

玉米自交系抗旱相关性状的主成分分析与模糊聚类

胡树平¹, 苏治军¹, 于晓芳¹, 陈春梅², 高聚林¹,
吕佳雯³, 王鹏飞¹, 许子清⁴

(1. 内蒙古农业大学, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古种子管理站, 内蒙古 呼和浩特 010010;
3. 包头市农业科学研究所, 内蒙古 包头市 014013; 4. 包头市种子管理站, 内蒙古 包头市 014010)

摘要: 采用主成分分析(Principal Components Analysis, PCA)和模糊聚类(Fuzzy Clustering, FC)分析, 对 51 个玉米自交系在正常灌溉和干旱胁迫条件下的主要农艺形状及部分生理指标进行分析并对其抗旱性进行综合评价。主成分分析结果表明, 4 个综合主成分(2012TMC: 丰产性因子-雄穗发育性因子, 光合调控性因子, 生长发育性因子, 繁茂性因子; 2012HT: 丰产性因子-生长发育性因子, 光合调控因子, 繁茂性因子, 雄穗发育因子)可代表两个地区(2012TMC 和 2012HT)玉米自交系抗旱性 91.05% 的原始数据信息量。利用抗旱性度量值进行模糊聚类, 可将 51 个玉米自交系的抗旱性划分为 4 类, 即耐旱、中度耐旱、中度干旱敏感和干旱敏感。其中 H201、H21、英 64、吉 842、早 49、吉 8415、东 46 和沈 137 抗旱性强且稳定性好。利用主成分分析, 结合模糊聚类的方法进行玉米自交系的抗旱性综合评价, 不仅可以避免单一指标的片面性, 而且可以较好地揭示玉米自交系抗旱相关性状与其抗旱性的关系。

关键词: 玉米自交系; 农艺性状; 生理指标; 抗旱性; 主成分分析; 模糊聚类
中图分类号: S513; S503.4 **文献标志码:** A

Principal component analysis and fuzzy clustering on drought tolerance related traits of maize inbred lines

HU Shu-ping¹, SU Zhi-jun¹, YU Xiao-fang¹, CHEN Chun-mei², GAO Ju-lin¹,
LV Jia-wen³, WANG Peng-fei¹, XU Zi-qing⁴

(1. College of Agriculture, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China;
2. Seed Administration Station of Inner Mongolia, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China; 3. Agriculture Scientific Research Institute of Baotou, Baotou, Inner Mongolia 014013, China; 4. Seed Administration Station of Baotou, Baotou, Inner Mongolia 014010, China)

Abstract: The purpose of this paper is to explore the methods of drought tolerance evaluation and to make overall evaluation on the relationship between some agronomic traits as well as physiological indicators, such as photosynthesis, and the drought tolerance of maize inbred lines cultivars. Principal Component Analysis(PCA) and Fuzzy Clustering(FC) are used in the paper aimed at assessing the drought tolerance of 51 maize inbred lines cultivars based on some related performance under the conditions of normal irrigation and drought stress. The result of PCA shows that 4 principal components can represent 91.05% (the average between 2012TMC and 2012HT) information of the raw data of the traits related to drought tolerance of maize inbred lines. According to FC, the drought tolerance of those 51 maize inbred lines cultivars can be divided into 4 parts, drought tolerance, moderate drought, moderate drought sensitive and drought sensitive. Which could reflect the drought characteristics of the origins and planting areas of those cultivars. Among those cultivars, the drought tolerance of H201, H21 and Ying 64 are better. Based on the above contents, it comes to a conclusion that it is an effective way to comprehensively evaluate the drought tolerance of foxtail millet by Principal Component Analysis together with Fuzzy Clustering, which not only can avoid the bias and the instability of single factor analysis, but also better reflect the relationship between different drought tolerance related traits and drought tolerance in maize inbred lines.

Keywords: maize inbred lines; agronomic trait; physiological indexes; drought tolerance; principal component analysis; fuzzy clustering

收稿日期: 2016-01-18
基金项目: 内蒙古杰出青年基金(2011JQ02); 国家玉米产业技术体系(CARS-02-63); 国家粮食丰产科技工程(2011BAD16B13, 2012BAD04B04, 2013BAD07B04, 2011BAD16B14)
作者简介: 胡树平(1964—), 男, 高级农艺师, 主要从事作物生理生态研究。E-mail: bthsp88@163.com。
通信作者: 高聚林(1964—), 男, 教授, 主要从事作物生理生态及决策系统研究。E-mail: nmgaojulin@163.com。

干旱是植物经常遭受到的一种逆境,全世界总耕地面积中干旱、半干旱地区约占 43%,由此造成的产量减少超过所有其它自然灾害的总和^[1]。据统计,我国玉米 2/3 的面积分布在西南、西北、华北和东北依靠自然降雨的丘陵旱地或平原旱地上。玉米不同品种对干旱的适应性和抵御能力不同,发掘利用我国玉米抗旱种质资源进行遗传改良已迫在眉睫^[2]。在利用玉米自交系抗旱种质资源之前,有必要对其加以抗旱性鉴定和筛选。由于玉米抗旱机制的复杂性,仅用某一农艺性状或生理指标对其衡量缺乏可靠性,本研究利用多个指标,采用主成分分析和模糊聚类的方法,对玉米自交系抗旱性加以合理的评价。

多年来,国内外学者在作物抗旱机理和抗旱性遗传改良研究方面做了大量工作^[3],并从不同角度研究了作物抗旱性鉴定的方法和指标^[4-6]。在利用多个指标进行综合评判时,由于次要指标的引入往往造成研究结果的不一致。主成分分析法是因子分析的一个特例,是利用降维的思想,在损失较少信息的前提下,用来描述隐藏在—组被测变量中的一些基本的、但又无法直接测量到的隐性变量,通过主成分分析进行变量的分离可以从总体上研究干旱等逆境胁迫对作物的影响。主成分分析可以准确地确定各指标权重,进而找出数目较少且能控制所有变量的主成分^[7]。孟庆立等^[8]将主成分分析用于谷子的抗旱生理研究。潘相等^[9]将主成分分析用于评价大豆品种的抗旱性,被认为准确可靠,与实际情况相符。玉米自交系抗旱性鉴定若以单项指标或人为加权后的多指标难以全面客观地衡量玉米自交系的抗旱性^[10-11]。本研究尝试利用多指标衡量玉米自交

系抗旱性,同时为避免主观因素的干扰,采取了主成分分析和模糊聚类的方法,另外对农艺性状和生理指标(光合指标)与抗旱性之间的关系进行了探讨。

本文主要通过对作物抗旱性分析评判方法的研究,试图解决在抗旱性评价过程中,使用单一指标的片面性和不可靠性以及多指标权数确定的主观性,同时明确农艺性状和生理指标与抗旱性之间的关系。

