文章编号:1003-8701(2015)06-0026-05

基于主成分分析的花生种质资源苗期抗旱性鉴定与筛选

牟书靓[1,2],李玉发[2],牛海龙[2],李伟堂[2],王佰众[2],王丕武[1]*,何中国[2]*

(1. 吉林农业大学农学院,长春 130118;2. 吉林省农业科学院花生研究所,吉林 公主岭 136100)

摘　要:以273份花生种质资源为试材,于温室模拟干旱胁迫环境,对各种质资源的地上鲜重、地下鲜重、鲜重根冠比、地上干重、地下干重、干重根冠比、主茎高等7项形态指标进行测定,对7项指标的相对抗旱系数进行主成分分析。结果表明,地下鲜重和地下干重相对抗旱指数载荷量最大,将其作为花生种质资源抗旱筛选的主要评价指标,并对273份花生种质资源的抗旱性进行排序,最终将花生种质资源按抗旱性强弱分为5类,8份高度干旱敏感种质资源;46份干旱敏感种质资源;188份中等抗旱种质资源;24份抗旱种质资源;7份高度抗旱种质资源。

关键词:花生;种质资源;苗期;抗旱性;主成分分析

中图分类号:S565.2　　**文献标识码**:A

Identification and Evaluation of Drought Resistance of Peanut Germplasm Resources at Seeding Stage Based on Principal Components Analysis

MU Shu-jing[1,2], LI Yu-fa[2], NIU Hai-long[2], LI Wei-tang[2], WANG Bai-zhong[2], WANG Pi-wu[1]*, HE Zhong-guo[2]*

(1. *College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun* 130118;

2. *Peanut Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling* 136100, China)

Abstract: 273 peanut germplasm resources were cultivated under simulated drought-stressed condition in greenhouse. Seven morphologic indexes were tested for all varieties, which included fresh weight of above ground, fresh weight of below ground, fresh R/T, dry weight of above ground, dry weight of below ground, dry R/T, length of main stem. Principal component analysis was performed by relative drought resistance coefficient on the seven indicators. The results showed that relative fresh weight and relative dry weight of below ground had the maximum weight in values, which were used as the main indices for evaluating and ranking the drought-resistant capabilities of 273 peanut materials. Five groups of drought-resistance capabilities of these peanut materials were detected based on Principal Components Analysis, i.e., 8 germplasm resources were highly drought-sensitive, 46 germplasm resources were drought-sensitive, 188 germplasm resources were medium drought-resistant, 24 germplasm resources were drought-resistant, and 7 germplasm resources were highly drought-resistant.

Key words: Peanut; Germplasm resources; Seeding stage; Drought resistance; Principal components analysis

我国花生种植面积位居世界第二位,年均总产1342万t,居世界首位,占世界花生总产的39.47%[1]。进入“十一五”以来,吉林省花生得到迅速发展,一跃发展成为继玉米、水稻、大豆之后的第四大种植作物,是全省抗旱避灾的首选作物和改造中低产田的重要作物[2]。

花生较耐旱和耐瘠薄,是发展旱作农业的理想作物。我国花生主要种植在年降雨量少于260 mm的半干旱地区和干旱地区。每年由于干旱环境制约,花生的总产量受到不同程度的影响,直接经济损失超过数十亿元。除引起减产外,干旱胁迫还能使花生品质下降、黄曲霉污染加重等危害。由于自然气候和农业生产条件的限制,在我

收稿日期:2015-06-30

基金项目:吉林省农业创新工程项目(C4207350101);吉林省科技厅重大攻关专项(20130204040NY)

