

玉米自交系苗期耐旱性鉴定

郭晋杰, 陈景堂* (河北农业大学农学院/国家玉米改良中心河北分中心/河北省作物种质资源实验室, 河北保定 071000)

摘要 [目的]对玉米自交系苗期耐旱性进行鉴定。[方法]利用浓度为15%的聚乙二醇高渗溶液浇灌模拟干旱胁迫环境。以43份玉米骨干自交系为试验材料,测定了9个与根系有关的形态学指标,通过差异显著性分析,进行了不同玉米自交系苗期耐旱性的鉴定。[结果]以鲜重根冠比、根系鲜重和根系干重这3项作为玉米苗期耐旱性鉴定指标,并利用耐旱系数将参试材料分成不同的耐旱等级,在3种鉴定指标下抗旱级别完全一致的材料有8份,其中丹599为极强抗旱类型,陕89为强抗旱类型,B97、DF32、A679和丹9046为中度抗旱类型,D20和苏75为极弱抗旱类型。[结论]该试验为苗期玉米耐旱种质筛选和改良提供了有效指导和借鉴。

关键词 玉米;苗期;耐旱性;水分胁迫;鉴定指标

中图分类号 S513 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)35-0032-03

Evaluation for Seedling Drought Resistance of Different Maize Inbred Lines

GUO Jin-jie, CHEN Jing-tang* (College of Agronomy, Hebei Agricultural University/ Hebei Sub-center of National Maize Improvement Center/ Key Laboratory for Crop Germplasm Resources of Hebei, Baoding, Hebei 071000)

Abstract [Objective] To evaluate the seedling drought resistance of different maize inbred lines. [Method] 15% polyethylene glycol was used to simulate drought stress conditions. With 43 backbone inbred lines of corn as the test materials, 9 morphological indicators related to the root system were measured. According to the analysis of the difference of significance, seedling drought resistance of different inbred lines of maize was evaluated. [Result] With the fresh weight root-top ratio, root fresh weight and root dry weight as the indicators for maize seedling drought resistance identification, the selected materials were divided into different drought grades by using the coefficient of drought resistance. Under the three kinds of appraisal indicators, drought levels of 8 maize inbred lines were fully consistent. Among them, Dan 599 was quite strong drought resistance type and Shan 89 was strong drought resistance type; B97, DF32, A679 and Dan 9046 were moderate drought resistance type, Sue 75 and D20 were quite weak drought resistance type. [Conclusion] This research provided beneficial guidance and reference for seedling drought-tolerant maize germplasm screening and improvement.

Key words Maize; Seedling stage; Drought tolerance; Water stress; Estimation indicators

干旱是我国玉米(*Zea mays* L.)生产的主要限制因素之一。华北平原是我国玉米主产区,由于受大陆性季风气候的影响,水资源短缺且分布不均,近半个世纪干旱频繁发生^[1]。玉米是一个需水较多的作物,且在生长发育过程中对水分胁迫比较敏感^[2]。因此,干旱对玉米造成的影响不容小视。大量研究表明,根系形态特征决定了植物获取土壤养分、水分的能力^[3-7],根系在植物感受环境变化、响应多种非生物胁迫时起着非常重要的作用。因此根系与作物抗旱性的形成有着密切的联系^[8]。当土壤干旱时,根系首先感应并迅速发出信号,使整个植株对干旱胁迫做出反应,同时根系形态结构也发生相应变化^[9]。裴英杰等^[10]指出用幼苗耐旱性鉴定结果可以评价玉米品种的耐旱性。多年的生产实践表明,种植耐旱品种是抵御干旱的有效途径,而发掘耐旱种质则是选育优良品种的前提。

在玉米苗期耐旱研究中,采用PEG-6000模拟干旱的方法不但避免了田间鉴定周期长、花费人力物力较多的缺点,而且PEG-6000对植物无毒害,并能保持稳定的渗透压,是十分有效、可行的方法^[11]。该试验选用43份抗旱能力不同的玉米自交系材料,以PEG-6000模拟干旱环境,分析干旱对玉米苗期根系形态特性的影响,通过对不同耐旱性玉米自交系的对比研究,探讨耐旱玉米自交系根系在干旱条件下的

耐旱特征,试图选择出与耐旱性有关的形态学鉴定指标,并对自交系的耐旱性作出简要评价,为玉米耐旱育种实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 植物材料 选用的43份玉米自交系名单及系谱来源见表1,均由河北农业大学国家玉米改良中心河北分中心提供。