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点

试验在 2012 年分别于土默川平原灌区(包头市土默特右旗,经度 110. 52°、纬度 40. 57°,代码 2012TMC)和河套平原灌区(巴彦淖尔市临河区,经度 107.6°、纬度 40.31°,代码 2012HT)进行,将 51 份玉米自交系进行抗旱性鉴定。试验采用 α - lattice 设计(3 × 17),分干旱胁迫和正常灌溉 2 个处理,正常灌溉处理是在播种前、出苗后 20 d 和 40 d、吐丝期、授粉完成后 10 d 后各充分灌溉一次,共 5 次;干旱胁迫处理除在吐丝期不灌溉外,其余时期与正常灌溉处理一致,共 4 次,两个处理之间相隔 4 m,每个处理 3 次重复。试验材料采用单行种植,行长 4 m,行距为宽窄行 0.7 m 和 0.3 m,种植密度为 82 500 株·hm⁻²,施肥量及其它田间管理按农户模式进行。

1.1.1 降雨量分布 供试 51 份玉米自交系的吐丝期主要集中在 7 月中、下旬,从一年两点降雨量分布图(图 1)可以看出,2012TMC 7 月中、下旬降雨共计 3.6 mm,2012HT 在这期间没有降雨。可见,两年三地在玉米自交系吐丝期(7 月中、下旬)降雨量不足 4 mm,不会影响该期干旱胁迫处理的试验结果。

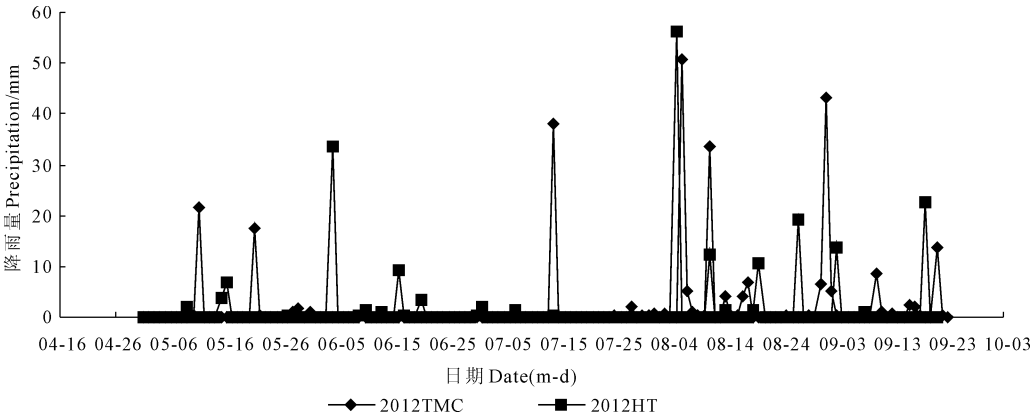


图 1 玉米自交系整个生育期间降雨量的分布

Fig.1 Precipitation distribution map maize inbred lines during the whole growing period

1.1.2 土壤相对含水量 Hsiao^[12]曾将干旱胁迫的程度划分为轻度胁迫、中度胁迫、重度胁迫三种类型,它们的区分标准是土壤相对含水量减低 8%~10%、10%~20%、20%以上。于吐丝期分别测得 2012 年土默川平原灌区、河套平原灌区的土壤含水量变化(图 2),两地在干旱胁迫下分别较正常灌溉下降 16.44%和 14.99%,均属于中度干旱胁迫。

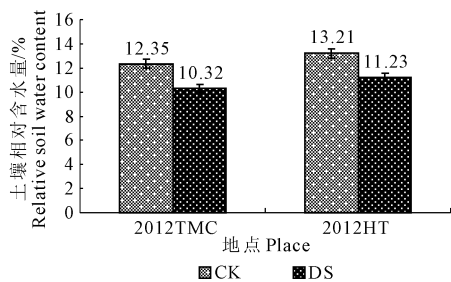


图 2 吐丝期土壤相对含水量

Fig.2 Relative soil water content during silking stage
注:CK: 正常灌溉;DS: 干旱胁迫;
Note: CK: normal irrigation; DS: drought stress

1.2 供试材料

试验选用沈 137、H21、中黄 204、金黄 96B、中 451、杂 C546、E28、东 46、丹 340、冀 53、K22、材 11-8、200B、吉 412、吉 8415、辽 3053、辽 5114、丹 3130、合 344、3189、196、835、黄野四、5213、获唐黄、关 17、8002、吉 818、吉 842、龙抗 11、7884、甸 11、M14、英 64、郑 22、临系 11、铁 7922、S7913、65232 宽、CA156、89-1、SH15、8902、Y75、H201、X178、7537-1、早 49、四至四、种苗 28、PI10 等 51 个玉米自交系为试验材料。

1.3 测定项目与方法

同期对干旱胁迫和正常灌溉 2 个处理进行同步测定。

1.3.1 农艺性状的测定

形态指标:于吐丝期测得株高、穗位、雄穗长度、叶片卷曲度、叶片持绿度、ASI,每行测 5 株。

产量指标:收获期考种测得单株产量、百粒重、穗行数、行粒数、秃尖长、结实株数百分率,每行测 5 株。

1.3.2 叶片光合速率 利用 Li-6400XT 便携式光合作用测定系统(Li-Cor, USA),设定人工光源光强 1 500 μmol·m⁻²·s⁻¹,于吐丝期晴日上午 9:00 至 11:00 对穗位叶进行测定,选取各处理生育进程一致、光照均匀的健康植株,测定光合速率(Pn, μmol·m⁻²·s⁻¹)、气孔导度(Gs, mmol·m⁻²·s⁻¹)、胞间 CO₂ 浓度(Ci, μmol·mol⁻¹)。每个处理重复 3 次。

1.4 数据处理

指标性状的抗旱系数采用 Bouslama^[13]的方法

计算。
指标性状的抗旱系数(DTC) = (干旱胁迫下指标性状值/非胁迫下指标性状值) × 100% (1)

各指标隶属函数值的计算参考 He X Y^[14]的方法:

$$\mu(x) = (x - x_{min}) / (x_{max} - x_{min})$$
 (2)

其中,μ(x)为某个指标性状抗旱系数的隶属函数值,若指标与抗旱性呈负相关,则用 1-μ(x)表示,x 表示某一指标抗旱系数,x_{max}、x_{min}分别表示各参试材料中某一指标抗旱系数中的最大和最小值。

