hybrids were clustered based on the coefficient of seedling drought tolerance from 1970s. The result indicated that drought stress influenced biomass significantly. The seedling drought tolerance increased from 1950s to 1960s and declined from 1960s to 1970s and afterwards. The single hybrids after 1970s were clustered into three groups. Six hybrids were most tolerant to seedling drought including Ludan 50, Nongda 108, Qundan 105, Yedan 13, Yedan 4, and Zhengdan 2. Nongda 60, Nongda 3138, and Shendan 16 had the worst tolerance. Therefore, the next task of maize breeding is to strengthen drought stress pressure in selecting inbred lines, which will establish a foundation for breeding the hybrids tolerant to drought.

**Keywords:** Maize; Varieties; Seedling drought tolerance; Response of era

近年来全球性气候变化引发的干旱周期越来越短, 程度越来越重, 对粮食生产构成严重的威胁。我

国是水资源十分短缺的国家之一, 粮食生产遭受干旱的严重影响。据统计, 全国平均每年因干旱直接

本研究由国家现代农业产业技术体系专项资金(CARS-02-01)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(20102)资助。

\* 通讯作者(Corresponding author): 李明顺, E-mail: mshunli@yahoo.com.cn, Tel: 010-82108747

第一作者联系方式: E-mail: sunqi7804@tom.com, Tel: 010-82108560

Received(收稿日期): 2011-06-01; Accepted(接受日期): 2011-10-12; Published online(网络出版日期): 2011-12-01.

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20111201.0921.005.html>

减少粮食 1 237 万吨, 约占各种自然灾害造成粮食损失的 60%<sup>[1]</sup>。干旱是限制我国玉米生产的第一因素<sup>[2]</sup>。我国北方大部分地区时常发生春旱, 影响玉米苗期的正常生长, 给玉米生产带来巨大损失<sup>[3]</sup>。

通过作物育种进行耐旱性改良是解决干旱问题经济而有效的途径之一。CIMMYT (国际玉米小麦改良中心) 是较早开展玉米耐旱性遗传改良的研究单位, Johnson 在 1975 年就以全同胞轮回选择法对后来被命名的 Tuxpeno 进行较早的耐旱性遗传改良尝试, 至今 CIMMYT 已通过耐旱性遗传改良方法获得了相当多的耐旱群体发放到许多发展中国家, 如 p00126、La Posta Sequia 等耐旱群体<sup>[1]</sup>。但是我国玉米耐旱性育种研究尚处于起步阶段, 仅限于对生产上应用的玉米种质资源及品种的耐旱性进行比较鉴定。张仁和等<sup>[4]</sup>对西北地区的玉米品种进行耐旱性鉴定, 筛选出陕单 9 号、郑单 958、中单 2 号为耐旱品种。谭静等<sup>[5]</sup>对云南地区的玉米品种进行耐旱鉴定, 筛选了一批在干旱与正常环境下产量均高的优良品种。杨国航等<sup>[6]</sup>对于 2007 年参加北京耐旱区试的品种进行耐旱性筛选, 筛选出先玉 335、郑单 958 等优良

耐旱品种。周树峰等<sup>[7]</sup>对四川地区 57 份常用自交系进行耐旱性鉴定。以上这些研究结果给玉米育种者提供了重要的信息, 为以后的耐旱育种打下基础。

但是以上研究首先只是对成株期的耐旱性鉴定, 苗期的耐旱性鉴定做的却很少。其次, 只对目前常用的种质资源和品种进行耐旱性鉴定, 对大批量品种耐旱性鉴定还未见报道。但是纵观育种 50 年, 我国的玉米育种者在实际的育种工作中是否把苗期耐旱性作为重点考虑的一个性状, 现在的玉米品种耐旱性是否较以前的品种有所提高, 还需要对以往的玉米品种进行分析, 评价苗期耐旱性的变化趋势。针对以上这些问题, 本试验选取 50 年代以来生产上大面积推广的农家种、双交种及杂交种共 35 个, 分析不同年代玉米品种苗期耐旱性的演变规律, 为今后育种目标的完善提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