1.2 培养方法 种植方式为砂培。试验在国家玉米改良中心河北分中心光照培养室内进行。共设2个处理:无水分胁迫的对照组和用浓度为15%的聚乙二醇(PEG-6000)模拟干旱胁迫的处理组。每个自交系分别选取20粒籽粒饱满、均匀一致的种子,经浸种催芽处理后,单粒播种在装有石英砂的塑料盆中,每盆播种5粒,待植株生长到2叶期时定苗,每盆保留生长整齐一致的幼苗3株。该试验共设2个重复,采用完全随机区组设计。起初每盆每天均浇Hoagland营养液30 mL,培养至3叶1心后,对照组继续浇Hoagland营养液,处理组浇加入PEG-6000的营养液,其中PEG-6000的浓度为15%,均为每盆每天浇30 mL。实验室内光暗周期为14/10 h,昼夜温度为27/20℃,空气相对湿度(RH)为60%~70%。待干旱处理15 d后取样。将根系用流水小心冲洗干净,进行性状测定。

1.3 指标测定 该试验主要研究玉米苗期根系形态性状与耐旱性的关系,因此选取了总根数、根系鲜重、根系干重、鲜重根冠比、干重根冠比、总根长、总根表面积、平均根系直径以及总根体积等9个形态学指标来进行测定。每个自交系处理组和对照组的2个重复均取3株。

基金项目 河北省高等学校科学技术研究重点项目;国家重点研发计划(2016YFD0101204-3);河北省现代农业技术体系玉米创新团队项目(HBCT2013020204)。

作者简介 郭晋杰(1981—),男,河北晋州人,讲师,博士,从事玉米分子生物学研究。*通讯作者,教授,博士,从事玉米遗传育种研究。

收稿日期 2017-09-30

1.3.1 总根数。用流水小心将根系清洗干净,拿剪刀把全部根小心剪下,并放在盛有洁净自来水的大烧杯中,统计总根条数。

1.3.2 根系扫描。将根系分成若干段,用 EPSON 扫描仪记录根系形态,然后用 WinRHIZO 洗根测量分析软件分析总根

长、总根表面积、平均根系直径以及总根体积等 4 个性状值。

1.3.3 称重。将根全部剪下,去除残存的胚乳,然后用天平称量茎鲜重。扫描完成后,用天平称量根鲜重。把根、茎分别放进纸袋中,在 105 ℃ 杀青 30 min,然后在 80 ℃ 下烘 48 h,称量干重。

表 1 43 份玉米自交系及其系谱来源

Table 1 The 43 maize inbred lines and their pedigree

编号 Code	自交系 Inbred line	系谱来源 Pedigree	编号 Code	自交系 Inbred line	系谱来源 Pedigree
1	长 3	黑龙江骨干自交系	23	郑 58	掖 478 改良系
2	吉 63	吉双 1 号选株自交	24	沿 812	不详
3	PHR62	美国自交系	25	433-7	不详
4	丹黄 02	旅大红骨后代选系	26	浚 92-6	塘四平头
5	PH6WC	先玉 335 母本(瑞德)	27	海 92-1	塘四平头
6	L135	美国自交系	28	LH194	美国自交系
7	丹 9046	7922/5003	29	掖 832	美国单交种
8	郑 32	美国单交种 3382 中经单株选优	30	B97	兰卡斯特类群
9	掖 478	8112 × 5003 杂交后代	31	丹 599	美国杂交种 P78599
10	PH4CV	先玉 335 父本	32	9058	改良 Reid 种质类群
11	昌 7-2	(黄早 4 × 潍 95) × S901	33	豫 87-1	美国杂交种 87001
12	B76	美国核心种质	34	掖 8001	3189(5003/8112) 选二环系
13	A679	美国核心种质	35	沈 977	不详
14	宋 1145	P 群	36	自 330	OH43 × 可利 67
15	H99	OH43 改良系	37	K14	(甸 11 × Mol7) × KI6
16	陕 89	不详	38	200B	330 × 187
17	M7	美国杂交种选育二环系	39	178	改良 Reid 种质类群
18	DF32	综合种选系	40	XF77	综合种选系
19	D20	综合种选系	41	BM	不详
20	KP3130	不详	42	B98	Reid 种质类群
21	苏 75	苏湾 2	43	沈 137	美国杂交种 6JK111
22	d140	综合种选系			

