

王绍新, 许洛, 曹志艳, 等. 12 个玉米杂交种及其亲本抗旱性鉴定[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(3): 66–69.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.016

# 12 个玉米杂交种及其亲本抗旱性鉴定

王绍新<sup>1</sup>, 许洛<sup>1</sup>, 曹志艳<sup>2</sup>, 冯健英<sup>1</sup>

(1. 石家庄市农林科学研究院, 河北石家庄 050041; 2. 河北农业大学, 河北保定 071000)

**摘要:**采用抗旱指数法, 对 12 个玉米杂交种进行了干旱胁迫下的抗性评价, 结果发现肃玉 1 号、石玉 9 号、京单 58 抗旱指数分别为 0.87、0.83、0.8, 较其他杂交种抗旱性更强, 土壤水分利用率较高, 分别为 33.245、32.782、29.542 kg/(hm<sup>2</sup>·mm); 采用抗旱隶属度, 对杂交种对应的 24 个亲本自交系的抗旱相关指标进行分析, SN0702 (0.68)、海 55 (0.65) 和 CH3 (0.61) 平均隶属度最高, 发现杂交种的抗旱性与它们亲本的抗旱性存在对应关系, 对 24 个自交系抗旱性聚类分析, 发现较抗旱的瑞德种质为一类, 抗旱性弱的美国种质和部分黄改系为一类。

**关键词:**玉米; 抗旱性; 杂交种; 自交系

**中图分类号:** S513.03 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)03-0066-04

我国是水资源贫乏的国家, 而且近年来极端气候频现, 干旱成为威胁农业的重要因素, 所以研究抗旱农业对保障我国的粮食生产安全至关重要<sup>[1]</sup>。玉米生产中期常因伏旱、夹秋旱或持续干旱高温引起玉米开花抽丝受阻, 结实不佳, 从而造成减产甚至绝收。解决玉米干旱问题的方法除保证水分供应、改善水利设施条件外, 筛选抗旱性强的玉米品种也是一条主要途径<sup>[2-3]</sup>。玉米抗旱性的鉴定主要包括鉴定方法、鉴定指标、量化分析 3 个方面。许多学者围绕玉米抗旱性研究开展了大量工作, 取得了一定的研究进展<sup>[4-7]</sup>。目前, 玉米抗旱性的鉴定方法主要有田间直接鉴定法、抗旱池法、盆栽法、实验室模拟法等; 鉴定筛选指标主要有发育指标、外在性状指标、生理生化指标、产量指标等; 抗旱性评价标准大体可分为综合评价和直接评价两类; 综合评价法有抗旱性隶属函数法、五级评分法、抗旱总级值法、灰色关联分析法等; 以产量指标为主的直接评价标准有抗旱系数、敏感指数、抗旱指数、干旱伤害指数等<sup>[8-13]</sup>。本试验借鉴前人的经验, 对品种采用直观有效的抗旱系数法进行品种抗旱性评价, 对亲本自交系进行了抗旱相关的生理生化指标测定。

## 1 材料与与方法

### 1.1 试验材料

本试验材料选自近年来河北夏播区的主推品种, 还包括河北省和国家黄淮海主推和新审定的玉米品种, 由河北省赵县农业科学研究所提供, 详情见表 1。

杂交种亲本材料由石家庄市农林科学研究院玉米研究所种质资源库提供, 详情见表 2。

收稿日期: 2016-08-19

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(编号: 201203033-06); 河北科技支撑计划(编号: 13226402D-1); 石家庄市科技项目(编号: 131490492A)。