选用 1950 年代的农家种 4 个, 1960 年代的双交种 4 个, 1970 年代以来的单交种 27 个, 见表 1。

表 1 试验材料  
Table 1 Materials

年代 Era	品种 Variety
1950s	金皇后, 小粒红, 白马牙, 英粒子 Jinhuanghou, Xiaolihong, Baimaya, Yinglizi
1960s	维尔 156, 四双 1 号, US13, HD409 Weier 156, Sishuang 1, US13, HD409
1970s	新单 1 号, 吉单 101, 群单 105, 郑单 2 号, 中单 2 号 Xindan 1, Jidan 101, Qundan 105, Zhengdan 2, Zhongdan 2
1980s	黄 417, 丹玉 13, 掖单 4 号, 掖单 2 号, 沈单 7 号, 铁单 4 号, 农大 60 Huang 417, Danyu 13, Yedan 4, Yedan 2, Shendan 7, Tiedan 4, Nongda 60
1990s	本玉 9 号, 吉单 180, 掖单 13, 四单 19, 豫单 18, 吉单 159, 掖单 19, 农大 3138, 农大 108, 鲁单 50 Benyu 9, Jidan 180, Yedan 13, Sidan 19, Yudan 18, Jidan 159, Yedan 19, Nongda 3138, Nongda 108, Ludan 50
2000s	郑单 958, 沈单 16, 鲁单 981, 登海 9 号, 先玉 335 Zhengdan 958, Shendan 16, Ludan 981, Denghai 9, Xianyu 335

### 1.2 试验方法

试验在旱棚内进行, 完全随机区组设计, 6 次重复。在 57 cm × 39 cm × 12 cm 的塑料箱中铺 8 cm 底土, 灌 3.0 L 水, 每箱播 12 个材料, 每材料播种 15 粒, 覆土 3 cm。出苗后每个材料留 10 株, 每 3 d 浇水 1 次, 保证幼苗正常生长。在三叶期, 3 个重复停止浇水, 进行干旱胁迫处理, 另 3 个重复正常供水作为对照。待土壤含水量达 15% 以下进行复水, 连续两次干旱处理。第 2 次复水达 12 h 后, 取幼苗地上部分, 称鲜重, 105℃烘箱中杀青 0.5~1.0 h, 然后 72℃烘至恒重, 称干重<sup>[8]</sup>。

### 1.3 数据分析

用 SAS 8.0 Version 进行方差分析和杂交种的聚类分析。回归分析用 Microsoft Excel 2003 软件作图。耐旱系数 = 干旱处理的生物量/非干旱处理的生物量, 其中的生物量是指每个品种 3 个重复的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 各年代品种生物量的方差分析

由于 1950 年代是农家种, 1960 年代是双交种, 1970 到 2000 年代均为单交种。因此在作方差分析时将品种类型作为 1 个因素进行分析。对各年代鲜

重和干重的均值进行联合方差分析。去除品种类型, 差异指的是 1970 到 2000 年代间差异。由表 2 可以看出, 干旱处理与对照之间鲜重的差异达极显著水平 ( $P<0.0001$ ), 品种类型间的差异达极显著水平 ( $P=0.0003$ )。年代间的差异不显著 ( $P=0.3298$ )。年代与处理间互作不显著 ( $P=0.4849$ ), 品种类型与处理间互作不显著 ( $P=0.9898$ )。这说明 1950 到 1970 年代间鲜重的差异极显著, 1970 到 2000 年代间的鲜重差

异不显著。

由表 3 可以看出, 处理间干重的差异达极显著水平 ( $P<0.0001$ ), 品种类型间的差异达极显著水平 ( $P<0.0001$ ), 年代间干重差异不显著 ( $P=0.0951$ ), 年代与处理间的互作不显著 ( $P=0.6824$ ), 品种类型与处理间互作不显著 ( $P=0.2151$ )。这说明 1950 到 1970 年代间鲜重的差异极显著, 1970 到 2000 年代间的鲜重差异不显著。

表 2 鲜重的联合方差分析  
Table 2 Analysis on associated ANOVA of fruit weight

变异来源 Source	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F-value	概率 Pr > F
处理 Treatment	1	4820.44	1607.85	<0.0001
品种类型 Type	2	36.77	12.26	0.0003
年代 Era	5	3.62	1.21	0.3298
重复 Replication	2	15.72	5.24	0.0137
年代×处理 Era×treatment	5	2.53	0.84	0.4849
品种类型×处理 Type×treatment	2	0.03	0.01	0.9898
误差 Error	22	3.00		