采用 DPS 软件进行主成分和模糊聚类分析。

2 结果与分析

2.1 玉米抗旱相关性状的抗旱系数

由图 3、图 4 和图 5 可以看出,在干旱胁迫下,绝大多数农艺性状指标较对照有不同程度的下降(除雌花开花间隔时间 ASI 和叶片卷曲度),生理指标也呈下降趋势(除 WUE 外),表明在干旱胁迫下,玉米自交系可以通过提高水分利用效率来抵御这一不利环境。根据两地抗旱系数变化幅度的大小,将不同指标对干旱胁迫的敏感程度排序:(2012TMC) WUE > 单株产量 > ASI > Tr > 穗粒数 > 叶片持绿度 > 千粒重 > 结实株数百分率 > Pn > 株高 > Ci > Gs、叶片卷曲度 > 雄穗长 > 穗位高;(2012HT) WUE > ASI > 单株产量 > Tr > 穗粒数 > 叶片持绿度 > 结实株数百分率、千粒重 > Pn > 株高 > Ci > Gs > 叶片卷曲度 > 穗位高 > 雄穗长度。虽然两地的指标影响程度有所差异,但两地表现一致的是 WUE、产量性状、ASI 对干旱敏感程度最大,其次是光合性状,再次是农艺性状。干旱对产量的影响主要表现为降低穗粒数和千粒重,同时减少了结实株数,最终导致单株产量下降。干旱胁迫下叶片缺水,光合速率下降,导致生长发育缓慢,从而使得叶片持绿度、叶片卷曲度、株高、穗位高、雄穗长度呈不同程度的下降,而 ASI 值在一直延长。在所测形态指标、生理指标和产量指标中,ASI 和 WUE 与抗旱系数呈负相关,其余参数均与抗旱系数呈正相关关系。

2.2 主成分分析

以自交系抗旱相关性状的抗旱系数为基础,利用 DPS 软件计算出各主成分的特征向量和贡献率(表 1),并根据各向量的绝对值将不同性状指标划分到不同的主成分之中。同一指标在各因子中的最大绝对值所在位置即为其所属主成分。对两地抗旱相关性状的抗旱系数分析,主成分分析特征值中 4 个成分的累计贡献率在两地分别达到 90.53%和 91.55%,

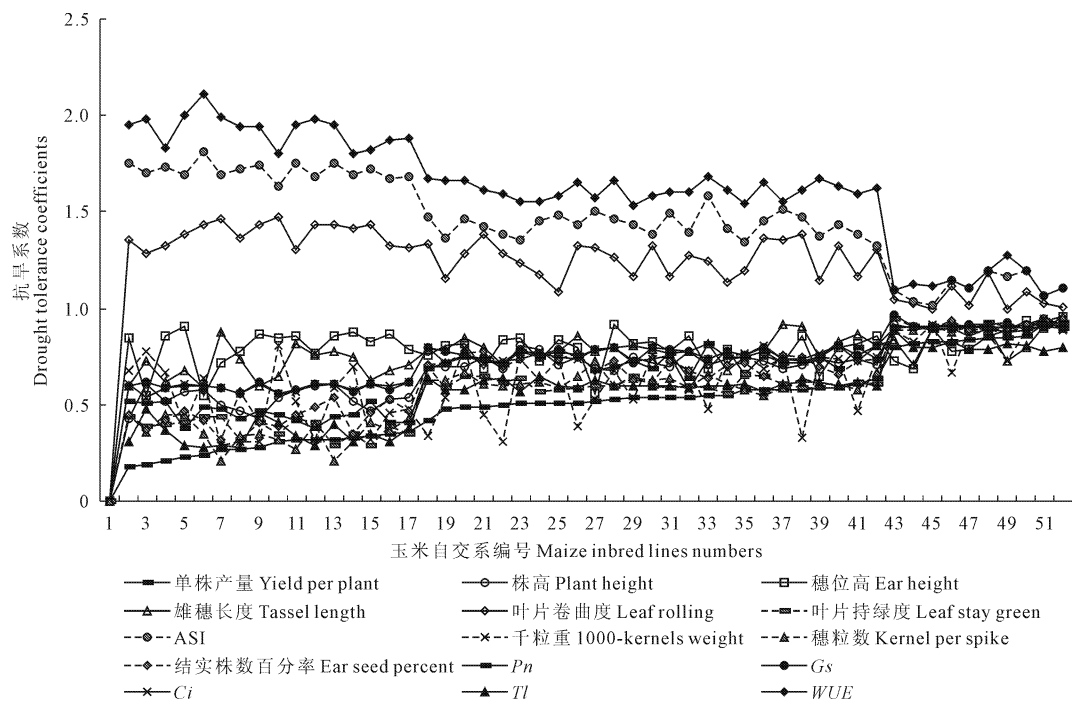


图 3 玉米自交系抗旱相关性状的抗旱系数(2012TMC)

Fig.3 Drought tolerance coefficients of different drought tolerance related traits of maize inbred lines tested(2012TMC)

注:1.临系 11;2.辽 5114;3.中黄 204;4.丹 3130;5. 196;6. E28;7. M14;8. 5213;9. 65232 宽;10.金黄 96B;11. 200B;12. 7884;13. X178;14. SH15;15.杂 C546;16.丹 340;17. K22;18.关 17;19. 835;20. S7913;21.种苗 28;22.吉 412;23.获唐黄;24.龙抗 11;25.郑 22;26. 8002;27. 8902;28. 材 11-8;29.甸 11;30. CA156;31. 7537-1;32.辽 3053;33.吉 818;34.冀 53;35. 3189;36.铁 7922;37. Y75;38.黄野四;39. PI10;40. 89-1;41.合 344;42.早 49;43.沈 137;44. H21;45.吉 8415;46.吉 842;47.中 451;48.四至四;49.东 46;50. H201;51.英 64。