作者简介: 王绍新(1980—), 男, 河北石家庄人, 硕士, 助理研究员, 主要从事玉米育种及栽培工作。E-mail: wangshaixin666@163.com。  
通信作者: 冯健英, 硕士, 研究员, 主要从事玉米育种研究。E-mail: sjzfjy@163.com。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 材料种植** 所有材料种植在石家庄市农林科学研究院玉米研究所干旱模拟棚内。分别设水、旱 2 种处理, 2 次重复。水处理充分灌溉, 在播种后、苗期、大喇叭口期和灌浆期透墒灌溉; 干旱处理采用全生育期干旱胁迫, 透墒播种后不再浇水, 派专人负责抗旱棚的关闭。杂交种 5 行区种植, 自交系 1 行区种植; 行长 2.95 m, 行距 0.50 m, 株距 0.27 m, 种植密度为 67 500 株/hm<sup>2</sup>。

**1.2.2 杂交种产量和水分利用率的测定及抗旱性分析方法** 成熟后收获全区, 晒干、测水。产量 = [干质量 × (1 - 籽粒含水率)] / (1 - 14%)。烘干法测定播种前和收获后 0~140 cm 土层的土壤含水量。土壤水分利用率 = 籽粒产量 / 耗水量。参照兰巨生等的评价标准<sup>[14]</sup> 对 12 个品种进行抗旱性鉴定。数据分析应用 SAS 9.4 软件, 多重比较分析采用 Duncan's 法。

**1.2.3 亲本自交系抗旱指标的测定及抗旱性分析方法** 自交系叶片丙二醛含量的测定采用硫代巴比妥酸比色法<sup>[15]</sup>; 自交系叶片可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法<sup>[16]</sup>; 自交系叶片脯氨酸含量的测定采用酸性茚三酮法<sup>[17]</sup>; 自交系叶片叶绿素含量的测定采用丙酮浸提法<sup>[18]</sup>。抗旱性指标隶属度计算采用张倩等的方法<sup>[19]</sup>。自交系的聚类分析应用 IBM SPSS Statistics 19 软件, 聚类采用 Ward 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 杂交种抗旱性分析

**2.1.1 杂交种抗旱指数的分析** 从表 3 可以看出, 肃玉 1 号、石玉 9 号和京单 58 抗旱指数分别为 0.87、0.83、0.81, 抗旱级别为中等; 郑单 958、金海 5 号、浚单 20、伟科 702 抗旱指数分别为 0.75、0.74、0.71、0.66, 抗旱级别为弱; 中科 11 号、石玉 10 号、蠡玉 16 号、登海 605、中单 909 抗旱指数小于 0.6, 抗旱级别为极弱, 其中蠡玉 16 号、登海 605 和中单 909 抗旱性最差。筛选的 12 个品种其中 3 个为中抗品种, 4 个为弱抗品种, 5 个品种抗旱性差, 没有筛选出抗旱指数大于 1 的强和极强抗旱品种。所以河北地区应该加强抗旱品种的选育和引进筛选工作, 为有可能出现的极端干旱气候储备抗旱玉

表 1 品种材料

编号	品种名称	品种亲本	选育单位	审定情况
1	郑单 958	郑 58 × 昌 72	河南金博士种业	2002 年国审
2	石玉 9 号	海 55 × W3146	石家庄市农业科学研究院	2008 年冀审
3	石玉 10 号	WT-18 × L9801	石家庄市农业科学研究院	2009 年冀审
4	浚单 20	9058 × 浚 92-8	河南省浚县农业科学研究所	国审玉 2003054
5	蠡玉 16 号	953 × 91158	蠡县玉米研究所	冀审玉 2003001
6	金海 5 号	JH78-2 × JH3372	莱州市金海作物研究所有限公司	京审玉 2003010
7	京单 58	CH3 × 京 2416	北京市农林科学院玉米研究中心	国审玉 2010004
8	伟科 702	WK858 × 798-1	伟科作物育种科技有限公司	国审玉 2012010
9	登海 605	DH351 × DH382	山东登海种业股份有限公司	国审玉 2010009
10	中单 909	改郑 58 × HD586	中国农业科学院作物科学研究所	国审玉 2011011
11	中科 11 号	CT03 × CT201	北京中科华泰科、河南科泰种业	国审玉 2006034
12	肃玉 1 号	SN0702 × SN0798	肃宁县种业有限责任公司	冀审玉 2010005