表 3 干重的联合方差分析  
Table 3 Analysis on associated ANOVA of dry weight

变异来源 Source	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F-value	概率 Pr > F
处理 Treatment	1	45.66	886.82	<0.0001
品种类型 Type	2	1.14	22.23	<0.0001
年代 Era	5	0.12	2.40	0.0951
重复 Replication	2	0.59	11.38	0.0004
年代×处理 Era×treatment	5	0.03	0.51	0.6824
品种类型×处理 Type×treatment	2	0.08	1.65	0.2151
误差 Error	22	0.05		

由此看出, 干旱处理对鲜重与干重的影响都较大, 1950 到 1970 年代间鲜重与干重的差异显著, 但是 1970 到 2000 年代间鲜重与干重的差异不显著。年代与处理间互作不显著。

2.2 不同年代品种的苗期耐旱系数变化趋势

通过计算幼苗生物量的耐旱系数比较各年代品种的耐旱性。从图 1 可以看出, 不管是鲜重还是干重计算出的耐旱指数, 大体趋势是相同的, 即 20 世纪 50 年代到 60 年代玉米品种的苗期耐旱性得到很大的提高, 这表明双交种的出现提高了玉米的苗期耐旱性。但是 60 年代以后玉米杂交种的耐旱性呈缓慢下降趋势。从图 2 可以看出, 干重苗期耐旱系数对年代的响应  $b$  为 $-0.0001$ , 鲜重苗期耐旱系数对年代的响应  $b$  为 $-0.001$ , 说明苗期耐旱系数对年代的

响应呈负值, 且响应值很小。即各年代品种苗期耐旱系数随年代变化呈下降趋势, 且变化平缓。

我国的学者曾对不同年代的产量及其他农艺性

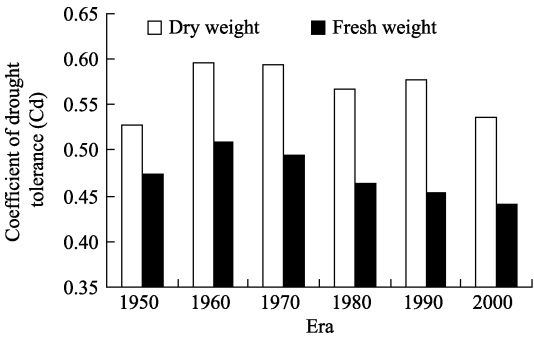


图 1 不同年代品种苗期耐旱系数的变化趋势  
Fig. 1 Trend on the coefficient of the seedling drought tolerance in different era varieties

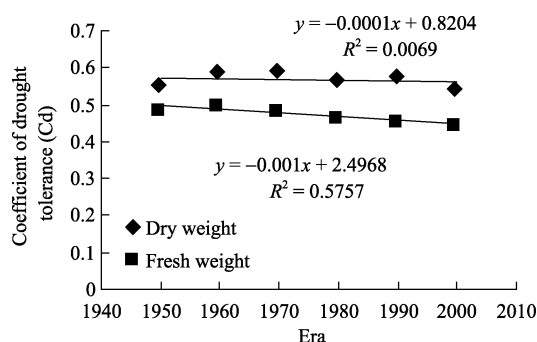


图 2 各年代品种苗期耐旱系数对年代的回归

Fig. 2 Regression of the coefficient of seedling drought tolerance on the era

状的演变趋势研究发现,随着年代的更替,玉米产量迅速提高,农艺性状也得到很大的改善<sup>[9-11]</sup>。品种的抗逆性也逐渐提高<sup>[12-14]</sup>。但是本试验对苗期耐旱性的研究却到了相反的结果,由此可以看出苗期耐

