

引进马铃薯种质资源抗旱性评价

秦军红¹, 张婷婷², 孟丽丽², 徐建飞¹, 蒙美莲², 金黎平¹

(¹ 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 / 农业农村部薯类作物生物与遗传育种重点实验室, 北京 100081;

² 内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 马铃薯属于干旱敏感型作物, 当前生产上的马铃薯品种多数不耐旱, 中国马铃薯抗旱育种进程又受到遗传背景狭窄的制约。引进外来种质资源, 拓宽我国马铃薯遗传背景, 加快选育抗旱品种是马铃薯应对干旱的关键策略。2016年和2017年, 在常规滴灌和雨养条件下, 利用增广设计方法, 以生产上常用的5个马铃薯品种为对照, 对来自国际马铃薯中心的315份高代品系和中国已有的3个品种进行抗旱性评价。通过AMMI模型和GGE模型分析基因型、环境及二者互作对产量的影响, 并结合抗旱指数筛选抗旱性稳定且产量高的材料。从整体上看, 在雨养条件下, 两年马铃薯平均产量差异较小, 但是变异系数较大, 常规滴灌条件下正好相反。马铃薯产量受基因型、环境及其交互作用的显著影响, 其变异平方和分别占总处理平方和的43.39%、39.36%和17.26%; C93和YS902两年的抗旱指数均高于对照品种, 稳产性好, C48虽然抗旱指数相对较低, 但是高产和稳产性高于所有材料。筛选出来的材料不仅可以作为抗旱育种亲本, 还可以通过进一步研究其抗旱机制, 为抗旱育种提供理论支持。

关键词: 马铃薯; 抗旱指数; 增广设计; GGE模型

Evaluation of Drought Tolerance in Exotic Potato Germplasm

QIN Jun-hong¹, ZHANG Ting-ting², MENG Li-li², XU Jian-fei¹, MENG Mei-lian², JIN Li-ping¹

(¹ Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Tuber and Root Crop, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081;

² Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019)

Abstract: Potato is considered to be sensitive to drought due to its shallow root system. Currently, only few potato varieties with high drought tolerance were released, because of the narrow genetic base that restricts the breeding for drought tolerance. Employment of exotic potato resource might be alternative strategy to accelerate the breeding for new varieties with high drought resistance. 315 advanced clones and 3 cultivated varieties were evaluated with augmented block design compared to 5 local varieties under drip irrigation and rainfed condition in 2016 and 2017. AMMI and GGE model were used to analyze the effects of genotype (G) and environment (E) on yield and combine with drought index to identify the yield potential and stability of each genotype. Under rainfed condition, the average potato yield was similar but the coefficient variation had large difference between the two years, while under drip irrigation, the two variables showed opposite. Potato yield was affected by G, E and G by E interaction significantly, of which the sum square accounted for 43.39%, 39.36% and 17.26% of total sum square. Genotypes C93 and YS902 showed highest drought tolerance in both years followed by genotype C48. Genotypes C93, YS902 and C48 could be as parent for drought breeding. Taken together, the genotypes with drought tolerance might serve as elite parental lines, which become of interest in basic and applied resources.

Key words: potato; drought index; augmented design; GGE model

收稿日期: 2018-09-08 修回日期: 2018-09-28 网络出版日期: 2018-10-26

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20181025.1636.001.html>

第一作者研究方向为马铃薯栽培生理与品种改良, E-mail: qinjunhong@caas.cn

通信作者: 金黎平, 研究方向为马铃薯遗传育种, E-mail: jinliping@caas.cn

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0101905); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-09)

Foundation project: National Key R&D Program of China (2017YFD0101905), China Agriculture Research System (CARS-09)

气候变化带来的季节性干旱给全球的粮食生产带来了前所未有的压力。马铃薯是世界上仅次于小麦、水稻、玉米之后的第四大粮食作物,由于其根系分布较浅,属于干旱敏感型作物,干旱会导致其减产甚至绝收。近几年,我国马铃薯面积和总产均居世界首位,但 60% 左右分布在干旱半干旱地区,易受干旱胁迫的影响^[1]。当前国内 85% 左右马铃薯品种亲本均属 20 世纪 40-50 年代从欧美引进的多子白、卡它丁、白头翁、疫不加、米拉等品种,由此可见引进种质资源对中国马铃薯育种具有重要作用^[2],同时也可以看出遗传资源狭窄是制约中国马铃薯育种取得突破性进展的关键因素。因此,引进外来种质资源,拓宽遗传背景,是加快选育抗旱品种的主要措施。此外,马铃薯育种过程中需要对大量的高代材料采用有重复的试验设计以评价其产量潜力和稳定性。马铃薯是块茎繁殖作物,种薯质量对评价结果的影响非常大,且繁殖大量种薯不仅耗时而且耗资较大。因此,采用增广设计的方法,不仅可以提高育种效率,还可以节约成本。