表 2 亲本材料

编号	品种名称	品种亲本	亲本血缘
Z-1	郑单 958	郑 58	瑞德系
Z-2		昌 72	黄改系
Z-3	石玉 9 号	海 55	瑞德系
Z-4		W3146	黄改系
Z-5	石玉 10 号	WT-18	美国种质
Z-6		L9801	黄改系
Z-7	浚单 20	9058	含热带种质
Z-8		浚 92-8	黄改系
Z-9	蠡玉 16 号	953	含美国先锋种质
Z-10		91158	P 群
Z-11	金海 5 号	JH78-2	美国种质
Z-12		JH3372	黄改系
Z-13	京单 58	CH3	瑞德系
Z-14		京 2416	黄改系
Z-15	伟科 702	WK858	瑞德系
Z-16		798-1	黄改系
Z-17	登海 605	DH351	美国种质
Z-18		DH382	国外杂交种
Z-19	中单 909	改郑 58	瑞德系
Z-20		HD586	美国杂交种 × 昌 72 × 昌 72
Z-21	中科 11 号	CT03	瑞德系
Z-22		CT201	黄改系
Z-23	肃玉 1 号	SN0702	瑞德系
Z-24		SN0798	黄改系

注:亲本血缘为自交系主要遗传背景。

表 3 杂交种的抗旱指数

品种	籽粒产量(kg/hm <sup>2</sup> )		抗旱指数	位次	抗旱性
	干旱胁迫	CK			
郑单 958	7 543.88	11 662.1	0.75	4	S
石玉 9 号	7 682.60	10 995.4	0.83	2	MR
石玉 10 号	5 588.24	9 845.2	0.49	9	HS
浚单 20	7 405.01	11 985.8	0.71	6	S
蠡玉 16 号	5 903.34	13 286.3	0.41	10	HS
金海 5 号	7 012.93	10 336.7	0.74	5	S
京单 58	7 740.70	11 556.3	0.81	3	MR
伟科 702	6 852.32	10 996.5	0.66	7	S
登海 605	4 426.61	11 472.6	0.26	11	HS
中单 909	3 640.68	9 876.9	0.21	12	HS
中科 11 号	5 771.99	8 809.2	0.58	8	HS
肃玉 1 号	8 062.04a	11 581.9	0.87	1	MR

抗旱指数≤0.60 为极弱(HS);0.61~0.80 为弱(S);0.81~1.00 为中等(MR);1.01~1.19 为强(R);≥1.20 为极强(HR)。

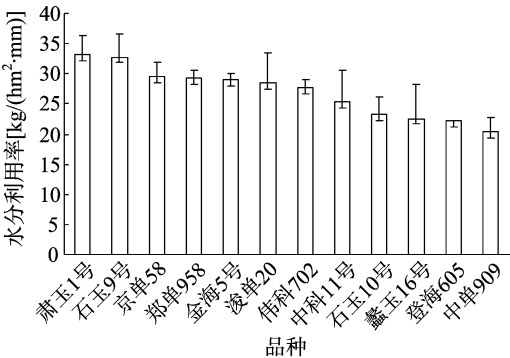


图1 玉米水分利用效率

米品种,保障玉米生产安全。从表 3 中的籽粒产量可以看出,蠡玉 16 号、登海 605 等品种在正常灌溉下(CK)产量虽然很高,但它的抗旱性并不强,而肃玉 1 号、石玉 9 号等品种产量在正常灌溉下(CK)虽一般,但干旱胁迫下产量较高,可见高产的品种不一定抗旱,抗旱的品种在干旱情况下都高产。

2.1.2 杂交种水分利用率 在干旱胁迫下的各品种的水分利用率[kg/(hm<sup>2</sup>·mm)]见图 1,肃玉 1 号、石玉 9 号、京单 58 水分利用率最高,分别为 33.245、32.782、29.542 kg/(hm<sup>2</sup>·mm);蠡玉 16 号、登海 605、中单 909 水分利用率最低,分别为 22.569、22.158、20.267 kg/(hm<sup>2</sup>·mm);其他品种居中。通过分析,P=0.0445<0.05,差异达到显著水平,对 12 个玉米品种间水分利用率进行多重比较,结果表明水分利用率最高的肃玉 1 号与其他 8 个品种达到显著水平,最低的中单 909