作者简介:牟书靓(1990-),女,在读硕士,从事花生资源抗旱鉴定工作。

通讯作者:王丕武,男,教授,E-mail: peiwuw@yahoo.com.cn

何中国,男,研究员,E-mail:Zg_h@163.com

国乃至我省能够进行人工灌溉的花生仅占极少部分。因此,在重视旱作高产高效栽培技术的同时,挖掘利用抗旱种质资源具有重要的现实意义。开展花生种质资源抗旱性评价与鉴定,在为抗旱育种提供有价值的种质资源的同时,还可以提高抗旱育种世代材料选择的准确性,提高选择效率,加快育种进程。本研究针对273份花生种质资源进行抗旱性鉴定及筛选,研究结果将对花生抗旱新品种选育提供试验依据。

1　材料与方法

1.1　材料的培养与处理

抗旱试验于2014年5月在吉林省农业科学院温室进行,273份花生种质资源材料由吉林省农业科学院花生研究所提供。以蛭石作为栽培介质,营养钵高9 cm、直径9 cm,每份材料20个钵,设正常供水(Well-watered)和胁迫处理(Drought-stressed)两组,每组10个钵,每钵1株。两组同时正常供水,幼苗长至4片对生叶时,进行胁迫处理。对照组每2 d每钵浇水50 mL,胁迫处理组每2 d浇灌30%的PEG6000溶液50 mL,7 d后选取长势一致的幼苗进行各指标测定,3次重复。

1.2　指标测定方法

胁迫7 d后,分别测定正常供水组与胁迫处理组幼苗的株高、地上鲜重、地下鲜重,测量后置于105℃的烘箱内杀青,90℃下烘至恒重。根冠比用地下部与地上部的鲜重或干重的比值。

1.3　数据处理

采用Microsoft Excel 2007计算试验数据平均值,为了减少各花生种质资源间固有的差异,对各测定指标均采用干旱胁迫处理和对照测定的相对值,相对值比绝对值能更好地反映不同花生种质资源的抗旱性,各性状抗旱系数=水分胁迫下性状测定值/正常供水下性状测定值。用SPSS 20.0进行相关性分析和PCA分析,依据各成分向量矩阵及主成分贡献率得到各品种综合得分(见公式1、2、3),在此基础上对花生种质资源的抗旱性进行综合评价。

2　结果与分析

2.1　不同花生种质资源对苗期干旱胁迫的响应

由表1可知273份花生种质资源的形态指标在非胁迫和胁迫条件下的平均值、极值、标准差、变异系数均存在较大的差异。在胁迫条件下不同种质资源间也存在较大的差异,其抗旱性也大不相同。各性状测定指标在干旱胁迫条件下几乎都小于对照。

结果反映出花生种质资源在受到干旱胁迫时地上鲜重、地下鲜重变化幅度较大,这是由于植株受到干旱胁迫时,水分吸收较少造成的。而植物的地上干重、地下干重及地上高度变异幅度不大,可能是由于胁迫时间短造成的。尽管干旱胁迫对植物水分吸收造成了较大的影响,但是干物质的积累受到的影响较小。

表1　花生种质资源形态指标统计分析

性状	处理	最大值	最小值	平均值	变异幅度	标准差	变异系数(%)
地上鲜重(g)	Well-watered	8.15	1.04	4.41	7.11	1.20	27
	Drought-stressed	4.15	0.69	1.79	3.47	0.62	34
地下鲜重(g)	Well-watered	2.84	0.18	1.28	2.66	0.54	42
	Drought-stressed	2.59	0.30	1.02	2.29	0.41	40
鲜重根冠比	Well-watered	0.71	0.10	0.29	0.61	0.09	32
	Drought-stressed	2.57	0.16	0.65	2.40	0.38	59
地上干重(g)	Well-watered	2.65	0.30	1.33	2.35	0.37	28
	Drought-stressed	1.53	0.44	0.91	1.09	0.19	21
地下干重(g)	Well-watered	0.60	0.07	0.30	0.53	0.10	33
	Drought-stressed	0.70	0.16	0.37	0.54	0.10	27
干重根冠比	Well-watered	0.52	0.10	0.23	0.41	0.05	24
	Drought-stressed	0.88	0.16	0.42	0.71	0.10	25
主茎高(cm)	Well-watered	30.95	14.20	24.33	16.75	3.02	12
	Drought-stressed	29.05	14.85	22.30	14.20	2.36	11