中国马铃薯育种始于 20 世纪 30 年代末,最初以引进国外种质资源为主,后来逐渐开始利用这些资源开展抗晚疫病、抗病毒病、高产和加工专用品种育种,但对抗旱育种的关注度较小^[3]。抗旱性是多基因控制的复杂性状,受环境影响较大。目前,国内外在马铃薯抗旱资源筛选上的研究多数是在组培苗^[4,5]或大田雨养条件下^[6,8]对大量材料进行抗旱性筛选,或在人工控水条件下对少量材料进行代谢产物和基因表达分析,发掘与抗旱相关的基因或分子标记^[9-11],但马铃薯高度杂合的基因组导致已开发出的标记应用价值大大减弱。宋伯符等^[7]对来自国际马铃薯中心(CIP, International Potato Center)的 17 个品种在内蒙古武川县和乌兰察布市、河北坝上和山西大同市进行了多点抗旱性评价,筛选出了在各点产量均较高的品种中心 24。马恢等^[12]从 CIP 引进的杂交实生种子组合中筛选出了抗旱性较强的品种冀张薯 8 号。张艳萍等^[13]对引进的 271 份 CIP 种质资源进行了抗病、耐逆性、产量水平及品质指标等综合性状的评价,结果表明仅 1 份材料综合性状较好,可在青海大部分地区种植,另有 19 份高产材料和部分具有特殊抗性基因的资源可为马铃薯育种提供亲本材料。杨琼芬等^[14]对来自欧洲的 19 个马铃薯品种进行适应性评价,筛选出 1 个适宜云南小春种植的品种。Cabello 等^[15]通过多个指标对 CIP 的 918 份资源进行抗旱性评价,不仅筛选出了一批抗旱

性较强的材料,而且明确了抗旱指数,平均生产力和几何平均生产力可作为批量材料抗旱筛选的可靠指标。Arya 等^[16]通过田间试验和农民参与式选择对 CIP 的 8 份资源进行抗旱性评价,并筛选出抗旱性好,农民接受度最高的材料 1 份。余斌等^[8]对来自 CIP 的 119 份资源在雨养条件下进行了连续 2 年的抗旱性评价,通过表型性状的分析,筛选出了 5 份在甘肃省定西市雨养条件下表现出高产稳产性的材料。

增广设计是一种专门针对育种前期大量材料筛选的无重复试验设计方法,即把所有材料分为选系和对照品种,每个区组内对照品种随机排列,选系随机分配在每个区组内,对照重复次数与区组数相同,选系不重复。区组效应由各区组内对照品种估计,选系产量根据区组效应矫正,最后以矫正过的数据进行差异显著性分析^[17]。该方法已在大豆^[18]、木薯^[19]、高粱^[20]、鹰嘴豆^[21]等作物上得到了成功应用,不仅可以节约人力和物力,而且可以加快育种进程。作物产量是基因型、环境及二者互作的综合表现。AMMI 模型(additive main effects and multiplicative interaction)和 GGE 模型(genotype main effect plus genotype-environment interaction)是当前研究基因型和环境互作对作物产量影响的主要方法,尤其是后者,可以直观表现出基因型的稳产性和适应性等,已在水稻^[22-23]、棉花^[24]、马铃薯^[25-26]、小麦^[27]、玉米^[28]等作物上得到成功应用。抗旱是多基因控制的复杂性状,国内对马铃薯抗旱育种的关注度较小,加之遗传资源狭窄,在当前已育成的 470 多个品种中,抗旱性较强的品种少之又少。因此,拓宽遗传背景,加快选育抗旱品种迫在眉睫。本研究利用增广设计的方法,对引自 CIP 的 315 份优异的高代品系在常规灌溉和雨养条件下进行连续 2 年的产量评价,采用 AMMI 模型和 GGE 模型对材料的高产稳产性进行评价,并结合抗旱系数,筛选出高抗型材料,为马铃薯抗旱育种提供亲本材料,为大量马铃薯材料的抗旱性评价提供可靠方法。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

试验于 2016-2017 年在内蒙古呼和浩特市武川县大豆铺乡(111° 61' E, 41° 17' N)完成。试验地海拔 1584 m,属温带大陆季风气候,年平均气温 3.0 °C,无霜期 110 d 左右,≥0 °C 年积温为 2578.5 °C,年降水量 354.1 mm 左右。试验地土壤为栗钙土,0-20 cm 土壤养分状况见表 1。

表 1 2016-2017 年试验地土壤养分状况

Table 1 Soil property of the experimental site in 2016 and 2017

年份(年) Year	pH	有机质(g/kg) Organic matter	碱解氮(mg/kg) Available nitrogen	有效磷(mg/kg) Available phosphorus	有效钾(mg/kg) Available potassium
2016	8.2	17.3	40.7	11.5	132.4
2017	8.2	14.9	40.4	11.3	118.8

1.2 试验材料

试验以来自国际马铃薯中心(CIP)的315份高代品系(表2)和3个中国品种为参试材料,中国品种分别为云薯902(YS902),云薯103(YS103)

和中薯18(ZS18);以当前生产上常用的5个品种为对照,分别为荷14(H14)、冀张薯12(J12)、克新1号(KX1)、青薯9号(Q9)、希森6号(XS6)。