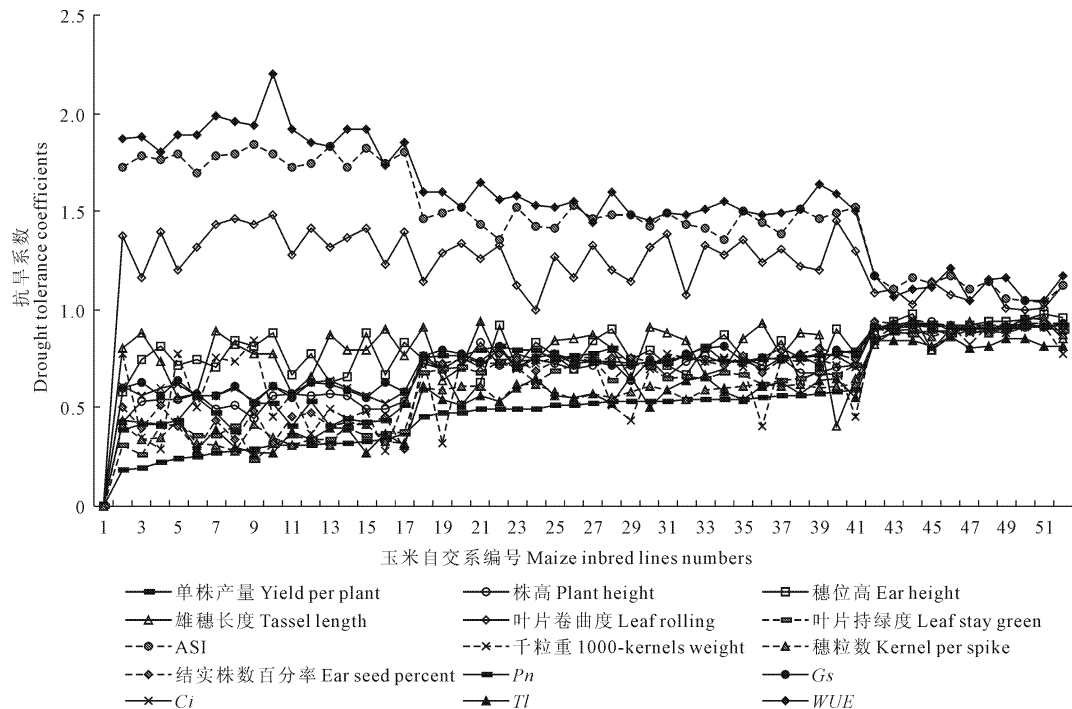


图 4 玉米自交系抗旱相关性状的抗旱系数(2012HT)

Fig.4 Drought tolerance coefficients of different drought tolerance related traits of maize inbred lines cultivars tested(2012HT)

注:1. PI10;2. 材 11-8;3. 7884;4. 吉 412;5. M14;6. 65232 宽;7. 196;8. X178;9. E28;10. 辽 5114;11. SH15;12. 丹 340;13. 铁 7922;14. 200B;15. 黄野四;16. 丹 3130;17. CA156;18. 金黄 96B;19. K22;20. 杂 C546;21. 3189;22. 吉 818;23. 四至四;24. 辽 3053;25. 获唐黄;26. 8002;27. 中 451;28. 关 17;29. 临系 11;30. S7913;31. 龙抗 11;32. 郑 22;33. 8902;34. Y75;35. 种苗 28;36. 甸 11;37. 7537-1;38. 835;39. 5213;40. 中黄 204;41. 冀 53;42. 吉 842;43. 早 49;44. 吉 8415;45. 89-1;46. 沈 137;47. 合 344;48. H21;49. 英 64;50. H201;51. 东 46

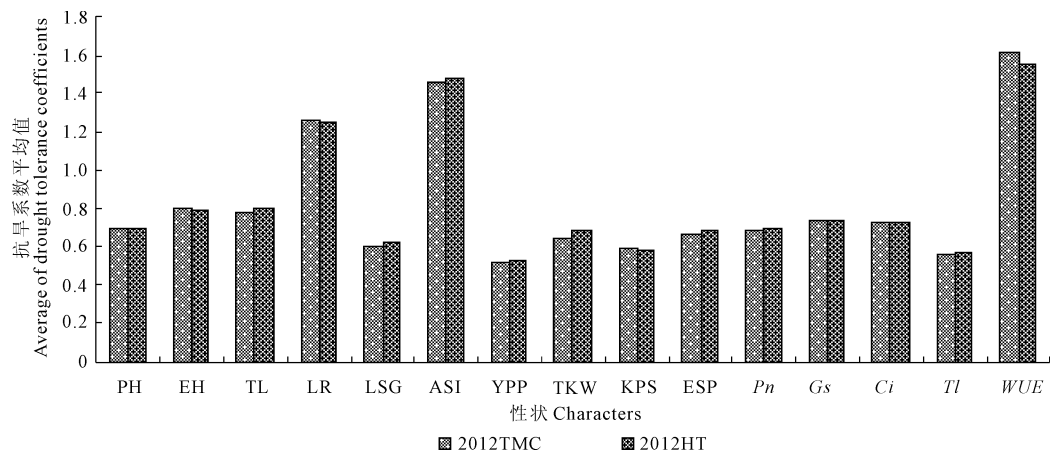


图 5 玉米自交系抗旱相关性状的抗旱系数平均值

Fig.5 Average of drought tolerance coefficients of different drought tolerance related traits of maize inbred lines tested
注:PH:株高;EH:穗位高;TL:雄穗长度;LR:叶片卷曲度;LSG:叶片持绿度;YPP:单株产量;TKW:千粒重;KPS:穗粒数;ESP:结实株数百分率。下同。
Note: PH: plant height; EH: ear height; TL:tassel length; LR: leaf rolling; LSG:leaf stay green; YPP: yield per plant; TKW: 1000 – kemels weight; KPS: kernel per spike; ESP: ear seed percent. The same as below.