与其他 10 个品种达到显著水平。结合杂交种抗旱指数的结果发现,品种间的水分利用率的趋势和它们的抗旱性一致,水分利用率可能是玉米品种抗旱性的关键因素。因此,品种筛选过程中,应尽可能选择水分利用率高的品种作为抗旱品种。

2.2 亲本自交系抗旱性分析

2.2.1 干旱胁迫下亲本自交系抗旱指标的分析 对 12 个品种的 24 个亲本自交系进行干旱胁迫下的产量、丙二醛含量、可溶性糖含量、脯氨酸含量和叶绿素含量等抗旱指标测定,然后计算各指标的隶属度,求出均值。从表 4 可以看出,SN0702(0.68)、海 55(0.65)和 CH3(0.61)平均隶属度最高,

抗旱达Ⅱ级水平,为强抗自交系;平均隶属度在 0.4~0.59 之间的有 9 个自交系,抗旱达Ⅲ级水平,为中抗自交系;平均隶属度在 0.3~0.39 之间的有 4 个自交系,抗旱为Ⅳ级水平,自交系为弱抗;平均隶属度小于 0.3 的有 8 个自交系,抗旱为Ⅴ级水平,自交系抗旱性差。抗旱性最强的自交系 SN0702、海 55 和 CH3 分别为抗旱性最强的肃玉 1 号、石玉 9 号和京单 58 的亲本;抗旱性最弱的自交系 DH382、CT201 和 L9801 分别为抗旱性较弱的登海 605、中科 11 号和石玉 10 号的亲本。由此可见,亲本的抗旱性与其对应的杂交种的抗旱性存在对应关系,亲本抗旱性强则对应的杂交种抗旱性强,反之亦然。在玉米新品种选育过程中,应注意抗旱自交系的选育,有了抗旱的自交系才有可能选育好的抗旱品种。

表 4 亲本自交系的抗旱隶属度

品种亲本	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	丙二醛 含量 (μmol/g)	可溶性 糖含量 (mg/g)	脯氨酸 含量 (mg/g)	叶绿素 含量 (mg/g)	平均 隶属 度	抗旱 级别
SN0702	3 826.6	5.23	42.38	1.28	3.92	0.68	Ⅱ
海 55	3 762.3	5.09	40.01	1.18	3.9	0.65	Ⅱ
CH3	3 526.9	6.23	39.58	1.19	3.96	0.61	Ⅱ
郑 58	2 880.5	10.55	31.58	0.92	3.69	0.54	Ⅲ
SN0798	2 962.4	6.88	38.2	1.36	3.99	0.52	Ⅲ
JH3372	2 365.8	10.6	29.88	0.71	3.72	0.51	Ⅲ
CT03	2 489.3	12.01	31.54	0.83	3.56	0.5	Ⅲ
京 2416	2 752.3	7.15	38.25	1.00	3.87	0.48	Ⅲ
W3146	2 673.8	8.22	39.55	1.2	3.85	0.41	Ⅲ
改郑 58	2 631.8	13.55	22.56	0.46	3.56	0.41	Ⅲ
9058	2 689.6	11.25	36.25	0.79	3.72	0.4	Ⅲ
WK858	2 756.2	11.29	25.68	0.69	3.62	0.4	Ⅲ
798-1	1 856.1	10.3	36.88	0.98	3.56	0.38	Ⅳ
浚 92-8	1 546.3	10.38	38.21	0.82	3.55	0.35	Ⅳ
JH78-2	1 962.5	14.01	22.37	0.52	3.4	0.32	Ⅳ
昌 72	2 135.2	8.74	35.66	0.88	3.58	0.31	Ⅳ
953	1 638.9	14.98	26.55	0.71	3.41	0.29	Ⅴ
DH351	1 526.3	15.21	21.38	0.45	3.01	0.29	Ⅴ
WT-18	1 952.3	14.52	29.25	0.62	3.25	0.28	Ⅴ
HD586	1 429.3	16.32	26.38	0.5	3.21	0.25	Ⅴ
91158	998.3	13.62	21.42	0.45	3.33	0.22	Ⅴ
DH382	1 632.9	10.38	20.55	0.4	3.12	0.22	Ⅴ
CT201	1 856.4	13.89	20.52	0.6	3.09	0.22	Ⅴ
L9801	1 259.6	13.89	23.41	0.54	3.08	0.21	Ⅴ