表 2 供试材料及代号

Table 2 The genotypes used in this study

品系编号 Clone code	CIP 代码 CIP code								
C1	381381.13	C124	304387.39	C31	301029.18	C59	394600.52	C87	397073.15
C10	393371.164	C125	304405.47	C32	301040.63	C6	393073.179	C88	397078.12
C100	389468.3	C127	397077.16	C33	300046.22	C61	394613.139	C89	397079.26
C101	390637.1	C128	391919.3	C34	300048.12	C62	394613.32	C9	393228.67
C102	391180.6	C129	391930.1	C35	300054.29	C63	394614.117	C90	397079.6
C103	391533.1	C13	393280.64	C36	300056.33	C64	394881.8	C91	397098.12
C104	391724.1	C130	391931.1	C37	300063.4	C65	395186.6	C92	397099.6
C105	392032.2	C131	394906.6	C38	300066.11	C66	395193.6	C93	397100.9
C106	392740.4	C132	395438.1	C39	300072.1	C67	395195.7	C94	397196.3
C107	392745.7	C133	394904.2	C4	392617.54	C68	395196.4	C95	397196.8
C108	392759.1	C14	391047.34	C40	300093.14	C69	395197.5	C96	397197.9
C109	393613.2	C15	391058.175	C41	300099.22	C7	393073.197	C97	398014.2
C11	391004.18	C16	393085.5	C43	379706.27	C70	395432.51	C98	388611.22
C110	393615.6	C17	398192.213	C44	385499.11	C71	395434.1	C99	388615.22
C112	397030.31	C18	398098.119	C46	388676.1	C72	395436.8	D1	300055.32
C113	397035.26	C19	398098.203	C47	388972.22	C74	396311.1	D10	301037.85
C114	302428.2	C20	398180.253	C48	390478.9	C76	397012.22	D100	395017.229
C115	302476.108	C21	398180.289	C49	391207.2	C78	397016.7	D101	395017.242
C116	302499.3	C23	398180.612	C5	392634.52	C79	397029.21	D102	395037.107
C117	304345.102	C24	398193.553	C50	391382.18	C8	393227.66	D103	395077.12
C118	304350.1	C25	398203.509	C51	392781.1	C80	397036.7	D104	395084.9
C119	304350.118	C26	398208.219	C52	392797.22	C81	397039.51	D105	395096.2
C12	392657.171	C27	398208.33	C53	392822.3	C82	397044.25	D106	395109.29
C120	304350.95	C28	398208.58	C54	392973.48	C83	397055.2	D107	395109.34
C121	304371.67	C29	398208.704	C56	394034.65	C84	397065.2	D108	395111.13
C122	304383.41	C3	391583.25	C57	394034.7	C85	397067.2	D109	395112.19
C123	304383.8	C30	301024.14	C58	394579.36	C86	397069.5	D11	301041.26

表 2(续)

品系编号 Clone code	CIP 代码 CIP code								
D110	395112.32	D149	396268.1	D186	398208.505	D32	304399.15	D72	393220.54
D111	395112.36	D15	301056.54	D188	398208.670	D33	304399.5	D73	393242.50
D112	395112.6	D150	396268.9	D189	399001.44	D34	304405.42	D74	393248.55
D113	395123.6	D151	396269.14	D19	304347.6	D35	304406.31	D75	393280.57
D114	395169.17	D152	396269.16	D190	399004.19	D36	374080.5	D77	393284.39
D115	395445.16	D153	396272.12	D191	399048.24	D37	377744.1	D79	393349.68
D116	395446.1	D155	396272.2	D192	399049.14	D38	380011.12	D8	301024.95
D117	395448.1	D156	396272.21	D193	399049.16	D39	380496.6	D80	393371.157
D118	396004.225	D157	396272.37	D194	399049.22	D4	300135.14	D81	393371.159
D119	396004.263	D158	396273.48	D195	399053.11	D40	381178.14	D82	393371.58
D12	301044.36	D159	396285.1	D196	399053.15	D41	381379.12	D83	393382.44
D120	396004.337	D160	397006.18	D197	399062.118	D42	381381.9	D84	393385.39
D121	396008.104	D161	397012.20	D199	399067.14	D43	381403.16	D85	393385.47
D123	396009.258	D162	397039.53	D2	300063.9	D44	384321.3	D86	393399.7
D124	396012.266	D163	397054.3	D20	304349.8	D45	384866.5	D87	393536.13
D126	396023.109	D164	397060.19	D200	399067.22	D47	387164.4	D88	393617.1
D127	396026.101	D165	398098.205	D201	399072.11	D48	389746.2	D89	394223.19
D128	396026.103	D166	398098.231	D203	399072.28	D49	391002.6	D9	301026.23
D13	301045.74	D167	398098.570	D205	399075.32	D5	300135.3	D90	394223.9
D130	396031.108	D168	398098.65	D206	399078.11	D50	391011.17	D91	394638.3
D131	396031.119	D169	398180.144	D207	399083.4	D51	391046.14	D92	394895.7
D132	396033.102	D17	303381.106	D208	399085.17	D52	391065.81	D93	394898.13
D133	396034.103	D170	398190.112	D209	399085.23	D53	391580.30	D94	394899.5
D134	396034.268	D171	398190.200	D21	304350.18	D54	391585.179	D95	394900.1
D135	396036.201	D172	398190.404	D210	399085.30	D55	391585.5	D96	395011.2
D136	396037.215	D173	398190.523	D211	694474.16	D56	391691.96	D97	395015.6
D137	396038.101	D174	398190.530	D212	694474.33	D57	392025.7	D98	395017.14
D138	396038.105	D175	398190.571	D22	304350.78	D58	392285.72	D99	395017.227
D139	396038.107	D176	398190.605	D23	304351.109	D59	392633.64	YS103	云薯 103
D14	301055.53	D177	398190.615	D24	304351.31	D6	300137.31	YS902	云薯 902
D140	396043.226	D178	398190.735	D25	304366.46	D60	392634.49	ZS18	中薯 18
D141	396046.105	D179	398192.41	D26	304369.22	D61	392637.10	H14	荷 14
D142	396063.1	D18	303381.30	D27	304371.20	D64	392821.1	J12	冀张薯 12
D143	396063.16	D180	398192.553	D28	304371.58	D65	393075.54	KX1	克新 1 号
D144	396180.22	D181	398192.592	D29	304387.17	D67	393077.54	Q9	青薯 9 号
D145	396240.2	D182	398193.158	D3	300065.4	D68	393079.24	XS6	希森 6 号
D147	396241.4	D183	398193.650	D30	304387.92	D69	393079.4		
D148	396244.12	D185	398208.29	D31	304394.56	D71	393084.31		