表 1 各性状主成分的特征向量及贡献率

2012TMC					2012HT				
性状 Character	因子 1 Component 1	因子 2 Component 2	因子 3 Component 3	因子 4 Component 4	性状 Character	因子 1 Component 1	因子 2 Component 2	因子 3 Component 3	因子 4 Component 4
株高 PH	0.2736	-0.1843	0.3926 *	0.3985 *	株高 PH	0.3024	0.2856	-0.4256 *	0.1836
穗位高 EH	0.1825	0.2514	-0.3871 *	0.4123 *	穗位高 EH	0.2085	0.3247	0.4085 *	0.3254
雄穗长度 TL	-0.4437 *	0.1184	0.3804 *	0.3305	雄穗长度 TL	0.2764	-0.3012	0.2324	0.4037 *
叶片卷曲度 LR	0.2816	-0.3215	0.4165 *	0.2674	叶片卷曲度 LR	-0.4028 *	0.2018	0.3025	0.3985 *
叶片持绿度 LSG	0.3024	0.1085	0.4024 *	0.1215	叶片持绿度 LSG	0.3964 *	0.3035	0.2417	0.4364 *
ASI	-0.4165 *	0.2153	0.2706	-0.2147	ASI	0.2125	0.3827 *	0.2865	-0.3125
单株产量 YPP	0.5365 *	0.3214	0.1236	0.3082	单株产量 YPP	0.4756 *	0.1725	-0.3024	0.1085
千粒重 TKW	0.5145 *	0.1285	0.3075	0.2564	千粒重 TKW	-0.4876 *	-0.3168	0.3725	0.2764
穗粒数 KPS	0.4587 *	-0.3124	0.2118	0.3013	穗粒数 KPS	0.5024 *	0.2724	0.2865	0.3165
结实株数百分率 ESP	0.4625 *	0.1201	-0.3025	0.2117	结实株数百分率 ESP	0.4820 *	0.1815	0.3614	-0.3284
Pn	0.3125	0.4428 *	0.1135	0.3285	Pn	0.3256	-0.4687 *	0.0185	0.1837
Gs	0.2411	0.4324 *	0.0098	-0.1147	Gs	0.2147	0.4526 *	0.1627	0.2064
Ci	-0.3027	0.3815 *	0.1035	0.2564	Ci	0.3325	0.4247 *	0.2045	0.1887
Tr	0.0086	0.3615 *	0.3287	0.3376	Tr	0.4036	0.4175 *	-0.1834	0.2765
WUE	0.2765	-0.4202 *	0.2565	0.2856	WUE	0.4287 *	0.2015	0.2045	0.0084
特征值 Eigen value	5.7615	3.8241	0.8765	0.6985	特征值 Eigen value	6.0084	4.1765	1.4765	0.8364
贡献率 Contribution rate/%	40.1837	29.8365	11.6764	9.8364	贡献率 Contribution rate/%	38.1637	29.3837	14.9967	8.0062
累计百分率 Cumulative percentage/%	40.1837	70.0202	81.6966	91.5330	累计百分率 Cumulative percentage/%	38.1637	67.5474	82.5441	90.5503

而理论上只需达到 85% 以上的累计贡献率即可认为其具有较强的代表性。因此可以用这几个主成分对其抗旱性进行概括分析,提取的 4 个主成分基本上代表了 15 个原始指标的绝大部分信息。

2012TMC 决定第一主成分大小的主要是单株产量、千粒重、结实株数百分率和穗粒数 4 个性状,这几个性状均属于产量性状,可以概括为“丰产性因子”,其次是雄穗长度和 ASI 值,这 2 个性状都与雄

穗有关,可以概括为“雄穗发育性因子”,主成分 1 相当于 5.7615 个原始指标的作用,它可反映原始数据信息量的 40.18%。决定第二主成分大小的主要是 P_n 、 G_s 、WUE、 C_i 和 T_r 等 5 个性状分量。主成分 2 相当于 3.8241 个原始指标的作用,可反映整个原始数据标准差异的 29.84%,且这 4 个指标均属于光合参数指标,可概况为“光合调控性因子”。决定第三主成分大小的主要是叶片卷曲度和叶片持绿度两个性状分量,叶片卷曲度与抗旱性呈负相关,叶片持绿度与抗旱性呈正相关,所以叶片卷曲度的抗旱系数越小,叶片持绿度的抗旱系数越大,其抗旱性越强,且第三主成分越大。第三主成分相当于 0.8765 个原始指标的作用,可反映全部信息量的 11.68%。由于叶片卷曲度和叶片持绿度反映了植株的生长发育程度,可概况为“生长发育性因子”。决定第四主成分大小的主要是株高和穗位高,主成分 4 相当于 0.6985 个原始指标的作用,可反映整个原始数据 9.84% 的信息量。株高和穗位反映了植株的繁茂程度,可以将主成分 4 概括为“繁茂性因子”。

2012HT 决定第一主成分大小的是穗粒数、千粒重、结实株数百分率、单株产量、WUE、叶片卷曲度和叶片持绿度,这 7 个性状中穗粒数、千粒重、结实株数百分率和单株产量属于产量性状,因此可以概括为“丰产性因子”,其次 WUE、叶片卷曲度和叶片

持绿度属于绿叶生长发育性状,因此可以叫“生长发育性因子”,主成分 1 相当于 6.0048 个原始指标的作用,可反映整个原始数据的 38.16%;决定第二主成分大小的主要性状是 P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_r 和 ASI 值,主成分 2 相当于 4.1765 个原始指标的作用,可反映整个数据 29.38% 的信息量,这几个性状均与光合效率有关,因此可以将第二主成分概括为“光合调控性因子”。决定第三主成分大小的主要是株高和穗位高两个性状,主成分 3 相当于 1.4765 个原始指标的作用,可反映全部信息量的 15.00%,且这两个性状均与植株的繁茂程度有关,因此将主成分 3 称为“繁茂性因子”。决定第四主成分大小的性状是雄穗长度,主成分 4 相当于 0.8364 个原始指标的作用,可反映全部信息量的 8.01%,主成分 4 也属于植株的生长发育性状,因此将其概括为“雄穗发育性因子”。

2.3 抗旱性度量值的模糊聚类

首先根据抗旱系数计算出各品种指标的模糊隶属函数值(公式 2),以第一主成分各性状的特征值作为各指标的权数^[12]与之相乘,分不同自交系求和后,即得到抗旱性度量值(D 值)(图 6)。