由表2可知,除相对地下干重在胁迫条件下测定值间差异不显著外,花生种质资源苗期其他性状在干旱胁迫条件下测定值间差异极显著。除相对地下干重、相对干重根冠比和相对地上高度

外，种质资源与胁迫互作差异显著，说明干旱胁迫对花生种质资源苗期的鲜重指标影响明显。

表2 花生种质资源对干旱胁迫响应的方差分析

性状	方差结果	品种	胁迫处理	品系×胁迫处理
X_1	F	2.275	2190.236	1.972
	P	<0.001	<0.001	<0.001
X_2	F	4.014	116.013	1.757
	P	<0.001	<0.001	<0.001
X_3	F	2.906	597.068	2.256
	P	<0.001	<0.001	<0.001
X_4	F	6.032	313.749	2.140
	P	<0.001	<0.001	<0.001
X_5	F	2.629	1.761	1.207
	P	<0.001	0.185	0.034
X_6	F	3.130	174.002	1.395
	P	<0.001	<0.001	0.001
X_7	F	2.039	159.800	1.165
	P	<0.001	<0.001	0.069

注：X_1：相对地上鲜重；X_2：相对地下鲜重；X_3：相对鲜重根冠比；X_4：相对地上干重；X_5：相对地下干重；X_6：相对干重根冠比；X_7：相对主茎高，下同

2.2 不同花生种质资源苗期各性状的相关性分析

对苗期干旱胁迫下7个性状用双变量Pearson简单相关系数法进行相关性分析(表3)，结果表明各性状间均有相关性，大多数性状间达到为显著甚至极显著水平。相对主茎高与相对地上鲜重和相对地上干重呈极显著正相关，相关系数分别为0.396**和0.232**；相对主茎高与相对地下鲜重和相对地下干重呈显著正相关，相关系数分别为0.119*和0.124*；相对主茎高与相对鲜重根冠比呈极显著负相关，相关系数为0.215**；相对主茎高与相对干重根冠比呈显著负相关，相关系数为0.132*。相对干重根冠比与相对地下鲜重、相对鲜重根冠比和相对地下干重呈极显著正相关，相关系数分别为0.389**、0.447**和0.495**；相对干重根冠比与相对地上干重呈极显著负相关，相关系数为0.163**。相对地下干重与相对地上鲜重、相对地下鲜重、相对鲜重根冠比和相对地上干重呈极显著正相关，相关系数分别为0.467**、0.800**、0.341**和0.754**。相对地上干重与相对地上鲜重和相对地下鲜重呈极显著正相关，相关系数分别为0.598**和0.612**。相对鲜重根冠比与相对地上鲜重呈极显著负相关，相关系数为0.420**；相对鲜重根冠比与相对地下鲜重呈极显著正相关，相关系数为0.609**。相对地下鲜重与相对地上鲜重呈极显著正相关，相关系数为0.384**。

表3 干旱胁迫下花生种质资源各萌发性状的相关系数

性状	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
X_2	0.384**					
X_3	−0.420**	0.609**				
X_4	0.598**	0.612**	0.068			
X_5	0.467**	0.800**	0.341**	0.754**		
X_6	−0.098	0.389**	0.447**	−0.163**	0.495**	
X_7	0.396**	0.119*	−0.215**	0.232**	0.124*	−0.132*

注：*和**表示两指标相关性达到显著和极显著水平，表中数值表示Pearson系数

2.3 不同花生种质资源苗期抗旱性主成分分析

主成分分析(Principal components analysis，PCA)是在利用降维的思想，把多指标转化为少数几个综合指标。在统计分析中是一种分析、简化数据集的技术。常用减少数据集的维数，同时保持数据集对方差贡献最大的特征。本试验中，干旱胁迫下测得数据经主成分分析，得到如表4所示的结果，第ⅰ主成分的贡献率为43.65%，第ⅱ主成分的贡献率为29.95%。二者的累计贡献率为72.60%，占有较大的比例，因此可以将前两个作为分析的有效成分。表5从第ⅰ主成分表达式可以看出，地下鲜重和地下干重都占有较高的载荷，分别为0.916和0.949，这说明第ⅰ主成分由地下部分决定，则可初步判断第ⅰ主成分反映的是花生种质资源在干旱胁迫下的地下部分情况；在