1.3 试验方法

试验设常规滴灌 (IR, irrigation) 和雨养条件 (DT, drought) 两种处理。滴灌带滴头间距 0.30 m, 滴头流量 1.38 L/h, 2016 年和 2017 年马铃薯生育期总灌水量分别为 200 mm 和 300 mm, 总降雨量分别为 238.8 mm 和 194.5 mm。采用增广设计方法, 将所有材料分为 10 个区组, 每个区组材料数 36~37 个不等, 每个材料种 1 行, 每行 10 株, 株距为 0.24 m, 行距为 0.8 m, 5 月上旬播种, 9 月中旬收获。

1.4 测定指标

收获时称量各材料所有植株薯块总鲜重, 并计算抗旱指数 (DI, drought index)^[29]。

$$DI = \frac{Y_d \times (Y_d / Y_p)}{\sum \bar{Y}_d / n}$$

式中: DI 为抗旱指数; Y_d 为某基因型雨养条件下产量; Y_p 为某基因型常规灌溉条件下产量; $\sum \bar{Y}_d / n$ 为所有参试材料雨养条件下产量的平均值。

1.5 数据分析

数据整理和抗旱指数计算采用 Excel 2016, 参试材料方差分析采用 DPS v 15.10 中的增广设计模块, 丰产性和稳产性分析采用 Genstat v 18.0。

2 结果与分析

2.1 参试马铃薯产量方差分析

增广设计中, 材料 (消去区组效应) 项、品种项、选系和选系对品种项表示相应材料的选择潜力, 若此项中 F 检验显著, 说明材料间差异显著, 可以进一步对材料进行多重比较。而区组 (消去材料效应) 项表示区组间的环境差异, 若其 F 检验显著, 就必须对各选系观察值进行校正^[30]。本试验结果表明, 所有处理条件下区组 (消去材料效应) 项 F 检验均不显著, 说明区组间环境差异不显著 (表 3)。因此, 无需对各基因型的原始产量数据进行校对。材料 (消去区组效应)、选系和选系对品种在 2016 年常规滴灌和 2017 年雨养条件下差异均不显著, 品种仅在 2016 年差异显著。

2.2 参试马铃薯产量年际间变化

从平均产量看 (图 1), 雨养条件下参试马铃薯年际间变化不大, 2016 年和 2017 年平均产量分别为 0.24 kg/株 和 0.25 kg/株, 但常规滴灌下差异较大, 2016 年和 2017 年平均产量分别为 0.39 kg/株 和 0.62 kg/株, 主要是因为 2017 年灌水量较 2016

表 3 323 个马铃薯基因型的产量方差分析

Table 3 ANOVA analysis of the yield for all genotypes

变异来源 Source of variation	自由度 df	2016 年 In 2016		2017 年 In 2017	
		常规滴灌 IR	雨养条件 DT	常规滴灌 IR	雨养条件 DT
材料 Treatments	322	NS	**	*	NS
品种 Checks	4	*	*	NS	NS
选系和选系对 品种 Checks and checks VS entries	318	NS	**	*	NS
区组 Blocks	9	NS	NS	NS	NS

NS 表示差异不显著, * 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平上差异显著。下同

NS indicated $P > 0.05$, * and ** indicated $P < 0.05$ and $P < 0.01$ respectively. The same as below

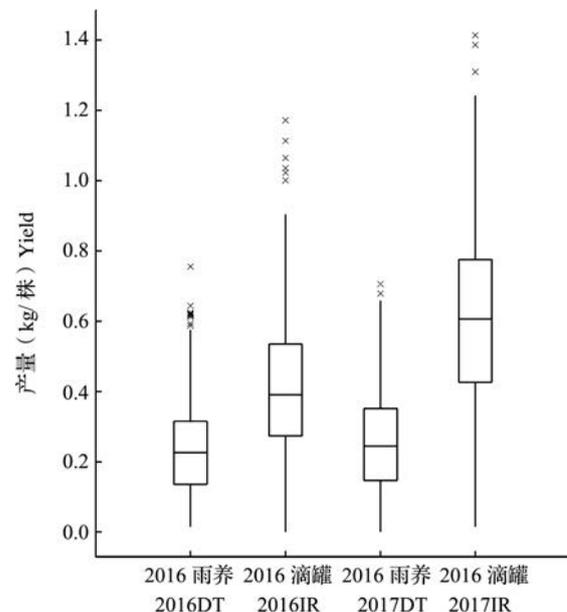


图 1 不同年份和处理下马铃薯产量的变化

Fig.1 Potato yield in DT and DR conditions in 2016 and 2017

年多, 整体土壤湿度较大。各处理的变异系数雨养条件大于常规滴灌, 2016 年和 2017 年雨养条件下的变异系数分别为 59.7% 和 54.0%, 而相应的常规滴灌下分别为 48.3% 和 40.8%。由此可见, 环境条件对各基因型产量的影响较大, 可以通过 GGE 模型对参试材料进行产量潜力和稳定性分析。

2.3 马铃薯产量的 AMMI 模型分析

对 2 年 323 份马铃薯基因型的产量进行了 AMMI 模型分析 (表 4), 结果表明, 基因型、环境及基因型与环境的交互作用对马铃薯产量的影响都达

到了极显著水平,各因素的平方和分别占总平方和的 43.39%、39.36% 和 17.26%,说明各因素对产量的影响顺序为基因型 > 环境 > 基因型与环境的交互作用。由此可见,不同基因型间产量潜力和稳定性均存在差异,有必要进一步对各基因型的稳产性进行分析。