旱性是被育种家忽视的重要性状,以后的育种工作中应当加强这一性状的选择。

### 2.3 20 世纪 70 年代以后各杂交种的耐旱性对年份的响应

进入 20 世纪 70 年代以后,玉米单交种的出现使玉米产量大大提高,玉米育种水平进入一个新的转折点,新老杂交种的更替速度也越来越快。在研究不同年代品种苗期耐旱性与年代响应的基础上,又进一步研究了 70 年代以后的各个单交种的苗期耐旱性。用鲜重与干重耐旱指数对 70 年代以来的杂交种进行聚类分析,从图 3 可以看出 70 年代以来的杂交种可以分为 3 类,耐旱性强杂交种鲁单 50、群单 105、农大 108、掖单 13、掖单 4 号、郑单 2 号;耐旱性弱的杂交种农大 3138、农大 60、沈单 16;其余为中间类型。

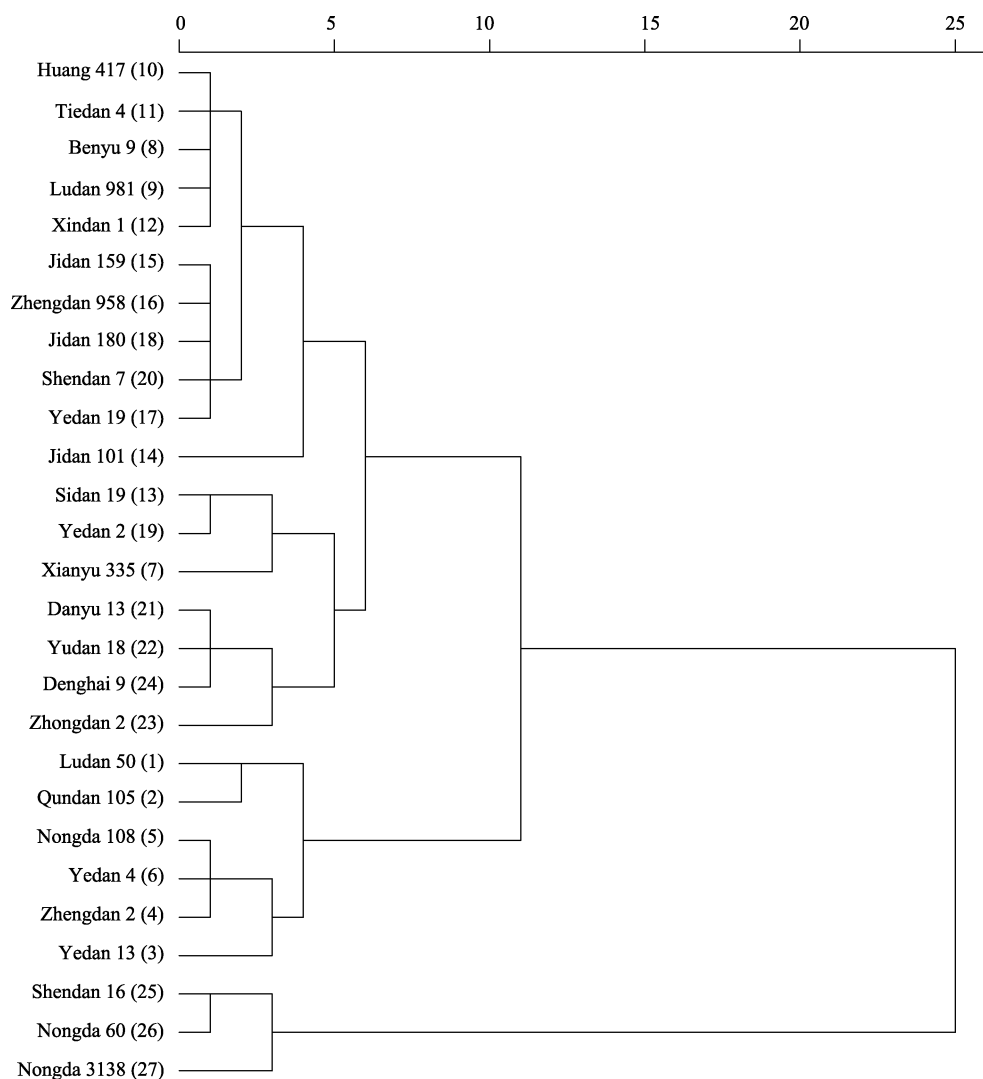


图 3 用鲜重与干重耐旱指数对 70 年代以来的单交种进行聚类分析

Fig. 3 Dendrogram of single hybrids from 1970s based on fresh weight and dry weight coefficient of seedling drought tolerance