表4 7个主成分特征值及累计贡献率

主成分	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
ⅰ	3.06	43.65	43.65
ⅱ	2.05	29.30	72.95
ⅲ	0.82	11.76	84.71
ⅳ	0.72	10.25	94.96
ⅴ	0.29	4.09	99.05
ⅵ	0.05	0.70	99.75
ⅶ	0.02	0.24	99.99

第ⅱ主成分中鲜重根冠比和干重根冠比占有较大的载荷,可以反映苗期根冠比的情况。

通过主成分分析的方法,得出7个相互独立的成分,其累计贡献率达到99.99%,即这7个成分可以完全代表变量的所有变异程度。前2个主成分的累计贡献率达到72.95%,可代表变量的绝大多数信息,为了方便运算及形象展示,可用前2个主成分描述变异。

表5　各成分向量矩阵

主成分	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
ⅰ	0.565	0.916	0.397	0.795	0.949	0.382	0.243
ⅱ	−0.695	0.218	0.795	−0.387	0.077	0.650	−0.558

表5为各成分向量矩阵,则可获得以下公式。

$$Y_1=0.565X_1+0.916X_2+0.397X_3+0.795X_4+0.949X_5+0.382X_6+0.243X_7 \quad \cdots\cdots(1)$$

$$Y_2=-0.695X_1+0.218X_2+0.795X_3-0.387X_4+0.077X_5+0.650X_6-0.558X_7 \quad \cdots\cdots(2)$$

根据各花生种质资源Y_1和Y_2的值,各品种的综合得分公式为:

$$Y=0.4365Y_1+0.293Y_2 \quad \cdots\cdots(3)$$

计算后得到的值越大则表示其抗旱性越强,由此得到表6,而将花生种质资源苗期抗旱程度分成5种不同的类型。

表6　各花生种质资源抗旱程度划分

抗旱类别	种质资源
I: 高度干旱敏感	8(濮花23、誉宇1号、吉花07-8、铁花3号、吉花07-1、吉花07-3等)
II: 干旱敏感	46(锦2010、濮花24、锦9818、锦2001、锦9938、锦9804等)
III: 中等抗旱	188(吉花2号、吉花0313、豫花9327、金花13号、双花1号、鲁花12等)
IV: 抗旱	24(403-10、吉花08-36、大粒后代、C-28、吉花4号、锦花7号等)
V: 高度抗旱	7(花育24、吉花08-38、C-46、皖花4、C-29、吉花09-9等)

2.4　不同花生种质资源苗期抗旱情况分析

经过计算273份花生种质资源可以分为5种不同的类型(如表6所示),从第I类到第V类抗旱性依次增强。第I类属于抗旱性最弱的高度干旱敏感(Y<1.5)品种,含有濮花23、誉宇1号、吉花07-8、铁花3号、吉花07-1、吉花07-3等8份资源;第II类属于抗旱性较弱的干旱敏感(1.5≤Y<2)资源,含有锦2010、濮花24、锦9818、锦2001、锦9938、锦9804等46份种质资源;第III类属于抗旱性一般的中等抗旱(2≤Y<4)资源,含有吉花2号、吉花0313、豫花9327、金花13号、双花1号、鲁花12等188份种质资源;第IV类属于抗旱性较强的抗旱(4≤Y<5)资源,含有403-10、吉花08-36、大粒后代、C-28、吉花4号、锦花7号等24份资源;第V类属于抗旱性最强的高度抗旱(y≥5)资源,含有花育24、吉花08-38、C-46、皖花4、C-29、吉花09-9等7份种质资源。