1.3.4 根冠比。依据以下公式分别计算鲜重和干重条件下的根冠比:

$$\text{根冠比(鲜重)} = \frac{\text{根系鲜重(g)}}{\text{茎鲜重(g)}};$$

$$\text{根冠比(干重)} = \frac{\text{根系干重(g)}}{\text{茎干重(g)}}。$$

1.4 数据统计分析 所获得的表型性状值在 Excel 中输入并整理,首先利用处理组和对照组的平均值,通过成对数据的 t -检验,从以上所述 9 个与根系有关的形态学指标中筛选出可以用于耐旱性鉴定的指标。然后为消除自交系之间各指标固有的差异,将 t -检验差异显著的测定指标,按下列公式计算干旱条件下各测定值占对照测定值的比率,作为耐旱系数^[12]:

$$\text{耐旱系数} = \frac{\text{干旱测定值}}{\text{对照测定值}}。$$

再利用耐旱系数,通过方差分析检测不同自交系在各测定指标下的差异显著性。最后按方差分析结果差异显著的测定指标,分别将参试自交系划分成 5 个耐旱性等级。

2 结果与分析

2.1 各耐旱指标的 t -检验 表 2 所示的 t -检验结果表明,干旱处理对鲜重根冠比、干重根冠比及根干重这 3 个调查指标的效应均达极显著水平,对平均根系直径和根鲜重的效应达显著水平。并且鲜重根冠比、干重根冠比及根干重比平均根系直径和根鲜重有更大的参考价值。同时,从平均值的比较可以看出,这 3 个性状值均为处理组大于对照组。

表 2 各耐旱指标 t -检验结果及显著性

Table 2 The t -test results of drought resistance indicators and their significance

项目 Item	鲜重根冠比 Fresh weight root-top ratio	干重根冠比 Dry weight root-top ratio	根干重 Root dry weight	根鲜重 Root fresh weight	总根数 Total root number	总根长 Total root length	总根表面积 Total root surface area	平均根系直径 Average root system diameter	总根体积 Total root volume
处理 Treatment	0.42	0.56	0.08	0.79	10.45	595.89	73.04	0.66	0.73
对照 Control	0.29	0.32	0.06	0.85	10.79	575.87	73.71	0.71	0.77
$ t $	3.77**	9.75**	6.67**	1.84*	1.03	0.74	0.21	1.82*	1.31

注: * 表示在 0.05 水平上差异显著, ** 表示在 0.01 水平上差异显著

Note: * indicated significant differences at 0.05 level; and ** indicated significant differences at 0.01 level

2.2 不同自交系耐旱性差异的方差分析 表 3 所示的方差分析结果表明,鲜重根冠比、总根表面积和总根体积这 3 项

指标在不同自交系间达到极显著水平,根干重、根鲜重、总根数及总根长这 4 项指标在不同自交系间达到显著水平。

表3 43个自交系在各耐旱指标下的耐旱差异显著性分析

Table 3 Significant analysis of drought tolerance difference of 43 inbred lines under drought resistance indicators

项目 Item	鲜重根冠比 Fresh weight root-top ratio	干重根冠比 Dry weight root-top ratio	根干重 Root dry weight	根鲜重 Root fresh weight	总根数 Total root number	总根长 Total root length	总根表面积 Total root surface area	平均根系直径 Average root system diameter	总根体积 Total root volume
组间 Inter-group	0.43	0.40	0.68	0.12	0.08	0.41	0.24	0.17	0.17
组内 Intra-group	0.17	0.28	0.35	0.06	0.04	0.20	0.10	0.12	0.07
F	2.46**	1.42	1.94*	1.87*	2.05*	1.98*	2.43**	1.50	2.53**

注: * 表示在 0.05 水平上差异显著, ** 表示在 0.01 水平上差异显著

Note: * indicated significant differences at 0.05 level; and ** indicated significant differences at 0.01 level

2.3 按不同指标对供试材料的分类 鲜重根冠比、根干重和根鲜重可以作为耐旱性鉴定指标。同时,不同自交系的这3项指标对于干旱处理的敏感程度不同,因此可以分别从这3项指标出发对43份供试自交系进行分类。利用抗旱系数,并采用路贵和等^[13]的分类方法,将供试材料分成5类。