表 4 323 份马铃薯基因型产量的 AMMI 模型分析
Table 4 AMMI analysis of the yield for 323 genotypes

变异来源 Source of variation	自由度 df	平方和 SS	均方 MS	方差比 Variance ratio	显著性 Probability value
基因型 Genotypes	322	33.59	0.104	7.54	<0.001
环境 Environments	3	30.47	10.156	734.55	<0.001
交互效应 Interactions	966	13.36	0.014		
主成分 1 IPCA 1	324	7.58	0.023	4.37	<0.001
主成分 2 IPCA 2	322	4.06	0.013	2.36	<0.001
残差 Residuals	320	1.71	0.005		

2.4 GGE 模型对不同基因型马铃薯产量适应性分析

将同一方向上距离原点最远的品种连接起来组成一个多边形,由原点向多边形的每个边做垂线(射线),射线将多边形分成若干个扇形区,将环境分成不同的组。各扇形区内位于顶角上的基因型即为本区内所有环境下产量表现最好的基因型,反之,位于多边形内靠近原点的基因型为产量接近平均产量且对环境变化不敏感的基因型^[31]。马铃薯产量性状的第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)的效应值分别为 77.86% 和 12.05%,两者可以解释基因型和基因型与环境互作的 89.92% 的变异(图 2)。YS902 在 2017 年常规滴灌下产量表现最好,C48 在其他 3 个条件下表现最好。其他多边形顶角的基因型没有落在试验环境条件内,说明这些基因型在所有环境条件下产量表现均不是最好^[32]。

2.5 理想马铃薯基因型的选择

图 3 是分析理想基因型的双标图。理想品种是指在所有环境中平均产量最高且产量最稳定的品种^[32]。同心圆的圆心(箭头位置)代表了最理想基因型的位置,越接近圆心的基因型平均产量和稳定性越好。从图中可以看出,C48 最接近圆心,

说明在所有环境中,其产量最高,稳定性最好,其他依次为 C99、C122、C93、C80、C6、C52、C124、YS902。D201 是丰产性和稳产性均最差的基因型。

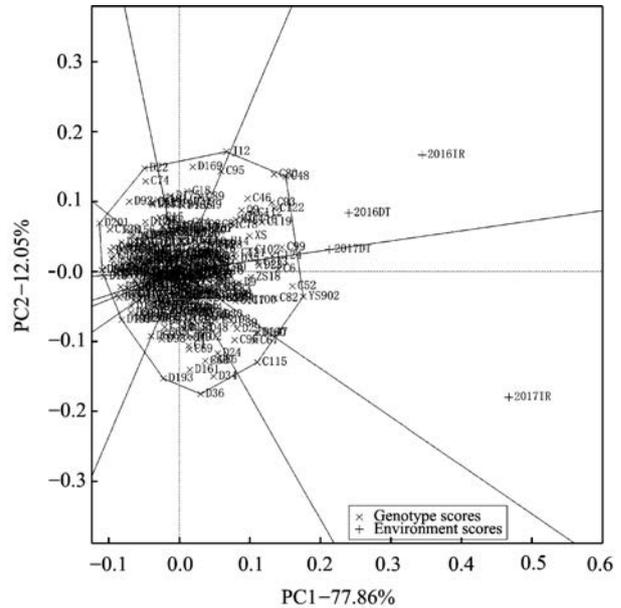


图 2 各基因型马铃薯适应性分析
Fig.2 Analysis of adaptability of all genotypes

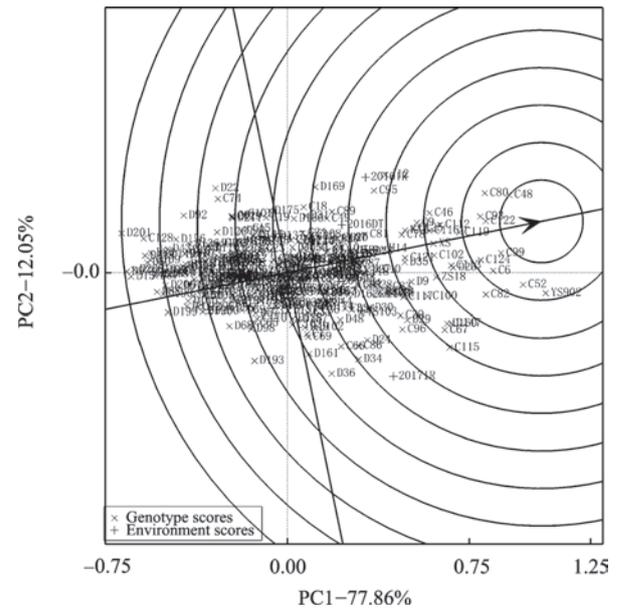


图 3 马铃薯理想基因型的选择
Fig.3 Screening of the ideal genotype

2.6 不同基因型马铃薯两年抗旱指数比较

从表 5 中可以看出,2016 年和 2017 年对照品种抗旱指数最高的分别为 KX1 和 J12。2016 年抗旱指数高于对照的基因型为 17 个,2017 年为 21 个。两年抗旱指数均高于对照的基因型有 7 个,其