由图4和图5可以看出, 70年代以后杂交种的苗期耐旱性呈明显下降趋势, 鲜重耐旱系数对年份的响应为 $-0.0021$ , 干重耐旱系数对年份的响应为 $-0.0014$ 。可以得出, 70年代以后单交种的出现虽然使玉米产量得到快速提高, 但是苗期耐旱性却呈下降趋势, 这与上述结果一致。

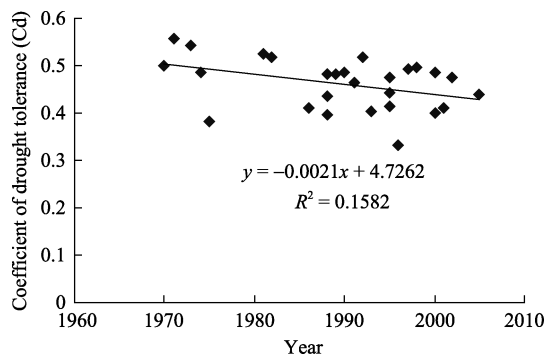


图4 鲜重耐旱系数对年份的回归

Fig. 4 Regression of the fresh weight coefficient of seedling drought tolerance on the era

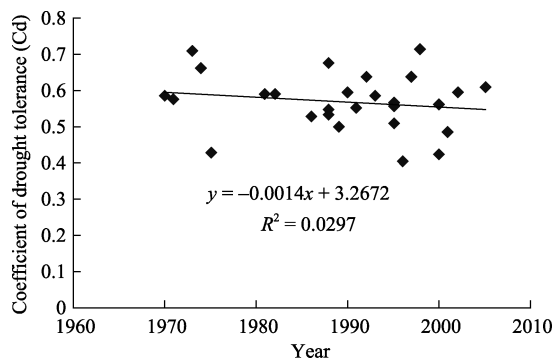


图5 干重耐旱系数对年份的回归

Fig. 5 Regression of the dry weight coefficient of seedling drought tolerance on the era

### 3 讨论

#### 3.1 不同年代品种耐旱系数的变化趋势

我国是受旱灾影响比较严重的国家, 尤其是1997年以来, 北方地区春旱相当严重, 例如东北地区曾发生6年的连续春旱<sup>[3]</sup>。春旱的发生恰恰影响了玉米的出苗与苗期的正常生长, 严重影响了玉米产量。因此提高玉米品种的耐旱性, 尤其是苗期耐旱性是玉米育种亟须解决的一个重要问题。国外的育种家早已把品种对干旱等逆境的抗性作为育种目标的一个重要方面。Derieux等<sup>[15]</sup>比较了1950—1982年间法国33个杂交种(按熟期分为3组)表明, 现代杂交种对低温、干旱等逆境的适应能力较强。用每个年代杂交种的平均产量对每个试验点的平均产量

回归分析发现, 在所有的试验点, 杂交种年代越近, 产量越高。Barker等<sup>[16]</sup>比较了1953—2001年间按时序排列的18个适应Iowa州中部的商业杂交种, 种植在降雨量极少的智利, 设置充分灌溉、开花期干旱、灌浆期干旱3种灌溉条件, 结果表明在这3种不同的水分处理下, 杂交种的籽粒产量均呈直线上升趋势。Duvick等<sup>[17-18]</sup>总结了几项研究表明, 近代培育的美国玉米杂交种耐旱性远远高于早期品种, 并指出随着年代的延伸, 玉米产量的提高主要与抗逆性有关<sup>[19]</sup>。但是本试验发现, 60年代杂交种的出现大大提高了玉米的苗期耐旱性, 但是70年代以后, 随着玉米品种更新, 苗期耐旱性却呈逐渐下降的趋势。我国玉米品种的苗期耐旱性随年代更替呈缓慢下降的趋势。这给玉米育种者敲响警钟, 我国这些年的育种工作过分追求高产, 没有把耐旱性作为品种选育的重要方面。毋庸置疑, 下一步的育种工作需要将提高苗期耐旱性作为我国玉米育种目标的一个重要方面。