对参试验材料的抗旱性检验结果表明,自交系抗旱性符合正态分布,属于数量性状。因此,利用表4中的数据,以平均值1加减一个标准差1,分为极强抗旱类型、中间类型和极弱抗旱类型;再以平均值2加减一个标准差2,将中间类型分为强抗旱类型、中度抗旱类型和弱抗旱类型。分类见表5。

表4 分级所用的抗旱系数的平均数和标准差

Table 4 Mean value and standard deviation of drought resistance coefficient for classification

指标 Index	鲜重根冠比 Fresh weight root-top ratio	根系干重 Root dry weight	根系鲜重 Root fresh weight
平均值1 Mean value 1	1.62	1.62	0.98
标准差1 Standard deviation 1	0.46	0.58	0.24
平均值2 Mean value 2	1.58	1.50	0.96
标准差2 Standard deviation 2	0.19	0.30	0.11

注:平均值1、2分别指全部抗旱系数的平均值和中间类型抗旱系数的平均值,同标准差1、2

Note: Mean values 1 and 2 were the mean values of total drought resistance coefficient and intermediate type drought resistance coefficient, respectively, the same as standard deviations 1 and 2

表5 按鲜重根冠比、根干重、根鲜重划分的抗旱类型

Table 5 Drought resistance types classified by fresh weight root-top ratio, root dry weight and root fresh weight

抗旱类型 Drought resistance type	鲜重根冠比 Fresh weight root-top ratio	根干重 Root dry weight	根鲜重 Root fresh weight
极强抗旱 Quite strong drought resistance type	>2.08	>2.20	>1.21
强抗旱 Strong drought resistance	1.77 ~ 2.08	1.80 ~ 2.20	1.07 ~ 1.21
中度抗旱 Moderate drought resistance type	1.38 ~ 1.77	1.19 ~ 1.80	0.85 ~ 1.07
弱抗旱 Weak drought resistance type	1.16 ~ 1.38	1.05 ~ 1.19	0.76 ~ 0.85
极弱抗旱 Quite weak drought resistance type	<1.16	<1.05	<0.76

分级结果表明,按不同指标划分的抗旱类型内的自交系有部分重叠,以此可以挑选出不同抗旱能力的自交系。首先,按鲜重根冠比划分,供试材料的平均抗旱系数为1.62,最

高的是L135,最低的是XF77;按根干重划分,供试材料的平均抗旱系数为1.62,最高的是掖8001,最低的是苏75;按根鲜重划分,供试材料的平均抗旱系数为0.98,最高的是B76,最低的是苏75。3种鉴定指标下抗旱级别完全一致的材料有8份,即丹599、陕89、苏75、B97、DF32、A679、D20和丹9046。其中丹599为极强抗旱类型,陕89为强抗旱类型,B97、DF32、A679和丹9046为中度抗旱类型,D20和苏75为极弱抗旱类型。可见,我国玉米自交系存在着丰富多样的抗旱类型,这些材料是我国玉米抗旱育种的重要种质资源。

3 结论与讨论

3.1 玉米苗期与根系有关的耐旱性指标的评价 作物根系是活跃的吸收和合成器官,其生长情况直接影响地上部的生长及最终产量。有关玉米苗期与根系相关的耐旱性指标的研究已有多篇报道,Tuberosa等^[14]认为根系特征能影响水分吸收并最终影响植物的水分平衡,对根系特征进行研究有利于提高和稳定干旱条件下作物的产量,而且玉米根系特征和耐旱密切相关。Smucker等指出,在水分胁迫下光合产物优先分配给根系,根冠比加大;冯广龙等^[15]研究指出,水分胁迫下根冠比增加,而复水后根冠比降低;孙彩霞等^[16]研究认为,根体积、根的干物质量和根冠比在干旱胁迫下明显降低,与抗旱指数达到显著相关水平,可以作为抗旱性鉴定指标。

该试验采用PEG-6000模拟水分胁迫条件,用鲜重根冠比、根系干重和根系鲜重分析43份玉米自交系的耐旱性,发现干旱胁迫下各自交系的根冠比呈增大的趋势,这可能是由于苗期是玉米根系快速生长,深扎土壤,干物质主要向根系分配的时期,因而根系相对于地上部分受伤害轻,根冠比较大。依据这3个指标将参试材料按照耐旱性强弱分别分成5组,并且挑选出了8份抗旱能力一致的自交系材料,说明在干旱胁迫下采用这3个指标可以有效地评价玉米自交系的苗期耐旱性。