为了综合评判不同玉米自交系的抗旱性,本研究以各自交系的抗旱性度量值(D 值)进行模糊聚类,可将 51 个玉米自交系的抗旱性划分为 4 类(图 7)。

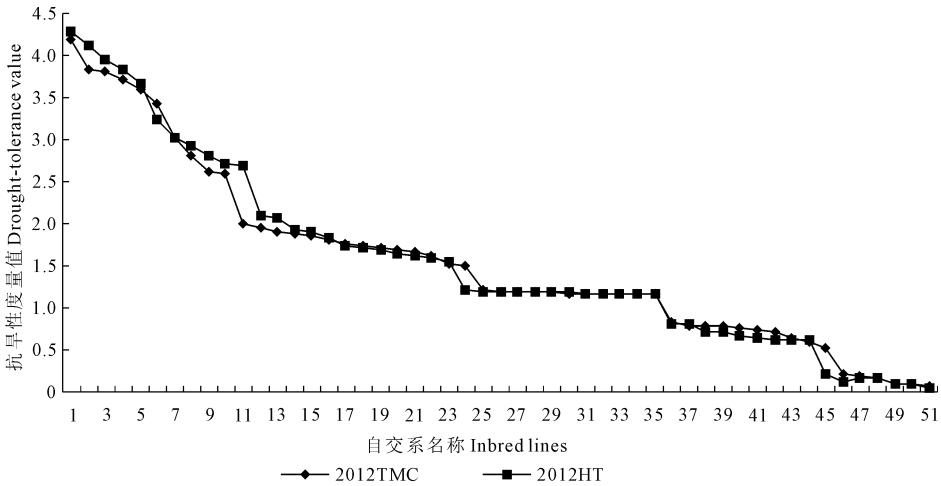


图 6 不同自交系抗旱性度量值排序

Fig. 6 Order of drought tolerance value of different maize inbred lines

注:2012TMC:1. H201;2. H21;3. 英 64;4. 吉 842;5. 四至四;6. 早 49;7. 吉 8415;8. 东 46;9. 沈 137;10. 中 451;11. 合 344;12. 89-1;13. 冀 53;14. 黄野四;15. 龙抗 11;16. 获唐黄;17. 关 17;18. CA156;19. 材 11-8;20. 835;21. 3189;22. 吉 818;23. S7913;24. 吉 412;25. K22;26. 辽 3053;27. 7537-1;28. 种苗 28;29. y75;30. 8902;31. 铁 7922;32. 甸 11;33. 8002;34. PI10;35. 郑 22;36. 7884;37. 中黄 204;38. 金黄 96B;39. 临系 11;40. 5213;41. 杂 C546;42. 200B;43. 辽 5114;44. SH15;45. 65232 宽;46. M14;47. 丹 3130;48. X178;49. 196;50. 丹 340;51. E28; 2012HT:1. H201;2. H21;3. 英 64;4. 吉 842;5. 早 49;6. 合 344;7. 沈 137;8. 89-1;9. 东 46;10. 吉 8415;11. 冀 53;12. 四至四;13. 中 451;14. 获唐黄;15. 龙抗 11;16. 关 17;17. CA156;18. 835;19. 3189;20. S7913;21. S7913;22. 杂 C546;23. 5213;24. 辽 3053;25. 7537-1;26. 8902;27. y75;28. 甸 11;29. 种苗 28;30. 8002;31. 金黄 96B;32. K22;33. 临系 11;34. 中黄 204;35. 郑 22;36. 黄野四;37. 7884;38. 材 11-8;39. 吉 412;40. 铁 7922;41. 200B;42. PI10;43. 辽 5114;44. SH15;45. M14;46. 65232 宽;47. 丹 3130;48. X178;49. 丹 340;50. 196;51. E28

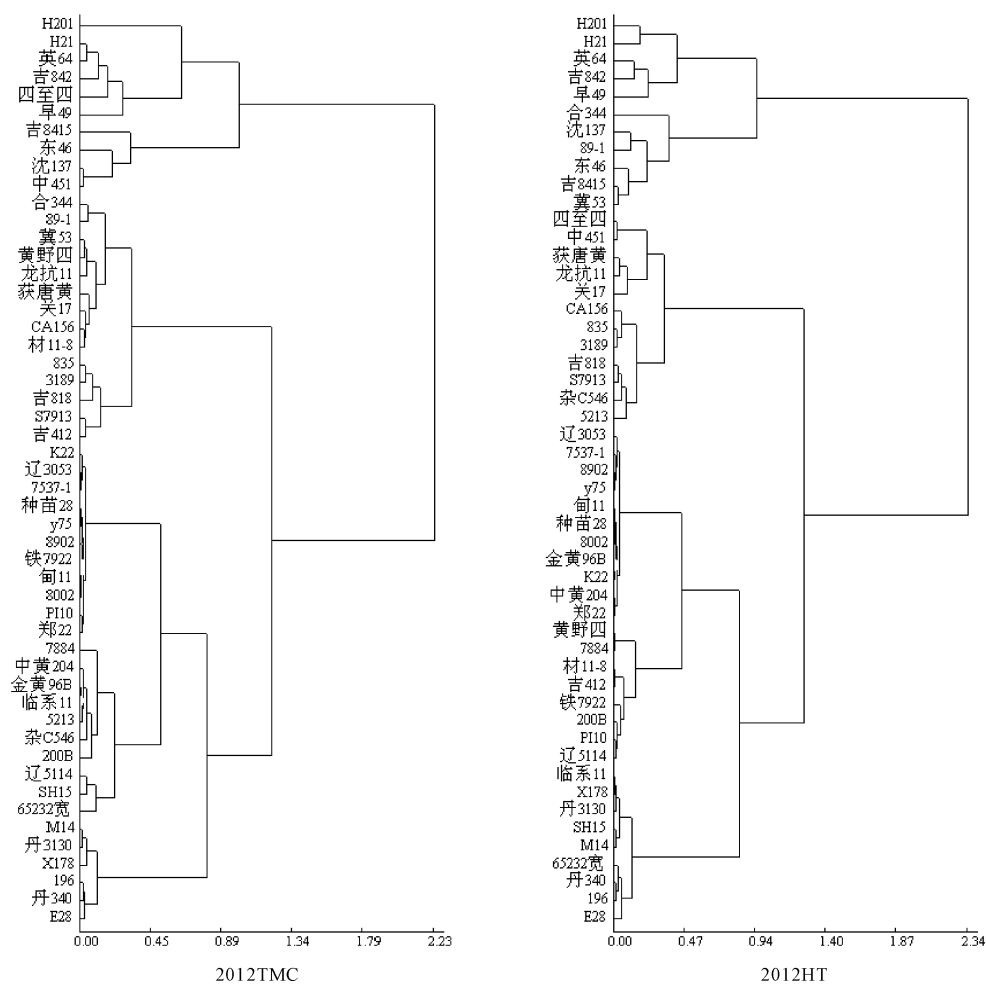


图 7 玉米自交系抗旱性度量值的模糊聚类图(WPGMA 法)

Fig.7 Fuzzy clustering of maize inbred lines by WPGMA method based on drought-tolerance value

其中 51 份自交系在两地区表现一致的有 38 份,38 份自交系中聚入第一类(耐旱)的自交系有 8 个,包括 H201、H21、英 64、吉 842、早 49、吉 8415、东 46 和沈 137;聚入第二类(中度耐旱)的有 8 个自交系,分别为龙抗 11、获唐黄、关 17、CA156、835、3189、吉 818、S7913;聚入第三类(中度干旱敏感)的自交系有 16 个,分别为 K22、辽 3053、7537 - 1、种苗 28、Y75、8902、8002、郑 22、甸 11、7884、中黄 204、金黄 96B、PI10、200B、辽 5114 和铁 7922;聚入第四类(干旱敏感)的自交系有 6 个,分别为 196、M14、丹 3130、X178、丹 340 和 E28。抗旱性度量值模糊聚类的结果基本反映了各自交系及其组配的杂交种适应区域的特点,即抗旱性强的自交系或品种区域适应性也较强,而随着抗旱性的减弱,玉米自交系对水分的依赖性和地域限制逐渐增强。抗旱性强的自交系在干旱条件下产量损失少,叶片持绿度较好,光合速率下降缓慢,籽粒灌浆充分,株高、穗位等生长发育特征减少率相对较低。