中 C93 的抗旱指数两年均最高,其他依次为 C46、C82、C87、D160、D175、YS902。

表 5 不同基因型马铃薯抗旱指数比较
Table 5 Comparison of DI for elite genotypes

基因型 Genotype	2016 年抗旱指数 DI in 2016	基因型 Genotype	2017 年抗旱指数 DI in 2017
D2	2.81	D211	2.92
C93	2.77	C74	2.39
C87	2.54	C119	2.01
C96	2.46	C89	1.83
D175	2.38	C93	1.72
C67	2.35	C7	1.67
ZS18	2.34	D31	1.53
C82	2.33	C18	1.48
C102	2.29	C4	1.44
C115	2.28	D175	1.41
C104	2.14	C81	1.41
D160	2.11	C46	1.35
C95	2.08	D18	1.30
C112	2.06	C6	1.29
C46	1.97	C82	1.29
C98	1.90	YS902	1.28
YS902	1.80	D183	1.26
KX1	1.79	C116	1.26
		D160	1.23
		C87	1.22
		C35	1.21
		J12	1.15

表中仅列出了抗旱指数高于最佳对照的基因型

Genotypes produced higher DI than the best control variety in each year were listed

3 讨论

气候变化导致的季节性干旱严重影响了我国马铃薯生产。据中国新闻网报道,2014 年内蒙古乌兰察布市(中国薯都)干旱造成马铃薯大面积减产^[33],2016 年甘肃省定西市(中国马铃薯之乡)也遭遇了 50 年不遇的大旱,导致马铃薯产量严重受损甚至绝收^[34]。不仅北方马铃薯受到干旱的影响,占云南马铃薯总面积 66% 的大春马铃薯也经常受到干旱的影响^[35]。因此,加快选育抗旱品种,是缓解气候变化对马铃薯生产影响的有效措施。

本试验所引进的材料是近几年来 CIP 马铃薯

种质资源中最优异的一批高代品系,包括抗病毒、抗青枯病、抗晚疫病和抗旱性材料^[36],对拓宽我国马铃薯遗传背景具有重要意义。针对大批量材料的筛选若采用常规试验设计,需要耗费大量的人力和物力。因此,本试验采用增广设计方法,在常规滴灌和雨养条件下,对来自 CIP 的 315 份材料和中国已有的 3 个品种进行了 2 年的抗旱性评价,不仅可以节约成本,还可以加快抗旱育种进程。

从整体上看,两年雨养条件下产量平均值的差异较小,但是变异系数较大,常规滴灌下正好相反,说明产量不仅受基因型影响,也受到环境条件的影响。进一步通过 AMMI 模型对环境、基因型及二者的交互效应进行分析,结果表明,马铃薯参试材料产量不仅显著受基因型影响,也显著受环境及二者互作效应的影响,这证实了在本试验条件下筛选高产稳产品种的可行性。GGE 双标图可以直观反映基因型与环境互作的情况。不同的双标图不仅可以判断某基因型在何种环境下表现最佳,而且可以判断出该基因型在某条件下的稳定性^[31]。本试验对材料的适应性分析结果表明,第一主成分和第二主成分共解释了互作效应的 89.92%。YS902 在 2017 年常规滴灌下产量表现最好,而 C48 在其他 3 种条件下表现最好。理想基因型选择图表明,C48 是所有材料中产量最高,稳定性最好的基因型,其次是 C99、C122、C93、C80、C6、C52、C124、YS902。本研究中筛选出的材料 C48 和 C52 分别是已经通过国家审定的抗旱性较强品种冀张薯 8 号^[12]和青薯 9 号^[37];C99 和 C93 在甘肃省雨养条件下也表现出较强的抗旱性^[6,8]。由此可见,在进行大量材料抗旱性筛选时,采用增广设计和 GGE 双标图相结合的方法结果可靠,不仅可以提高育种效率,还可以节约成本。

抗旱指数是品种抗旱系数与旱地产量的结合,不仅反映了品种的抗旱性,还兼顾了品种在旱地的产量表现,是一个适合于育种工作的农艺指标^[15,29]。本研究仅对 2 年抗旱指数均大于最佳对照品种的材料进行比较,结果表明,虽然两年抗旱指数较高的基因型数量相差不多,但是两年均高于对照的基因型仅 7 个,其中 C93 表现最佳,其他还有 C46、C82、C87、D160、D175、YS902。这进一步证明,马铃薯抗旱性是基因型与环境互作的表现。

4 结论

增广设计在对大量马铃薯基因型进行抗旱性筛

选时,结果可靠,不仅可以节约财力,还可以大大缩短育种时间。马铃薯产量受基因型、环境及两者交互作用的影响。本试验条件下,基因型对马铃薯产量的影响最大,其次是环境和二者互作效应。

综合 GGE 双标图和抗旱指数两种方法的筛选结果可以得出,C93 和 YS902 两年的抗旱指数均高于对照品种,且稳产性好,C48 虽然抗旱指数相对较低,但是高产和稳产性高于所有材料,这 3 个材料可作为抗旱育种的亲本材料,或通过研究其抗旱机制,为抗旱育种提供理论支持。