注:平均隶属度<0.3 为不抗,定为Ⅴ级;0.3≤平均隶属度<0.4 为弱抗,定为Ⅳ级;0.4≤平均隶属度<0.6 为中抗,定为Ⅲ级;0.6≤平均隶属度<0.7 为强抗,定为Ⅱ级;平均隶属度≥0.7 为极强抗,定为Ⅰ级。

2.2.2 亲本自交系抗旱指标的聚类分析 采用系统聚类分析法,以自交系的抗旱指标为变量,进行聚类分析。结合亲本自交系的抗旱隶属度结果,可把所有亲本自交系分为 2 类:下半部分 12 个自交系抗旱性较强,抗旱级别为Ⅱ~Ⅲ级,为强抗和中抗自交系;上半部分 12 个自交系抗旱性较差,抗旱级别为Ⅳ~Ⅴ级,为弱抗和不抗自交系(图 2)。聚类分析和抗旱隶属度结果完全一致。进一步分析发现,抗旱性较强的下半部分亲本自交系多为瑞德系,部分黄改系和热带种质,含这类血缘的自交系抗旱性可能较强;抗旱性较弱的上半部分亲本自交系多为美国种质和部分黄改系,含这类血缘的自交系抗旱性可能较弱。

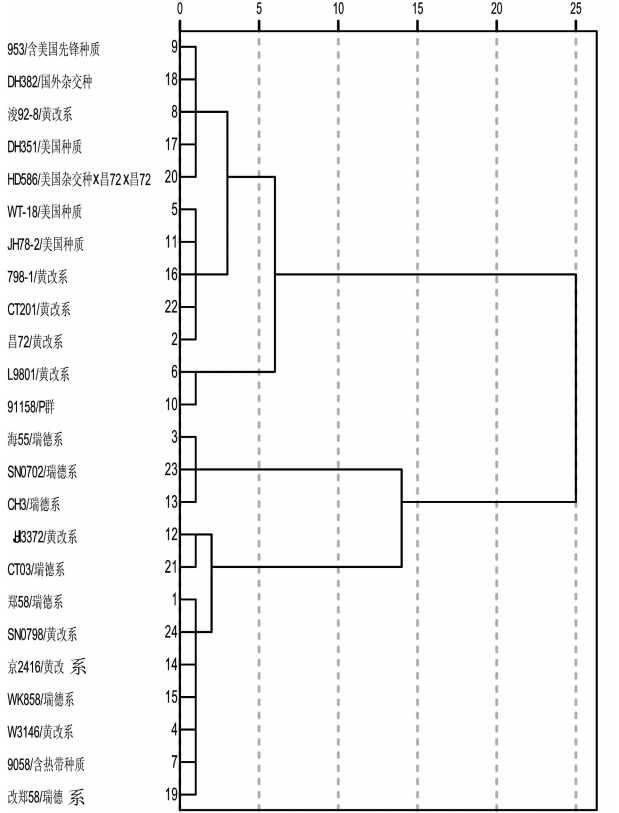


图2 亲本自交系的抗旱性聚类分析

3 讨论

本研究对杂交种和自交系采用了不同的抗旱评价方法,因为我们认为杂交种的抗旱性以产量为单一抗旱指标更为直接有效,更能有效地反映品种的抗旱性,所以采用了抗旱指数法对其抗旱性进行评价;而对自交系的抗旱性评价不应只考虑自身的产量,还应考虑它内在的配合力,所以采用了隶属度法,此法综合了自交系产量和抗旱相关生理、生化指标,更有说服力。