3 讨 论

玉米抗旱性是一个复杂的综合性状,为了正确全面地评价不同自交系的抗旱性,应对多个与抗旱性有密切关系的性状指标进行综合评价,根据它们与抗旱性及产量的相关程度和性状本身与产量的关系进行分析比较,从中挑选出相关最为显著的指标作为抗旱品种选育中的鉴定指标^[13-15]。范翠丽等^[16]研究表明,ASI、相对电导率与抗旱性密切相关,宋凤斌等^[17]研究表明叶面积与抗旱性密切相关,可以用来评价玉米抗旱性。路贵和等^[18]研究表明胁迫后行粒数、百粒重和对照值与抗旱系数呈显著或极显著正相关。刘成等^[19]对 288 份玉米自交系进行大田开花期干旱胁迫处理,结果表明穗粒数和株高与旱地玉米高产耐旱的关系最为密切。还有研究表明了干旱胁迫下对玉米叶片水势、细胞膜透性、气孔阻力、蒸腾强度、光合速率和 WUE 的影响,认为这些指标均与抗旱性有关。这些性状指标在抗

旱种质资源鉴定和选育方面起到了重要的作用,但它们对干旱胁迫的敏感程度如何,不同指标间又有什么的关系,对抗旱性的贡献大小等问题,目前尚无统一的观点,且多数研究未将农艺性状和生理指标结合起来加以研究或是仅限于苗期的研究。本文在玉米开花期选取 10 个农艺性状(包括形态性状和产量性状)和 5 个生理性状,将玉米主要农艺性状和部分生理指标(光合指标)结合起来,研究其与抗旱性的关系并探讨上述存在的问题。

玉米的抗旱性是由多种因素相互作用而构成的一个较为复杂的综合性状,是对干旱环境适应能力的综合表现。然而,在抗旱研究中,选用单项指标评价虽然简单易行,但缺乏可靠性。因此,要真实反映作物的抗旱性本质,需进行综合鉴定评价^[3,15]。综合评价方法有模糊函数法、灰色关联度法、主成分分析法、权重系数矩阵分析法等^[13-16]。而主成分分析既可以去粗取精,将差异不十分明显的各个原指标的信息集中表现出来,又可以比较精确地计算出主成分的特征量和贡献率,根据抗旱系数计算出各品种指标的模糊隶属函数矩阵之后,与第一主成分的特征量(即权重)相乘,分品种求和即得到抗旱性度量值(D 值)。由此得到的抗旱性度量值不仅代表了同一品种内部干旱胁迫与正常灌水处理各项抗旱指标的比值,而且包括了不同品种之间干旱胁迫处理下的比值,具有了对抗旱性进行纵横比较的双重意义,同时由于排除了人为因素的干扰,使分析结果更加客观可靠。本研究通过田间鉴定,以不同农艺性状指标和光合指标的抗旱系数为评价参数,通过主成分分析研究玉米自交系对干旱的敏感程度及不同指标对抗旱性的贡献率,最后运用抗旱性度量值进行模糊聚类,明确抗旱性不同的自交系分别适宜的区域特点。此聚类结果与各自交系在大田中的表现相一致,同时验证了这些指标的可靠性。

抗旱性是作物蒙受阶段性缺水仍能正常生长、结实的能力^[19]。抗旱玉米之所以抗旱是因为它具有能适应水分缺少的各种抗旱性状。抗旱玉米一般根系比较发达,根毛多,入土深,而且表土层越干旱根系就越往下伸,能较好利用土壤深层的水分。抗旱品种的叶片气孔少,蒸腾系数小,失水少,而凋萎系数好,在干旱的白天叶部萎蔫卷曲,夜间能很快地恢复常态,光合产物的积累速度快。从抗旱性状主成分分析的结果可以看出,作物的抗旱性最终反映到丰产性上,这既是玉米抗旱性的外在表现,又符合物种繁衍生息的自身要求,同时与人们对经济产量的追求相一致。需要指出的是,虽然丰产性占据了

第一主成分的位置,但其对抗旱性的贡献率仍然只是一部分,若没有良好的生理调控能力、绿叶的保绿和枝叶的繁茂性,丰产性也就无从谈起。本研究只考察了地上部分性状与抗旱性的关系,未涉及根部性状,有待进一步探讨和完善。另外,由于自交系本身的遗传差异性,和不同自交系对光温适应性存在差异,故有些自交系在不同区域抗旱性表现出一定的差异,在一个地区被鉴定为抗旱性较强的自交系另外一个地点却被鉴定为抗旱性较弱,这也在一定程度上反映了品种的区域特征和适应性。

4 结 论

通过主成分分析和模糊聚类,对 51 个玉米自交系的抗旱性状进行了研究。结果表明,51 个自交系抗旱指标分别隶属于 4 个主成分(2012TM: 丰产性因子-雄穗发育性因子,光合调控性因子,生长发育性因子,繁茂性因子;2012HT: 丰产性因子-生长发育性因子,光合调控因子,繁茂性因子,雄穗发育因子),代表了全部数据 91.04% 的信息量(2012TMC 和 2012HT 的平均值),其中两地均以产量性状对干旱胁迫最为敏感,与此同时对抗旱性的贡献率也最大。在所有供试自交系中,以 H201、H21、英 64、吉 842、早 49、吉 8415、东 46 和沈 137 八个自交系的抗旱性综合指标值最高,抗旱性最强,与在大田中的表现相一致。

参 考 文 献:

- [1] 胡秀丽,李艳辉,杨海荣,等. HSP70 可提高干旱高温复合胁迫诱导的玉米叶片抗氧化防护能力[J]. 作物学报, 2010, 36(4): 636-644.
- [2] Harrigan G G, Ridley W P, Miller K D, et al. The forage and grain of MON 87460, a drought-tolerant corn hybrid, are compositionally equivalent to that of conventional corn[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2009, 57(20): 9754-9763.
- [3] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学报, 1999, 16(4): 444-448.
- [4] Lu Y, Hao Z, Xie C, et al. Large-scale screening for maize drought resistance using multiple selection criteria evaluated under water-stressed and well-watered environments[J]. Field Crops Research, 2011, 124(1): 37-45.
- [5] 许大全. 光合作用效率[J]. 植物生理学报, 2002, (5): 3-9.
- [6] Sharp R E, Poroyko V, Hejlek L G, et al. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55: 20-20.
- [7] 解松峰, 欧行奇, 张百忍, 等. 大麦引进种质资源表型的多样性与模糊聚类分析[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 5-14.
- [8] 孟庆立, 关周博, 冯佰利, 等. 谷子抗旱性相关性状的主成分与模糊聚类分析[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2667-2675.