参考文献

- [1] 徐建飞,刘杰,卞春松,段绍光,庞万福,金黎平. 马铃薯资源抗旱性鉴定和筛选. 中国马铃薯, 2011, 25(1): 1-6
Xu J F, Liu J, Bian C S, Duan S G, Pang W F, Jin L P. Evaluation of drought tolerance in potato germplasm. Chinese Potato Journal, 2011, 25(1): 1-6
- [2] 孙秀梅. 国外种质资源在我国马铃薯育种中的利用. 中国马铃薯, 2000, 14(2): 110-111
Sun X M. Application of introduced germplasm in Chinese potato breeding. Chinese Potato Journal, 2000, 14(2): 110-111
- [3] 蔡兴奎,谢从华. 中国马铃薯发展历史、育种现状及发展建议. 长江蔬菜, 2016(12): 30-33
Cai X K, Xie C H. Development history, current breeding situation and development suggestions of Chinese potato. Journal of Changjiang Vegetables, 2016(12): 30-33
- [4] 娄艳,白江平,杨宏羽,李维婷,高慧娟,张俊莲,王蒂,张金林,王旺田. 马铃薯种质的遗传特性与抗旱性的关系. 草业科学, 2016, 33(3): 431-441
Lou Y, Bai J P, Yang H Y, Li W T, Gao H J, Zhang J L, Wang D, Zhang J L, Wang W T. Analyze the genetic variation and drought resistance of the potato germplasm. Pratacultural Science, 2016, 33(3): 431-441
- [5] Barra M, Correa J, Salazar E, Sagredo B. Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) germplasm to water stress under in vitro conditions. American Journal of Potato Research, 2013, 90(6): 591-606
- [6] 王晓斌,王瀚,胡开明,李亚杰,秦天元,曾文婕,李鑫,张楷露,张俊莲,白江平. 基于层次分析法和 GGE 双标图对引进马铃薯种质资源的综合评价. 植物遗传资源学报, 2017, 18(6): 1067-1078
Wang X B, Wang H, Hu K M, Li Y J, Qin T Y, Zeng W J, Li X, Zhang K L, Zhang J L, Bai J P. Comprehensive evaluation of introduced potato germplasm resources based on the analytical hierarchy process and GGE-plot. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(6): 1067-1078
- [7] 宋伯符,王桂林,杨海鹰,张彦萍,樊民夫,李久昌,石俊堂,闫振贵. 中国北方马铃薯抗旱资源评价. 中国马铃薯, 1992, 6(4): 223-225
Song B F, Wang G L, Yang H Y, Zhang Y P, Fan M F, Li J C, Shi J T, Yan Z G. Potato germplasm drought evaluation in north China. Chinese Potato Journal, 1992, 6(4): 223-225
- [8] 余斌,杨宏羽,王丽,刘玉汇,白江平,王蒂,张俊莲. 引进马铃薯种质资源在干旱半干旱区的表型性状遗传多样性分析及综合评价. 作物学报, 2018, 44(1): 63-74
Yu B, Yang H Y, Wang L, Liu Y H, Bai J P, Wang D, Zhang J L. Genetic diversity analysis and comprehensive assessment of phenotypic traits in introduced potato germplasm resources in arid and semi-arid area. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(1): 63-74
- [9] Evers D, Lefèvre I, Legay S, Lamoureux D, Hausman J F, Gutierrez Rosales R O, Tincopa Marca L R, Hoffmann L, Bonierbale M, Schafleitner R. Identification of drought-responsive compounds in potato through a combined transcriptomic and targeted metabolite approach. Journal of Experimental Botany, 2010, 61: 2327-2343
- [10] Anithakumari A M, Dolstra O, Vosman B, Rgf V, van G G. In vitro screening and QTL analysis for drought tolerance in diploid potato. Euphytica, 2011, 181(3): 357-369
- [11] Sprenger H. Characterization of drought tolerance in potato cultivars for identification of molecular markers// World Computer Congress, 2014: 36-50
- [12] 马恢,尹江,张希近. 马铃薯新品种——冀张薯 8 号. 中国马铃薯, 2007, 21(3): 192
Ma H, Yin J, Zhang X J. New potato variety—Jizhangshu 8. Chinese Potato Journal, 2007, 21(3): 192
- [13] 张艳萍,王舰. 国际马铃薯中心马铃薯资源引进、评价及利用. 中国种业, 2008(7): 45-46
Zhang Y P, Wang J. Germplasm introduction, evaluation and adoption. China Seed Industry, 2008(7): 45-46
- [14] 杨琼芬,李先平,卢丽丽,包丽仙,白建明,何云昆,隋启君. 引进马铃薯品种在云南的适应性评价. 西南农业学报, 2009, 22(6): 1550-1556
Yang Q F, Li X P, Lu L L, Bao L X, Bai J M, He Y K, Sui Q J. Evaluation for adaptability of cultivars of exotic potato in Yunnan conditions. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2009, 22(6): 1550-1556
- [15] Cabello R, Monneveux P, Mendiburu F D, Bonierbale M. Comparison of yield based drought tolerance indices in improved varieties, genetic stocks and landraces of potato (*Solanum tuberosum* L.). Euphytica, 2013, 193(2): 147-156
- [16] Arya S, Rawal S, Luthra S K, Sharma N, Gupta V K, Kadian M S. Participatory evaluation of advanced potato (*Solanum tuberosum*) clones for water stress tolerance. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2017, 87(11): 1559-1564
- [17] Federer W T. Augmented (or Hoonuiaku) designs. Hawaiian Sugar Planters Record, 1956, 55: 191-208
- [18] Spehar C R. Field screening of soya bean (*Glycine max* (L.) Merrill) germplasm for aluminium tolerance by the use of augmented design. Euphytica, 1994, 76(3): 203-213
- [19] Asante I K, Dixon A. Field screening of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm for desirable traits by the use of augmented design. West African Journal of Applied Ecology, 2006, 10(1): 2-8
- [20] Aruna C, Audilakshmi S. A strategy to identify potential germplasm for improving yield attributes using diversity analysis in sorghum. Plant Genetic Resources, 2008, 6(3): 187-194
- [21] Ahmad S, Khan M A, Sahi S T, Ahmad R. Identification of resistant sources in chickpea against chickpea blight disease. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2014, 47