前人对玉米的抗旱性进行了大量深入的研究,但是目前,关于玉米的抗旱机制尚不十分清楚,且不同品种可能具有不同的抗旱机制<sup>[20]</sup>。通过本研究发现,品种的抗旱性与其亲本的抗旱性正相关,育种家们在选育抗旱玉米品种时,可先从选育抗旱的亲本入手。抗旱性较强的杂交种杂优模式可能为瑞德系×黄改系,目前引进的美国种质虽然有脱水快、易机收等特点,但抗旱性较差,育种家在品种选育过程中应保留本地的瑞德系血缘,以提高品种的抗旱性,提高品种的抗灾风险。

参考文献:

[1] 朴明鑫,李 成,金峰学,等. 玉米耐旱鉴定研究进展[J]. 玉米科学,2013,21(4):89-93.  
[2] 柳延涛,陈寅初,李万云,等. 作物抗旱生理生化特性研究进展[J]. 耕作与栽培,2011(2):6-7.  
[3] 孔翔彬,白星焕,王同芹,等. 不同基因型玉米自交系抗旱性鉴别[J]. 山东农业科学,2011(1):16-20.  
[4] 霍仕平,晏庆九,宋光英,等. 玉米抗旱鉴定的形态和生理生化指标研究进展[J]. 干旱地区农业研究,1995,13(3):67-73.  
[5] 刘友良. 植物水分逆境生理[M]. 北京:农业出版社,1992.

刘金龙, 辛寒晓, 范学明, 等. 鱼蛋白多肽对盐胁迫下甜糯玉米种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(3): 69–72.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.017

# 鱼蛋白多肽对盐胁迫下甜糯玉米种子萌发及幼苗生理特性的影响

刘金龙<sup>1</sup>, 辛寒晓<sup>2</sup>, 范学明<sup>2</sup>, 刘丽英<sup>1</sup>, 孙中涛<sup>1</sup>

(1. 山东农业大学生命科学学院, 山东泰安 271018; 2. 山东佐田氏生物科技有限公司, 山东济南 250000)

**摘要:**为研究鱼蛋白多肽对盐胁迫下甜糯玉米的缓解作用, 以京科糯 2010 为试材, 在 150 mmol/L NaCl 胁迫下, 探讨不同浓度(0.2%、0.4%、0.6%、0.8%)的鱼蛋白多肽溶液对甜糯玉米种子萌发及幼苗生理特性的影响。结果表明: 盐胁迫下, 不同浓度的鱼蛋白多肽对甜糯玉米浸种处理, 其发芽率、发芽势、发芽指数及幼苗生物量均有不同程度的提高, 幼苗叶面喷施不同浓度的鱼蛋白多肽溶液后, 叶片叶绿素含量(叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b)、抗氧化酶(SOD、POD、CAT)活性显著提高, 丙二醛(MDA)含量明显降低, 其中均以 0.6% 的鱼蛋白多肽溶液处理效果最佳。试验结果表明, 适宜浓度的鱼蛋白多肽预处理可促进盐胁迫下甜糯玉米种子萌发和幼苗生长, 减缓盐胁迫伤害。

**关键词:**甜糯玉米; 鱼蛋白多肽; 盐胁迫; 种子萌发; 幼苗生理特性

**中图分类号:** S513.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)03-0069-04

甜糯玉米, 又称水果玉米, 是我国玉米产业中的特色品种之一<sup>[1]</sup>, 因其具有籽粒香甜、口味鲜美及营养价值较高等优点而备受大众青睐<sup>[2]</sup>, 并在食品加工、工业及饲料生产等领域中广泛应用<sup>[3]</sup>。近年来, 随着我国农业产业结构不断调整, 甜糯玉米种植面积不断扩大, 但由于人为及自然环境等因素的影响, 我国耕地次生盐渍化日趋严重, 盐碱地面积呈现逐年增加的趋势<sup>[4]</sup>, 盐胁迫是影响甜糯玉米种子萌发、幼苗生