#### 3.2 品种间耐旱性差异的原因

玉米品种间的耐旱性差异比较大, 从图3可知耐旱性较强的杂交种是群单105、鲁单50、农大108、掖单13、掖单4号与郑单2号。不耐旱的杂交种有农大3138、农大60、沈单16。要分析杂交种耐旱性差异的主要原因还是从亲本自交系的耐旱性开始。武斌等<sup>[20]</sup>对53份常用自交系的苗期耐旱性进行分析, 将其分成两类, 一类是耐旱自交系, 包括齐319、鲁原92与X178(鲁单50、农大108的亲本); 一类是不耐旱自交系包括P138、沈5003、综31、K12(农大3138、农大60、沈单16的亲本)。刘贤德等<sup>[21]</sup>研究发现X178为耐旱自交系, 综31为不耐旱自交系。

由以上可以得出, 品种间耐旱性差异的原因是由其亲本自交系耐旱性不同造成的。因此要选育耐旱性强的品种, 首先要选育耐旱的自交系。只有亲本自交系的耐旱性提高了, 杂交种的耐旱性才会提高。要选育耐旱的自交系, 需要在选系过程中通过控制灌水来加大干旱的压力。其次, 最好双亲都是耐旱的自交系, 培育出来的后代耐旱性才会强。最后在杂交种的区域试验中, 应当设置干旱处理, 才能有效选择真正耐旱的品种。

#### 3.3 玉米苗期耐旱鉴定的指标选择

目前关于玉米苗期耐旱性的研究, 鉴定指标的选择一直是我国学者争论的热点。鉴定指标主要包

括形态指标和生理生化指标。生理生化指标包括叶片保水力、相对电导率、水势、脯氨酸含量等。形态学指标包括胚芽鞘长度, 根的发达程度, 根冠比, 生物学产量等。国内外许多学者曾尝试测定离体叶片在室内干热条件下的保水力、相对电导率、水势、脯氨酸含量等生理生化指标, 或者将这些指标与非干旱条件下的测定值相比较转换为耐旱系数, 用以鉴定玉米苗期耐旱性<sup>[22-24]</sup>。但是, 因为不同的品种可能具有不同的耐旱机制, 所以这些指标与耐旱性的相关程度有限。而且众多生理生化指标的测定, 在育种实际工作中常常难以实现<sup>[25-26]</sup>。在实际育种中, 鉴定苗期耐旱性, 材料多, 工作量大, 过于繁杂的指标不适合应用。相比较来说, 形态学指标简单易行, 适合在育种工作中应用。付凤玲等<sup>[27]</sup>和李晚忱等<sup>[28]</sup>对胚芽鞘长度、出苗率、根重、生物学产量、脯氨酸含量、电导率和叶片保水力的耐旱系数进行多元线性回归分析, 发现出苗率和生物学产量耐旱系数及其乘积, 是苗期耐旱性的可靠指标, 可据此做多元回归分析估计苗期耐旱性。用出苗率和生物学产量计算的耐旱系数作为苗期耐旱的鉴定指标, 不但结果可靠, 而且容易操作, 适于生产应用。由于本试验是出苗以后进行干旱处理, 出苗率没有差异, 因而本试验采用了生物学产量的耐旱系数作为鉴定指标。

苗期耐旱性不能完全代表品种的耐旱性水平, 要全面了解不同年代品种耐旱性的演变规律, 还需要对成株期, 即开花授粉期和灌浆期的耐旱性进行全面的研究, 以期对我国玉米品种耐旱性的变化趋势得出一个完整的结论。

#### 4 结论

我国玉米品种的苗期耐旱性随年代的变化趋势缓慢下降, 其中 20 世纪 50 到 60 年代快速提高, 60 年代以后呈下降趋势。70 年代以来的 27 个单交种可分为 3 类, 耐旱性强杂交种为鲁单 50、群单 105、农大 108、掖单 13、掖单 4 号、郑单 2 号; 耐旱性弱的杂交种为农大 3138、农大 60、沈单 16; 其余为中间类型。70 年代以来的单交种苗期耐旱性随年份变化也呈下降趋势。下一步育种工作的重点之一就是在自交系选育中加大干旱的压力, 为进而培育耐旱的杂交种奠定基础。