(2):101-109.

[5] 柳俊.我国马铃薯产业技术研究现状及展望[J].中国农业科技导报,2011,13(5):13-18.

[6] 孟品品,刘星,邱慧珍,等.连作马铃薯根际土壤真菌种群结构及其生物效应[J].应用生态学报,2012,23(11):3079-3086.

[7] 卢建武,邱慧珍,张文明,等.半干旱雨养农业区马铃薯干物质和钾素积累与分配特性[J].应用生态学报,2013,24(2):423-430.

[8] Wang X, Li J, Tao S. Using EPIC model to determine a sustainable potato/cereal cropping system in the arid region of the loess plateau of China[J]. Computer and Computing Technologies in Agriculture, 2013,393:60-68.

[9] 连勇.马铃薯脱毒种薯生产技术[M].北京:中国农业科技出版社,2001.

[10] 张文明,邱慧珍,刘星,等.连作对马铃薯根系生物学特征和叶片抗逆生理的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(4):20-23,52.

[11] 刘星,张书乐,刘国锋,等.连作对甘肃中部沿黄灌区马铃薯干物质积累和分配的影响[J].作物学报,2014,40(7):1274-1285.

[12] 回振龙,王蒂,李宗国,等.外源水杨酸对连作马铃薯生长发育及抗性生理的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(4):2-8.

[13] 马琨,张丽,杜茜,等.马铃薯连作栽培对土壤微生物群落的影响[J].水土保持学报,2010,24(4):229-233.

[14] 谢奎忠,陆立银,罗爱花.不同栽培措施对连作马铃薯土壤真菌、真菌性病害和产量的影响[J].中国蔬菜,2013,(2):70-75.

[15] 牛秀群,李金花,张俊莲,等.甘肃省干旱灌区连作马铃薯根际土壤中镰刀菌的变化[J].草业学报,2011,20(4):236-248.

[16] 杜茜,卢迪,马琨.马铃薯连作对土壤微生物群落结构和功能的影响[J].生态环境学报,2012,21(7):1252-1256.

[17] 孙权,陈茹,宋乃平,等.宁南黄土陵区马铃薯连作土壤养分、酶活性和微生物区系的演变[J].水土保持学报,2010,24(6):208-212.

[18] 杨桂丽,童娟,张丽,等.熏蒸灭菌对连作马铃薯生长发育及土壤微生物的影响[J].农业科学研究,2012,33(1):36-40.

[19] 彭绍峰,赵爱菊,张春强,等.应用抗重茬药剂克服马铃薯连作障碍试验初报[J].农业科技通讯,2010,(1):44-45.

[20] 关荫松.土壤酶及其研究方法[M].北京:农业出版社,1986.

[21] 封海胜,张思苏,万书波,等.花生连作对土壤及根际微生物区系的影响[J].山东农业科学,1993,(1):13-15.

[22] 黄玉茜,韩立思,韩梅,等.花生连作对土壤酶活性的影响[J].中国油料作物学报,2012,34(1):96-100.

[23] 周礼恺,张志明,曹承绵.土壤酶活性的总体在评价土壤肥力水平中的作用[J].土壤学报,1983,20:413-417.

[24] 高彦波,翟鹏辉,谭德远.土壤酶活性与土壤肥力的关系研究进展[J].安徽农业科学,2015.43(6):100-101,183.

[25] Piotrowskaa A, Wilczewski E. Effects of catch crops cultivated for green manure and mineral nitrogen fertilization on soil enzyme activities and chemical[J]. Geoderma, 2012,189:72-80.

[26] 刘建国,张伟,李彦斌,等.新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响[J].中国农业科学,2009,42(2):725-733.

[27] 杜茜,马琨.马铃薯连作对土壤理化性质及酶活性的影响[J].黑龙江农业科学,2013,(5):20-23.

[28] 程伟,隋跃宇,焦晓光,等.土壤有机质含量与磷酸酶活性关系研究[J].农业系统科学与综合研究,2008,24(3):305-307.

[29] 张丁.马铃薯连作对土壤理化性质及酶活性的影响[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2015.

[30] Jansky S H, Jin L P, K Xie Y, et al. Potato production and breeding in China[J]. Potato Research, 2009,52(1):57-65.

[31] Sliwka J, Jakuczun H, Chmielarz M, et al. Late blight resistance gene from Solanum ruiz-ceballosii is located on potato chromosome X and linked to violet flower colour[J]. BMC Genetics, 2012,13(1):11.

[32] 张鹏,王文桥,黄啟良,等.40%氟菌·啶酰悬浮剂的研制及其对马铃薯晚疫病田间防治效果[J].中国农业科学,2013,46(15):3142-3150.

(上接第 88 页)

[9] 潘相文,李文滨,李艳华,等.主成分分析在大豆抗旱性评价上的应用[J].大豆科学,2006,25(4):379-382.

[10] Baquedano F J, Castillo F J. Comparative ecophysiological effects of drought on seedlings of the mediterranean water-saver pinus halepensis, and water-spenders quercus coccifera, and quercusilex [J]. Trees, 2006,20(6):689-700.

[11] 付学琴,贺浩华,文飘,等.东乡野生稻回交重组系的抗旱性评价体系[J].应用生态学报,2012,23(5):1277-1285.

[12] Hsiao T C. Plant Responses to Water Stress[J]. Plant Biology, 1973,89(24):801-802.

[13] Bouslama M, Schapaugh W T. Stress tolerance in soybeans. I. evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance [J]. Crop Science, 1984,24(5):933-937.

[14] He X Y, Warburton M L, Sawkins M, et al. Genome-wide association analysis for nine agronomic traits in maize under well-watered and water-stressed conditions [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2013,126(10):2587-2596.

[15] 龚明.作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价[J].云南农业大学学报,1989,4(1):73-81.

[16] 范翠丽,陈景堂,徐明举,等.玉米抽雄期抗旱性鉴定指标的研究[J].玉米科学,2007,15(1):112-114.

[17] 宋凤斌,徐世昌.玉米抗旱性鉴定指标的研究[J].中国农业生态学报,2004,12(1):127-129.

[18] 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.

[19] 刘成,马兴林,石云素,等.玉米自交系主要农艺性状与产量和抗旱性的关系研究[J].新疆农业科学,2007,44(5):624-627.