3　讨　论

3.1　花生抗旱鉴定时期的选择

一般来讲,花生生育期分为播种出苗期、苗期、花针期、结荚期和饱果成熟期5个主要生育时期。尽管前人的研究表明不同时期干旱处理对产量影响的差异较大,其中以结荚期和花针期对产量的影响最大,苗期干旱对产量影响最小[3-4]。但与作物生长的其他时期相比较,苗期鉴定抗旱性具有时间短、容量大、重复性强、易于活体鉴定、环境影响小等优点,仍被广大科研工作者所选用[5-6]。本研究选择苗期对273份花生种质资源进行抗旱鉴定。

3.2　花生抗旱鉴定指标的确立

作物抗旱性是复杂的数量性状,受多基因控制,不仅与作物类型、基因型、表型性状及生理生化性状有关,而且与环境因子(水分胁迫发生的强度、时期及持续时间等)密切相关,不同品种的抗旱机制可能不同。景蕊莲指出:一个品种在特定地区的抗旱性是由自身的生理抗性和结构特性以及生长发育进程的节奏与农业气候因素的配合程度决定的[7]。因此,对任何单项指标和机理的研究都有一定的局限性,不能有效、准确地评价植物抗旱性,应从形态、生理、生化等众多指标中筛选若干抗旱指标进行综合评价。

相对生理生化指标，形态指标具有操作简单、重复性强等优点，同时大量研究表明，根系的生长具有较大的可塑性，土壤水分状况影响植物根系的形态发育、生理活性和干物质积累及分配[8-11]。丁红等[12]研究表明，抗旱型品种根系较发达，具有较大的根系生物量、总根长、总根系表面积。干旱胁迫使抗旱型品种根系总表面积和体积增加，而干旱敏感型品种则相反。土壤水分亏缺条件下，花生主要通过增加深层土壤内根长、根系表面积和体积等形态特性，优化空间分布构型，以调节植株对水分的利用。

在花生苗期，叶片干重占了全株干重的绝大部分，苗期相对生长量较高，但绝对生长量不大。研究人员围绕地上指标的选择做了大量研究。陈政文等[5]以29个花生品种为例，对苗期水分胁迫下的主茎高、分枝数、地上部鲜重、地上部干重、叶片鲜重、叶片干重、比叶面积、叶绿素a、叶绿素b、叶绿素a+b、类胡萝卜素、叶片含水量、地上部含水量等13个形态、生理特征进行分析和甄别，得到主茎高、分枝数、地上部干重、叶片干重、比叶面积共5个与花生抗旱性有关的特征指标。

3.3 花生抗旱评价体系的选择

作物抗旱性强弱的鉴定和评价，不仅与筛选出的抗旱指标有关，选用的评价方法和标准也非常重要。作物抗旱性缺乏适当的标准评价体系已成为抗旱性改良的关键问题。作物抗旱性评价标准大体可分为直接评价和综合评价两类，以产量性状为主的直接评价标准有抗旱系数、抗旱指数、敏感指数、干旱伤害指数等，综合评价法有抗旱总极值法、抗旱性隶属函数法、灰色关联分析法等。

仅使用某些指标的绝对值比较其抗旱性，不能消除品种（系）间固有差异的影响，必然影响判断的准确性。所以，选择不同胁迫环境下各指标的相对值进行分析，更能体现抗旱性的内涵，消除了品种(系)间的固有差异，可以真正比较出品种（系）抗旱性大小。同时，用相对值进行分析时，不仅同一指标间可以直接比较，不同指标间也可进行比较，指标间的变化趋势十分明显，可比性更强[13-16]。