#### References

- [1] Wang T-Q(王同芹), Kong X-B(孔祥斌), Bai X-H(白星焕), Guo Y-Q(郭永清), Xu Y-J(徐砚军). Advance in breeding for drought

resistance (tolerance) in maize. *Mod Agric Technol* (现代农业科技), 2008, 17: 203-205 (in Chinese)

- [2] Hu R-F(胡瑞法), Erika C H, Zhang S-H(张世煌), Shi X-H(石晓华). Prioritization for maize research and development in China. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2004, 37(6): 781-787 (in Chinese with English abstract)
- [3] Li Y(黎裕), Wang T-Y(王天宇), Liu C(刘成), Shi Y-S(石云素), Song Y-C(宋艳春). Analysis on criteria for screening drought tolerant maize hybrids. *J Plant Genet Resour* (植物遗传资源学报), 2004, 5(3): 210-215 (in Chinese with English abstract)
- [4] Zhang R-H(张仁和), Ma G-S(马国胜), Bu L-D(卜令铎), Shi J-T(史俊通), Xue J-Q(薛吉全). Appraise and comprehensive evaluation of different genotype of maize cultivars for drought resistance. *Seed* (种子), 2009, 28(10): 91-94 (in Chinese)
- [5] Tan J(谭静), Huang B-H(黄必华), Chen H-M(陈红梅), Xiao W-H(肖卫华), Han X-L(韩学莉), Yao W-H(姚文华), Fan X-M(番兴明). Screening of maize hybrids and identifying of selecting indicator for drought tolerance. *J Yunnan Agric Univ* (云南农业大学学报), 2010, 25(2): 189-194 (in Chinese with English abstract)
- [6] Yang G-H(杨国航), Bai Q-Y(白琼岩), Zhang C-Y(张春原), Zhang X-Y(张雪原), Liu C-G(刘春阁), Zhao J-R(赵久然). Evaluation on screening maize hybrids for drought tolerance. *Seed* (种子), 2009, 28(9): 86-88 (in Chinese)
- [7] Zhou S-F(周树峰), Li W-C(李晚忱), Fu F-L(付凤玲), Rong T-Z(荣廷昭). Drought tolerance identification of 57 popularized maize inbred lines. *Agric Res Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2002, 20(2): 127-130 (in Chinese)
- [8] Yang Z-G(杨子光), Zhang C-J(张灿军), Ji T-H(冀天会), Guo J-W(郭军伟), Meng L-M(孟丽梅), Zhang K(张珂). Study on resistance drought identify method and evaluation index of wheat: V. the comparative study on resistance drought index of wheat in seedling. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), 2008, 24(1): 156-159 (in Chinese with English abstract)
- [9] Shi X-H(史新海), Li K-J(李可敬), Sun W-S(孙为森), Zhao Y-X(赵尧先), Wang J-J(王金皎), Li Y(李勇). Studies on development of law for main agronomic characters of maize hybrid in different eras in Shandong province. *J Maize Sci* (玉米科学), 2000, 8(2): 33-35 (in Chinese with English abstract)
- [10] Zhou Y-Z(周玉芝), Duan H-J(段会军), Ji X-Z(姬惜珠), Cui Y-H(崔彦宏), Zhou J-B(周进宝), Dong X-L(董晓亮). Study on the development of rule of summer-planting maize varieties in Hebei province. *J Agric Univ Hebei* (河北农业大学学报), 2005, 28(2): 1-4 (in Chinese with English abstract)
- [11] Dong S-T(董树亭). Eco-physiology and Formation of Yield and

