

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

王晓斌^{1,2}, 王 瀚^{1,2}, 胡开明^{1,2}, 李亚杰⁴, 秦天元^{1,2}, 曾文婕^{1,2},
李 鑫^{1,2}, 张楷露^{1,2}, 张俊莲^{1,3}, 白江平^{1,2}

(¹ 甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室/甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 兰州 730070; ² 甘肃农业大学农学院, 兰州 730070;

³ 甘肃农业大学园艺学院, 兰州 730070; ⁴ 定西市农业科学研究院, 定西 743000)

摘要: 基于层次分析法和 GGE 双标图法对引进于国际马铃薯中心的 97 份马铃薯种质资源的主要农艺性状以及适应性、稳定性、丰产性等方面进行综合分析, 筛选与鉴定优良可利用种质资源, 同时为构建马铃薯种质资源的综合评价体系提供理论依据。结果表明, 农艺性状、产量性状和品质性状所占权重大小为 0.075、0.70 和 0.23, 其中农艺性状中株高和茎粗所占权重为 0.38 和 0.29, 产量性状中产量权重为 0.73, 品质性状中干物质含量和蛋白质含量权重分别为 0.4 和 0.2。C77 和 C51 适合在甘肃省白银市景泰地区推广种植, C116、C89、C27、C66 和 C98 在甘肃省定西市地区适应性强; 参试品系稳定性大小为 C49 > C46 > C116 > C112 > C93; 丰产性为 C89 > C116 > C93 > C97 > C112 > C49 > C46 > C67。层次分析法与 GGE 双标图综合分析可知, C46、C49、C112、C116 综合表现较好, 可以作为优良品系参加品种审定试验, 也可以作为亲本材料。层次分析法和 GGE 双标图相结合可以作为引进马铃薯种质资源综合评价体系的标准。

关键词: 马铃薯; 种质资源; 层次分析法; GGE-biplot

Comprehensive Evaluation of Introduced Potato Germplasms Resources Based on the Analytical Hierarchy Process and GGE-biplot

WANG Xiao-bin^{1,2}, WANG Han^{1,2}, HU Kai-ming^{1,2}, LI Ya-jie⁴, QIN Tian-yuan^{1,2},
ZENG Wen-jie^{1,2}, LI Xin^{1,2}, ZHANG Kai-lu^{1,2}, ZHANG Jun-lian^{1,3}, BAI Jiang-ping^{1,2}

(¹ Gansu Key Lab of Crop Improvement & Germplasm Enhancement/Gansu Provincial Key Lab of Aridland Crop Science, Lanzhou 730070;

² College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; ³ College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; ⁴ Dingxi Agricultural Science Research Institute, Dingxi 743000)

Abstract: 97 potatoes germplasms resources that were introduced from International Potato Center. Their main agronomic traits were evaluated based on analytical hierarchy process analysis and adaptability, stability and mean were analysed using GGE-biplot (genotype and genotype $\times$ environment) analysis. This study is to screen potato germplasm resources that are suitable for planting in Gansu Province and provide theoretical foundations for establishing an evaluation system for introduced potato germplasm resources. The results showed that agronomic traits, yield traits and quality traits weight of 0.075, 0.70 and 0.23, respectively, while plant height and stem diameter weight of 0.38 and 0.29 in agronomic traits, respectively. Yield weight of 0.73 in yield traits, dry matter and protein content weight of 0.40 and 0.20 in quality traits, respectively. C77 and C51 were suitable for planting in Jingtai, Baiyin, Gansu Province. C116, C89, C27, C66 and C98 had a strong adaptability in Dingxi, Gansu Province. The stability of

收稿日期: 2017-03-20 修回日期: 2017-04-17 网络出版日期: 2017-10-17

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20171017.1426.032.html>

基金项目: 科技部国际科技合作项目 (2014DFG31570); 国家自然科学基金 (31460369, 31660432); 中国科学院西部之光项目; 甘肃科技基金 (1308RJZA131; 1308RJIA005); 兰州科技研究项目 (2015-3-62)

第一作者主要从事作物遗传育种, E-mail: 1185856882@qq.com; 王瀚为共同第一作者

通信作者: 白江平, 研究方向为作物遗传育种, E-mail: baijp@gsau.edu.cn

potato germplasm resources were C49 > C46 > C116 > C112 > C93. The mean of potato germplasm resources were C89 > C116 > C93 > C97 > C112 > C49 > C46 > C67. C46, C49, C112 and C116 could participate in regional trials and be useful for selecting hybrid parents by using analytical hierarchy process and GGE-biplot analysis. Analytical hierarchy process and GGE-biplot analysis could be regarded as standards for evaluating introduced potato germplasm resources.