- (15): 1885-1892
- [22] Silva J, Groth D E, Moldenhauer K A, Oard J H. GGE biplot exploration of resistance to sheath blight disease in doubled-haploid lines of rice. *Crop Science*, 2011, 51(3): 1028
- [23] 滕振宁, 张玉焯, 方宝华, 刘洋, 何洋, 杨坚, 何小娥. 用 AMMI 双标图分析早稻米镉含量的基因型与环境互作效应. *生态环境学报*, 2016, 25(4): 692-697
Teng Z N, Zhang Y Z, Fang B H, Liu Y, He Y, Yang J, He X E. AMMI-Biplot analysis of genotypic and environmental effects on cadmium content in early rice. *Ecology and Environmental Sciences*, 2016, 25(4): 692-697
- [24] 许乃银, 李健. 基于 GGE 双标图的长江流域国审棉花品种分类特征评价. *中国农业科学*, 2014, 47(24): 4780-4789
Xu N Y, Li J. Evaluation on the classification characteristics of national registered cotton varieties in the Yangzi River Valley based on GGE biplot. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(24): 4780-4789
- [25] Bai J, Zhao F, He J, Wang C, Chang H, Zhang J, Wang D. GGE biplot analysis of genetic variations of 26 potato genotypes in semi-arid regions of northwest China. *New Zealand Journal of Crop & Horticultural Science*, 2014, 42(3): 161-169
- [26] 石强, 李亚杰, 范士杰, 张俊莲, 白江平, 王蒂. 贵州省马铃薯区试品种产量与农艺性状的 GGE 双标图分析. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(2): 5-15
Shi Q, Li Y J, Fan S J, Zhang J L, Bai J P, Wang D. Application of GGE- biplot analysis in evaluating potato yield and agronomy traits in Guizhou province. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 33(2): 5-15
- [27] Abate F, Mekbib F, Dessalegn Y. GGE biplot analysis of multi-environment yield trials of durum wheat (*Triticum turgidum* Desf.) genotypes in north western Ethiopia. *American Journal of Experimental Agriculture*, 2015, 8(2): 120-129
- [28] 岳海旺, 魏建伟, 卜俊周, 陈淑萍, 彭海成, 李春杰, 李媛, 谢俊良. 河北省春播玉米品种产量和主要穗部性状 GGE 双标图分析. *玉米科学*, 2018, 26(4): 28-35
Yue H W, Wei J W, Pu J Z, Chen S P, Peng H C, Li C J, Li Y, Xie J L. GGE-biplot analysis of grain yield and main ear characteristics for spring maize in Hebei province. *Journal of Maize Sciences*, 2018, 26(4): 28-35
- [29] 兰巨生, 胡福顺, 张景瑞. 作物抗旱指数的概念和统计方法. *华北农学报*, 1990, 5(2): 20-25
Lan J S, Hu F S, Zhang J R. Conception and statistical method of crop drought index. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1990, 5(2): 20-25
- [30] 莫惠栋. 植物育种中的试验设计: 增产设计. *江苏农学院学报*, 1990, 11(3): 71-79
Mo H D. Experimental design of plant breeding: augmented design. *Jiangsu Agricultural College Acta*, 1990, 11(3): 71-79
- [31] 严威凯. 双标图分析在农作物品种多点试验中的应用. *作物学报*, 2010, 36(11): 1805-1819
Yan W K. Optimal use of biplots in analysis of multi-location variety test data. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(11): 1805-1819
- [32] 严威凯, 盛庆来, 胡跃高, Hunt L A. GGE 叠图法—分析品种 × 环境互作模式的理想方法. *作物学报*, 2001, 27(1): 21-27
Yan W K, Sheng Q L, Hu Y G, L A Hunt. GGE biplot-an ideal tool for studying genotype by environment interaction of regional yield trial data. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(1): 21-27
- [33] 李爱平. 内蒙古干旱持续马铃薯主产地减产约七成. (2018-08-26) [2014-09-02]. <http://www.chinanews.com/sh/2014/09-02/6555967.shtml>
Li A P. Potato production reduced by seventy percent caused by duration drought in Inner Mongolia. (2018-08-26) [2014-09-02]. <http://www.chinanews.com/sh/2014/09-02/6555967.shtml>
- [34] 中国新闻网. 中国马铃薯之乡定西受旱农作物发育停滞或绝收. (2018-08-26) [2016-08-09]. <http://www.chinanews.com/sh/2016/08-09/7966653.shtml>
China News. Drought induced crop growth stop or production fail in potato village in Dingxi. (2018-08-26) [2016-08-09]. <http://www.chinanews.com/sh/2016/08-09/7966653.shtml>
- [35] 桑月秋, 杨琼芬, 刘彦和, 卢丽丽, 李文娟, 周俊, 谢开云, 隋启君. 云南省马铃薯种植区域分布和周年生产. *西南农业学报*, 2014(3): 1003-1008
Sang Y Q, Yang Q F, Liu Y H, Lu L L, Li W J, Zhou J, Xie K Y, Sui Q J. Cultivated regional distribution and year-round production of potato in Yunnan province. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2014(3): 1003-1008
- [36] CIP. Catalogue of CIP advanced clones. [2018-09-02]. <https://research.cip.cgiar.org/redlatinpapa/pages/caracteristicas.php>
- [37] 蒋福祯, 张艳萍, 王舰, 贾豪, 申海峰, 周云, 周淑兰. 高产稳产抗旱抗病毒马铃薯新品种青薯9号. *作物杂志*, 2008(1): 89
Jiang F Z, Zhang Y P, Wang J, Jia H, Shen H F, Zhou Y, Zhou S L. New variety 'Qingshu 9' with high yield potential, stability, drought and virus resistance. *Crops*, 2008(1): 89