- Quality in Maize (玉米生态生理与产量品质形成). Beijing: Higher Education Press, 2006. pp 168–225 (in Chinese)
- [12] Xie Z-J(谢振江), Li M-S(李明顺), Li X-H(李新海), Zhang S-H(张世煌). Study on relativity between yields and agronomic traits of major maize hybrids under different density. *J Maize Sci* (玉米科学), 2007, 15(4): 100–104 (in Chinese with English abstract)
- [13] Xie Z-J(谢振江), Li M-S(李明顺), Xu J-S(徐家顺), Zhang S-H(张世煌). Contributions of genetic improvement to yields of maize hybrids during different eras in the north of China. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2009, 42(3): 781–789 (in Chinese with English abstract)
- [14] Ci X K, Li M S, Liang X L, Xie Z J, Zhang D G, Li X H, Lu Z Y, Ru G L, Bai L, Xie C X, Hao Z F, Zhang S H. Genetic yield gain for hybrids released during 1970s–2000s in China. *Crop Sci*, 2011, 51: 13–20
- [15] Derieux M, Darrigrand M, Gallais A, Barriere Y, Bloc D, Montalant Y. Estimation du progrès génétique réalisé chez le maïs grain en France entre 1950 et 1985. *Agronomie*, 1987, 7: 1–11 (in French with English abstract)
- [16] Barker T, Campos H, Cooper M, Dolan D, Edmeades G, Habben J, Schussler J, Wright D, Zinselmeier C. Improving drought tolerance in maize. *Plant Breed Rev*, 2005, 25: 173–253
- [17] Duvick D N, Smith J S C, Cooper M. Changes in Performance, Parentage, and Genetic Diversity of Successful Corn Hybrids, from 1930 to 2000. New York: Corn: Origin, History, Technology and Production Press, 2004. pp 65–97
- [18] Duvick D N, Smith J S C, Cooper M. Long-Term Selection in a Commercial Hybrid Maize Breeding Program. New York: Plant Breeding Reviews Press, 2004. pp 109–151
- [19] Duvick D N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Adv Agron*, 2005, 86: 83–145
- [20] Wu B(武斌), Li X-H(李新海), Xiao M-J(肖木辑), Xie C-X(谢传晓), Hao Z-F(郝转芳), Li M-S(李明顺), Zhang S-H(张世煌). Genetic variation in fifty-three maize inbred lines in relation to drought tolerance at seedling stage. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2007, 40(4): 665–676 (in Chinese with English abstract)
- [21] Liu X-D(刘贤德), Li X-H(李晓辉), Li W-H(李文华), Li X-H(李新海), Li M-S(李明顺). Analysis on difference of drought tolerance of maize inbred lines at seedling stage. *J Maize Sci* (玉米科学), 2004, 12(3): 63–65 (in Chinese with English abstract)
- [22] Martiniello P. Responses of different genotypes to drought tolerance identification in maize. *Maydica*, 1985, 30: 361
- [23] Pei Y-J(裴英杰), Zheng J-L(郑家玲), Yu H(庾红). Indexes of physiology and biochemistry used for appraisal and level determination of drought resistance in maize. *Acta Agric Boreali-Sin* (华北农学报) 1992, 7(1): 31–35 (in Chinese with English abstract)
- [24] Hou J-H(侯建华), Lü F-S(吕凤山). Study on drought resistance identification of maize seedlings. *Acta Agric Boreali-Sin* (华北农学报), 1995, 10(3): 89–93 (in Chinese with English abstract)
- [25] Xi Z-Y(席章营). Analysis of utilizing value of physiological and biochemical indexes of maize drought resistance identification. *J Henan Agric Univ* (河南农业大学学报), 2000, 34(1): 7–12 (in Chinese with English abstract)
- [26] Zhu Y-B(朱永波), Zhang R-H(张仁和), Bu L-D(卜令铎), Han M-M(韩苗苗), Xue J-Q(薛吉全). Physiology and biochemistry indexes for drought resistance in seedling stages of maize. *Southwest China J Agric Sci* (西南农业学报), 2008, 17(3): 143–146 (in Chinese with English abstract)
- [27] Fu F-L(付凤玲), Zhou S-F(周树峰), Pan G-T(潘光堂), Yang W-S(杨婉身), Rong T-Z(荣廷昭). Multiple regression analysis of drought tolerance coefficients in maize. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2009, 29(3): 468–472 (in Chinese with English abstract)
- [28] Li W-C(李晚忱), Fu F-L(付凤玲), Yuan Z-Q(袁佐清). A study on drought tolerance identification of maize seedlings. *Southwest China J Agric Sci* (西南农业学报), 2001, 14(3): 29–32 (in Chinese with English abstract)