Key words: potato; germplasm resources; analytical hierarchy; GGE-biplot

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 为我国第四大粮食作物, 具有产量高、抗性强、适应性强和耐贮藏等特性, 薯块中含有丰富的营养物质^[1]。目前, 中国马铃薯种植面积和产量均居世界第一^[2]。然而, 马铃薯种质资源匮乏, 遗传背景狭窄, 亲缘关系较近, 是造成我国马铃薯新品种选育进度缓慢的主要限制因素。中国最初自己选育的具有影响力的马铃薯品种大部分是以引进的马铃薯种质资源 (如疫不加、米拉、多子白、白头翁、卡它丁) 作为亲本材料选育而成, 因此马铃薯种质资源的引进与利用在中国马铃薯新品种选育上应用潜力巨大。中国马铃薯引种工作起始于 1934 年, 由前中央农业研究所从英国引入 King、Edw、ard、Ⅶ 等 4 个品种^[3]。近年来随着国际间交流合作的频繁, 中国陆续从国际马铃薯中心 (CIP, International Potato Center)、秘鲁、加拿大等地区引进一大批马铃薯种质资源, 其中以四倍体栽培种居多^[4]。截至 2008 年, 中国从 CIP 以试管苗和实生种子的方式引进马铃薯种质资源 5000 余份, 这些种质资源的引进极大地丰富了中国马铃薯种质资源库和基因库, 同时解决了中国马铃薯遗传背景单一、狭窄的问题, 而且为马铃薯育种家提供了丰富的亲本材料^[5]。21 世纪初是中国马铃薯育种发展比较迅速的阶段, 先后育成新品种 230 个左右, 同时由于 CIP 在马铃薯抗晚疫病研究中取得突破性进展, 使得马铃薯抗晚疫病能力大幅度提高, 大量抗病新品种大面积推广并逐步应用到生产中。

近年来, 植物品种评价指标的发展由定性到定量、单一指标到多指标的综合评价逐渐过渡。植物综合性状评价方法目前有百分制法^[6]、层次分析法^[7-9]、模糊数学法^[10-11]、灰色关联法^[12-15]和主成分分析法^[16-17]等, 其中层次分析法^[18]是一种采用定性定量相结合的方法, 在植物种质资源评价中起到决策作用。研究表明^[19-23]层次分析法在水质评价和工程项目决策中具有广泛的应用, 而且近年来在植物种质资源评价^[24-25]和作物新品种筛选中^[26-28]应用广泛。孙亚林等^[24]应用层

次分析法从多子芋种质资源的品质、产量、生长特性构建多子芋种质资源综合评价体系, 以此确定 10 个评价因子, 根据层次分析法得出多子芋种质可以分为 4 个等级并选出 5 份综合性状优良的种质直接应用于产业化生产。高蓓等^[29]利用层次分析法对魔芋的适应性进行评价, 筛选出适合魔芋生长的区域。刘遵春等^[30]利用层次分析法对影响金花梨品质性状进行综合分析, 筛选出影响金花梨品质的 7 个指标以及筛选出 4 个品质优良的金花梨品系。产量、农艺性状、品质和抗逆性在马铃薯种质资源的评价与筛选中十分重要。根据层次分析法在不同植物种质资源评价中的应用结果, 可以将层次分析法作为马铃薯种质资源综合评价的方法, 为马铃薯种质资源筛选与评价提供技术支撑, 为马铃薯种质资源评价体系的建立提供理论基础。W. Yan 等^[31]提出将基因型效应 (G) 加基因型与环境互作效应 (GE) 相结合的方式, 从而形成了基因型效应 (G) 加上基因型与环境互作效应 (GE) 模型, 即 GGE 双标图模型, 并推出 GGE-biplot 分析软件^[32-33]。GGE 双标图可以对引进马铃薯种质资源在不同环境下的适应性、稳定性以及丰产性进行综合分析, 从中筛选出适应性强、稳定性和丰产性高的种质资源。在植物种质资源评价过程中, 因评价指标不同结果往往不同。单个指标评价不能准确和客观反映材料的优劣, 在评价过程中往往采用综合的分析法。因此, 马铃薯种质资源综合评价体系的建立可有效缩短育种年限, 加快育种进程, 提高优良品系的选择效率, 加快中国马铃薯育种步伐。