3.2 玉米自交系的耐旱性评价 获得耐旱种质材料是耐旱遗传学研究和耐旱品种选育的前提。目前,有关玉米苗期耐旱种质的研究较少。周树峰^[17]通过对57份玉米自交系的耐旱性鉴定,筛选出8份耐旱性较强的自交系。刘贤德等^[18]采用叶面积指数、叶片相对含水量和耐旱系数等评价了9份耐旱自交系和9份早敏感型自交系的性状差异。武斌等^[19]采用幼苗叶片相对含水量、叶片保水力和叶片丙二醛含量,结合水分胁迫下的幼苗存活率,评价了53份玉米自交系的苗

(下转第38页)

定通过 12~15℃时,揭去树冠覆膜,及时喷药防治病虫害,并根据土壤干旱程度适当灌水。

果实采收前 30~40 d 开始转色,去果袋^[11],下雨以前果园铺复合性塑料镀铝反光膜^[14],促进果实全面着色,增加果实含糖量,提高单果重,有利于花芽分化,为次年的丰产稳产奠定基础。果实转色前喷施 1%~2% 的钙制剂以增进果皮结构,增加色泽,提高品质,减少浮皮^[10]。

不知火宜在果实完熟口感最佳时进行采收,采果后全园喷用 45% 的晶体石硫合剂或机油乳剂 100~200 倍液清园,以减少果园病菌基数^[11]。采后剔除有机械损伤、病虫害、着色度不够、外观畸形等不符合商品要求的果品,再将果实按横径大小分成大、中、小 3 个等级,并检测其硒含量,贴牌进行分级销售。

4 结语

综上所述,高品质绿色富硒不知火的生产,需选择适宜的不知火生长园地,并在开垦定植的过程中施用有机肥进行土壤改良以满足不知火整个生育期对土壤养分及土壤状况的需求,栽培定植需严格按照栽培技术从而提高成活率,定植后的整形修剪、施肥、灌溉、杂草控制、病虫害防治,结果期管理等措施对于培养树势、保证产量和品质非常重要(特别是结果期管理)。各管理环节相互影响、相互作用,均不可轻

(上接第 34 页)

期耐旱性,得出了 BSSS、PB 和四平头亚群为重要的耐旱种质类群的结论。

该试验通过对不同玉米自交系之间耐旱性的差异显著性分析,发现鲜重根冠比、总根表面积和总根体积在不同耐旱性自交系之间达到极显著水平,根干重、根鲜重、总根数及总根长这 4 项指标达到显著水平。这说明不同自交系的这些指标性状对干旱处理的敏感程度不同,耐旱自交系的敏感程度较低,不耐旱自交系的敏感程度较高。并采用苗期鲜重根冠比、根系干重和根系鲜重这 3 个指标,从 43 份常用玉米自交系中筛选出了 8 份抗旱能力不同的材料。这些材料可以为以后抗旱育种工作中抗旱材料的选择提供参考。

参考文献

- [1] 李庆祥,刘小宁,李小泉. 近半世纪华北干旱化趋势研究[J]. 自然灾害学报,2002,11(3):50-56.
- [2] VAMERALI T, SACCOMANI M, BONA S, et al. A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids[J]. Plant and soil, 2003, 255: 157-167.
- [3] LYNCH J. Root architecture and plant productivity[J]. Plant Physiol, 1995, 109: 7-13.
- [4] BRUCE W B, EDMEADES G O, BARKER T C. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance[J]. J Exp Bot, 2002, 53(366): 13-25.
- [5] LIANG B M, SHARP R E, BASKIN T I. Regulation of growth anisotropy in well-watered and water-stressed maize roots: I. Spatial distribution of longitudinal, radial, and tangential expansion rates[J]. Plant Physiol, 1997, 115(1): 101-111.