长及产量提高的主要非生物胁迫因素之一。有研究表明, 种子在萌发阶段对盐胁迫比较敏感, 施用外源物质能有效缓解盐胁迫对作物生长的抑制<sup>[5-8]</sup>。因此, 探讨甜糯玉米耐盐性机理具有重要意义。

鱼蛋白多肽是鱼蛋白的水解产物, 主要是从带鱼、罗非鱼等海洋生物中提取的高分子化合物。周兆禧等研究表明, 多肽是一类植物生长调节物质, 在植物生长、发育过程中发挥着重要的调节作用<sup>[9]</sup>。近年来, 国内外对于鱼蛋白多肽的研究十分活跃, 但大多集中于食品开发、饲料生产和医疗保健研发等领域<sup>[10-12]</sup>, 而对其缓解盐胁迫方面的研究未见报道。

为研究鱼蛋白多肽对盐胁迫条件下甜糯玉米种子萌发及幼苗生长的影响, 选用京科糯 2010 为试验材料, 以鱼蛋白多肽溶液进行浸种预处理, 初步探讨其在盐胁迫下对甜糯玉米

收稿日期: 2016-09-18

基金项目: 山东省科技重大专项(编号: 2015ZDXX0502B04)。

作者简介: 刘金龙(1990—), 男, 天津蓟县人, 硕士研究生, 主要从事微生物工程与酶工程研究。E-mail: 1254702404@qq.com。

通信作者: 孙中涛, 博士, 副教授, 主要从事微生物工程与酶工程研究。E-mail: zhtsun@sdau.edu.cn。

[6] 顾慰连, 沈秀瑛, 戴俊英, 等. 玉米不同品种各生育时期对干旱的生理反应[J]. 沈阳农业大学学报, 1990, 21(3): 186–190.

[7] 胡荣海. 农作物抗旱鉴定方法和指标[J]. 作物品种资源, 1986(4): 36–39.

[8] 黎裕, 王天宇, 刘成, 等. 玉米抗旱品种的筛选指标研究[J]. 植物遗传资源学报, 2004, 5(3): 210–215.

[9] Bruce W B, Edmeades G O, Barker T C. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance[J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53(366): 13–25.

[10] 付凤玲, 周树峰, 潘光堂, 等. 玉米耐旱系数的多元回归分析[J]. 作物学报, 2003, 29(3): 468–472.

[11] 张振平, 齐华, 李威, 等. 玉米品种抗旱性筛选指标研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(5): 65–68.

[12] Grzesiak M T, Grzesiak S, Skoczowski A. Changes of leaf water potential and gas exchange during and after drought in triticale and maize genotypes differing in drought tolerance[J]. Photosynthesis, 2006, 44(4): 561–568.

[13] Betran F J, Beck D, Banziger M, et al. Genetic analysis of inbred and

hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize[J]. Crop Science, 2003, 43(3): 807–817.

[14] 兰巨生, 胡福顺, 张景瑞. 作物抗旱指数的概念和统计方法[J]. 华北农学报, 1990, 5(2): 20–25.

[15] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

[16] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[17] Bates L S, Waldren R P, Teare I D. Rapid determination of free proline for water-stress studies[J]. Plant and Soil, 1973, 39(1): 205–207.

[18] Strain H H, Svec W A. Extraction, separation, estimation and isolation of the chlorophylls[M]//Vernon L P, Seely G R. The chlorophylls. New York: Academic Press, 1966: 21–66.

[19] 张倩, 张洪生, 刘淑梅, 等. 不同高产玉米品种抗旱性的比较研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(30): 125–130.

[20] 李运朝, 王元东, 崔彦宏, 等. 玉米抗旱性鉴定研究进展[J]. 玉米科学, 2004, 12(1): 63–68.