本研究利用 97 份从国际马铃薯中心引进的马铃薯种质资源, 以农艺性状、产量性状和品质性状等 13 个指标为基础, 通过层次分析法对种质资源进行综合评价, 利用 GGE 双标图对引进种质资源的适应性和稳定性进行分析, 筛选出综合性状优良、适应性强、稳定性和丰产性高的种质资源, 并利用这些种质资源作为亲本材料选育马铃薯新品种。同时, 本研究构建的马铃薯种质资源综合评价体系, 可为今后种质资源的筛选与鉴定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

97 份供试材料(表 1)由甘肃农业大学甘肃省

种质改良与创新重点实验室从国际马铃薯中心(CIP)引进,以甘肃省广泛栽培的品种大西洋(DXY)作为对照。

表 1 97 份马铃薯材料信息表

Table 1 Information of 97 potato materials

编号 Code	CIP 编号 CIP code	编号 Code	CIP 编号 CIP code	编号 Code	CIP 编号 CIP code	编号 Code	CIP 编号 CIP code
C01	CIP 381381. 13	C39	CIP 300072. 1	C71	CIP 395434. 1	C104	CIP 391724. 1
C04	CIP 392617. 54	C40	CIP 300093. 14	C72	CIP 395436. 8	C106	CIP 392740. 4
C05	CIP 392634. 52	C42	CIP 300101. 11	C74	CIP 396311. 1	C107	CIP 392745. 7
C08	CIP 393227. 66	C43	CIP 379706. 27	C77	CIP 397014. 2	C108	CIP 392759. 1
C09	CIP 393228. 67	C44	CIP 385499. 11	C79	CIP 397029. 21	C110	CIP 393615. 6
C10	CIP 393371. 164	C45	CIP 385561. 124	C82	CIP 397044. 25	C112	CIP 397030. 31
C11	CIP 391004. 18	C46	CIP 388676. 1	C83	CIP 397055. 2	C113	CIP 397035. 26
C12	CIP 392657. 171	C47	CIP 388972. 22	C84	CIP 397065. 2	C114	CIP 302428. 20
C13	CIP 393280. 64	C49	CIP 391207. 2	C85	CIP 397067. 2	C115	CIP302476. 108
C14	CIP 391047. 34	C50	CIP 391382. 18	C87	CIP 397073. 15	C116	CIP 302499. 30
C15	CIP 391058. 175	C51	CIP 392781. 1	C88	CIP 397078. 12	C117	CIP304345. 102
C16	CIP 393085. 5	C52	CIP 392797. 22	C89	CIP 397079. 26	C118	CIP304350. 100
C17	CIP 398192. 213	C53	CIP 392822. 3	C91	CIP 397098. 12	C119	CIP 304350. 118
C20	CIP 398180. 253	C54	CIP 392973. 48	C92	CIP 397099. 6	C120	CIP 304350. 95
C21	CIP 398180. 289	C57	CIP 394034. 7	C93	CIP 397100. 9	C121	CIP 304371. 67
C22	CIP 398180. 292	C59	CIP 394600. 52	C94	CIP 397196. 3	C122	CIP 304383. 41
C23	CIP 398180. 612	C62	CIP 394613. 32	C95	CIP 397196. 8	C123	CIP 304383. 80
C25	CIP 398203. 509	C63	CIP 394614. 117	C96	CIP 397197. 9	C124	CIP 304387. 39
C27	CIP 398208. 33	C64	CIP 394881. 8	C97	CIP 398014. 2	C125	CIP 304405. 47
C30	CIP 301024. 14	C65	CIP 395186. 6	C98	CIP 388611. 22	C127	CIP 397077. 16
C31	CIP 301029. 18	C66	CIP 395193. 6	C99	CIP 388615. 22	C130	CIP 391931. 1
C32	CIP 301040. 63	C67	CIP 395195. 7	C100	CIP 389468. 3	C131	CIP 394906. 6
C33	CIP 300046. 22	C68	CIP 395196. 4	C101	CIP 390637. 1	C132	CIP 395438. 1
C36	CIP 300056. 33	C70	CIP 395432. 51	C102	CIP 391180. 6	C133	CIP 394904. 20
C37	CIP 300063. 4						