张智猛等[17]基于隶属函数方法根据多个性状指标构建了一个抗旱性综合指标，但并没有严格的筛选出与花生抗旱性相关的形态、生理指标，认为其所检测的初始形态、生理指标值都与花生抗旱性有关，存在可解释性差的缺陷。鉴于此，陈政文等[5]基于支持向量机（support vector machine, SVM）构建了一种非线性筛选模型，利用SVM交叉测试逐个评估各个特征因子，以MSE最小原则逐步剔除对模型有不利影响的特征因子，并通过SVM模型显著性测验与单因子效应分析检测，验证了其有效性。基于该模型，不仅特征指标测定方便快捷，并且仅在苗期就能够活体鉴定花生品种的抗旱性，能大幅度缩短花生抗旱育种的周期，降低培育费用，并能有效避免育种材料选择的盲目性。

3.4 花生苗期抗旱性的综合评价

苗期是植物生长可能遇到的首个干旱胁迫时期，也是实现苗全、苗齐的重要时期。通过快速、准确而简便的分析方法，筛选出具有苗期抗旱性的花生资源，具有重要意义。本研究对273份花生种质资源苗期进行抗旱性鉴定时，选择地上鲜重、地下鲜重、鲜重根冠比、地上干重、地下干重、干重根冠比、主茎高作为指标，利用主成分分析法进行综合评价花生品种的抗旱性，实验结果表明，干旱胁迫对花生资源的根部干鲜重影响极为显著，这也与前人的研究结果相一致。

4 结 论

本试验通过主成分分析，将273份花生种质资源按照抗旱性强弱分为5大类，濮花23、誉宇1号、吉花07-8、铁花3号、吉花07-1、吉花07-3等8份高度干旱敏感资源；锦2010、濮花24、锦9818、锦2001、锦9938、锦9804等46份干旱敏感资源；吉花2号、吉花0313、豫花9327、金花13号、双花1号、鲁花12等188个中等抗旱资源；403-10、吉花08-36、大粒后代、C-28、吉花4号、锦花7号等24份抗旱品种资源；花育24、吉花08-38、C-46、皖花4、C-29、吉花09-9等7个高度抗旱资源。

参考文献：

[1] FAO . Statistical Database. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations , Rome. http://www.fao.org , 2008 .

[2] 白 雪，王柏涛 . 吉林省农科院花生课题研究技术见成效[N] . 中国食品报，2013-05-24 .

[3] 李俊庆 . 不同生育时期干旱处理对夏花生生长发育的影响[J] . 花生学报，2004，33(3)：33-35 .

[4] 程 曦，赵长星，王铭伦，等 . 不同生育时期干旱胁迫对花生抗旱指标值及产量的影响[J] . 青岛农业大学学报(自然科学版)，2010，27(4)：282-284 .

[5] 陈政文，匡逢春，张学文 . 基于支持向量机的花生苗期抗旱指标筛选[J] . 中国农学通报，2013，29(15)：31-36 .

[6] 厉广辉，张 昆，刘风珍，等 . 不同抗旱性花生品种结荚期叶片生理特性[J] . 应用生态学报，2014，25(7)：1988-1996 .

（下转第69页）

表7　28%克福多绿豆种衣剂对胞囊线虫病防治效果(2011～2013年)　　%

地点	2011			2012			2013		
	发病率	CK	防效	发病率	CK	防效	发病率	CK	防效
通榆县	4.2	22.5	81.3	2.1	13.1	83.9	6.7	32.2	79.2
团结乡	4.4	22.5	80.4	2.6	13.1	80.2	6.1	32.2	81.1
	4.6	22.5	79.6	2.3	13.1	82.4	6.4	32.2	80.1
洮北区	4.0	18.7	78.6	1.8	9.8	81.6	4.3	24.2	82.2
洮东乡	3.5	18.7	81.2	2.3	9.8	76.5	4.9	24.4	79.1
小光村	3.6	18.7	80.7	1.6	9.8	83.7	4.7	24.2	80.6
洮南市	4.3	21.2	79.7	2.3	12.7	81.8	6.8	32	78.8
永茂乡	3.8	21.2	82.1	2.8	12.7	78.0	6.6	32.0	79.4
	4.2	21.2	80.2	2.2	12.7	82.7	6.9	32.0	78.4
年平均防效		80.4			81.2		79.9		
平均防效					80.5				