视,才能以最少的投入获得最佳的富硒绿色不知火产品。

参考文献

- [1] 农业部. 绿色食品标志管理办法[A]. 农业部, 2012.
- [2] 邓正春, 杜登科, 吴仁明, 等. 富硒柑橘优质高产栽培技术[J]. 湖南农业科学, 2011(2): 14-15.
- [3] 李红春. 柑橘品种不知火栽培技术探讨[J]. 园艺与种苗, 2013(7): 37-39.
- [4] 陈天礼. 不知火橘橙的越冬栽培技术[J]. 浙江柑橘, 2007, 24(1): 23-25.
- [5] 邓洪庚, 袁兴亮, 余文海. 不知火柑橘绿色标准化生产技术[J]. 农业科技通讯, 2016(7): 267-269.
- [6] 张建文, 黄立权. 柑橘高产稳产果园管理技术[J]. 农技服务, 2009, 26(7): 98, 102.
- [7] 屈胜梅. 重庆市江津区晚熟柑橘栽培技术[J]. 现代农业科技, 2016(16): 75-76.
- [8] 谢红梅, 柏幼松. 成年柑橘春季管护要点[J]. 农村实用技术, 2007(4): 42-43.
- [9] 洪长胜, 周众林, 瞿红, 等. 幼龄柑橘树速生快长栽培技术[J]. 浙江柑橘, 2008, 25(1): 13-15.
- [10] 沈兆敏. 晚熟柑橘的高品质栽培技术[J]. 果农之友, 2014(5): 28-30.
- [11] 邓烈, 何绍兰, 欧应刚, 等. 不知火优质化栽培技术要点[J]. 广西园艺, 2006, 17(6): 47-48.
- [12] 沈生元, 沈天雄, 郭春荣, 等. 叶面肥对柑橘品质及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(4): 231-232.
- [13] 蔡永喜, 冉德森, 张卜芬, 等. 着力建设精品果园促进柑橘业提高升级: 湖北省宜昌都市柑橘精品果园建设成效[J]. 浙江柑橘, 2013, 30(1): 6-8.
- [14] 陈锦翠, 应林火, 蓝金火, 等. 太平乡柑橘控水提质完熟栽培技术经验总结[J]. 浙江柑橘, 2013, 30(1): 14-16.

- [6] CONERS H, LEUSCHNER C. In situ measurement of fine root water absorption in three temperate tree species: Temporal variability and control by soil and atmospheric factors [J]. Basic Appl Ecol, 2005, 6(4): 395-405.
- [7] ZHAO C X, DENG X P, SHAN L, et al. Changes in root hydraulic conductivity during wheat evolution [J]. J Integr Plant Biol, 2005, 47(3): 302-310.
- [8] 王一, 曹敏建, 李春红, 等. 模拟干旱对不同耐性玉米自交系幼苗根系和水分利用效率的影响[J]. 作物杂志, 2011(6): 50-52.
- [9] 齐健, 宋凤斌, 刘胜群. 苗期玉米根叶对干旱胁迫的生理响应[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1264-1268.
- [10] 裴英杰, 郑家玲, 虞红, 等. 用于玉米品种抗旱性鉴定的生理生化指标[J]. 华北农学报, 1992, 7(1): 31-35.
- [11] 李亮, 郝转芳, 翁建峰, 等. 玉米自交系萌发期与苗期的耐旱性评价[J]. 玉米科学, 2011, 19(4): 5-9.
- [12] 周树峰, 李晚忱, 付凤玲, 等. 57 个常用玉米自交系的耐旱性鉴定[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(2): 127-130.
- [13] 路贵和, 戴景瑞, 张书奎, 等. 不同干旱胁迫条件下我国玉米骨干自交系的抗旱性比较研究[J]. 作物学报, 2005, 31(10): 1284-1288.
- [14] TUBEROSA R, SANGUINETI M C, LANDI P, et al. Identification of QTLs for root characteristics in maize grown in hydroponics and analysis of their overlap with QTLs for grain yield in the field at two regimes [J]. Plant molecular biology, 2002, 48(5/6): 697-721.
- [15] 冯广龙, 罗远培. 土壤水分与冬小麦根、冠功能均衡关系的模拟研究[J]. 生态学报, 1999, 19(1): 96-103.
- [16] 孙彩霞, 沈秀琪. 玉米根系生态型及生理活性与抗旱性关系的研究[J]. 华北农学报, 2002, 17(3): 20-24.
- [17] 周树峰. 玉米耐旱性鉴定及其数量遗传学研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2003.
- [18] 刘贤德, 李晓辉, 李文华, 等. 玉米自交系苗期耐旱性差异分析[J]. 玉米科学, 2004, 12(3): 63-65.
- [19] 武斌, 李新海, 肖木辑, 等. 53 份玉米自交系的苗期耐旱性分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(4): 665-676.