3　结论与讨论

通过室内抑菌圈试验、种子出苗安全性试验、室内防效、室外田间小区和大面积推广试验,筛选出防效好,安全性高的2号种衣剂,即28%克福多绿豆种衣剂(含量:15%多菌灵+5%福美双+8%克百威)。防治根腐病、菌核病、胞囊线虫病的效果分别为81.5%、59.66%、80.5%。3号种衣剂(33%克福多)虽然防效最高,但对种子出苗有一定影响,而且与2号种衣剂(28%克福多)在防效上差异不显著,因此确定2号种衣剂作为今后生产上应用推广的产品。

室内防治试验的效果要高于田间防治效果,可能是室内花盆播种的出苗时间要比田间播种出苗时间短,病菌感染机会少,所以防效高。

由于菌核病存在二次侵染,而种衣剂只对根腐型菌核有一定防效,这一点与试验室内抑菌试验结果并不矛盾。所以单用种衣剂防菌核病效果不是很明显。必须配合花期叶面喷40%菌核净1000倍液和50%农利灵1000～1500倍液,其防效可达80.3%,这方面笔者也做了详细的研究,今后会陆续报道,在此不再详述。

参考文献:

[1] 汪立刚,孙克刚,张学斌,等.大豆种衣剂有效成分配比优先级应用研究Ⅲ 大豆种衣剂优先配方的田间应用[J].种子,2001(4):5-6.

[2] 汪立刚,张学斌.大豆种衣剂有效成分配比优选及应用研究Ⅰ大豆种衣剂有效成分的选择及应用[J].种子,2001(1):22-23.

[3] 周喻彻.种子包衣剂的研究及应用现状综述[J].吉林农业科学,1993(4):88-90.

[4] 孙毅民.金斧种衣剂防治绿豆根腐病的初步研究[J].作物杂志,2006(2):80-81.

(责任编辑:王　昱)

(上接第30页)

[7] 景蕊莲.作物抗旱研究的现状与思考[J].干旱地区农业研究,1999,17(2):79-85.

[8] 李文饶,张岁岐,丁圣彦,等.干旱胁迫下紫花苜蓿根系形态变化及与水分利用的关系[J].生态学报,2010,30(19):5140-5150.

[9] 韩希英,宋凤斌.干旱胁迫对玉米根系生长及根际养分的影响[J].水土保持学报,2006,20(3):170-172.

[10] Hund A, Ruta N, Liedgens M. Rooting depth and water use efficiency of tropical maize inbred lines, differing in drought tolerance[J]. Plant and Soil, 2009(318): 311-325.

[11] Kato Y, Okami M. Root growth dynamics and stomatal behaviour of rice(*Oryza sativa* L.) grown under aerobic and flooded conditions[J]. Field Crops Research, 2010(117): 9-17.

[12] 丁　红,张智猛,戴良香,等.不同抗旱性花生品种的根系形态发育及其对干旱胁迫的响应[J].生态学报,2013,33(17):5169-5176.

[13] 王育红,姚宇卿,吕军杰,等.花生抗旱指标研究初报[J].干旱地区农业研究,2002,20(3):89-92.

[14] 王贺正,马　均,李旭毅,等.水稻开花期抗旱性鉴定指标筛选[J].作物学报,2005,31(11):1485-1489.

[15] 胡标林,余守武,万　勇,等.东乡普通野生稻全生育期抗旱性鉴定[J].作物学报,2007(33):425-432.

[16] 王贺正.水稻抗旱性研究及其鉴定指标的筛选[D].雅安:四川农业大学,2007.

[17] 张智猛,万书波,戴良香,等.花生抗旱性鉴定指标的筛选与评价[J].植物生态学报,2011,35(1):100-109.

(责任编辑:范杰英)