1.2 试验设计

2015-2016 年在甘肃省白银市景泰县条山农场(103. 59°E,37. 09°N,2015 年景泰(简称 J15,下同)、2016 年景泰(J16)),甘肃省定西市安定区的鲁家沟(104. 56°E,35. 83°N,2015 年鲁家沟(L15))、内官镇(104. 41°E, 35. 52°N,2015 年内官镇(N15))和香泉镇(104. 51°E, 35. 43°N,2016 年香泉熟性试验(16DM)和 2016 年香泉抗旱性试验(16DD))进行,其中景泰县条山农场采用现代化管理模式。土壤类型景泰县为砂壤土,安定区为黑炉土;年平均降雨量景泰县 185. 5 mm、安定区 400 mm;年平均温度景泰县8. 2 ℃、安定区 6. 3 ℃;无霜期景泰县 191 d、安定区 141 d;年总太阳辐射量景泰县 8524. 15 MJ/m²、安定区 5532. 30 MJ/m²。

区域试验采用完全随机区组设计,3 次重复。

每个小区的面积为 1. 6 m²(2 m×0. 8 m),每小区种植 20 株,株距为 20 cm。每小区种植 2 垄马铃薯,每垄种植 10 株,垄宽 40 cm,垄间距为 40 cm,小区施肥 N:P:K 比例为 2:1:1。试验于 4 月中下旬开始种植,10 月 1 日开始收获,其中 2016 年定西香泉熟性试验分 3 次收获,以确定引进种质的成熟期。分别将收获的马铃薯贮藏在 15 ℃冷藏库中用于后期品质性状的测定。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 出苗率 待播种后小区里第 1 棵苗露出地面开始统计每个小区出苗的株数,每周 2 次,20 d 后停止统计,出苗率=出苗的株数/总株数 20 株×100%。

1.3.2 株高 马铃薯出苗 30 d 以后,每隔 15 d 测量 1 次,待植株高度不再变化时,测定的高度为马铃薯株

高大小,每个小区随机选取 3 株马铃薯植株进行测量。

1.3.3 茎粗 马铃薯植株出苗 30 d 以后,每隔 15 d 测量 1 次茎粗,待茎粗数值基本一致时,测量的茎粗为马铃薯茎粗大小。每个小区随机选取 3 株马铃薯植株,使用游标卡尺测量主茎直径,作为茎粗大小。

1.3.4 叶片叶绿素含量 出苗 60 d 之后每个小区随机选取 3 株,每株随机选取马铃薯倒 4 叶的顶小叶,用便携式叶绿素仪测定叶绿素含量。

1.3.5 根长 根长测定主要是对引进马铃薯种质资源的根系大小做一个简单分类,为以后选育根系发达且抗旱性强的马铃薯植株提供参考价值。待马铃薯出苗 60 d 以后,每隔 15 d,每个小区随机挖取 3 株马铃薯植株,使用直尺测量其根长,取 3 株根长的平均值作为马铃薯的根长大小。

1.3.6 归一化植被指数 归一化植被指数(NDVI, normalized difference vegetation index)主要是用于检测植物的生长状态、植被覆盖度,反映植物叶片与群体的水分和营养状况,其值越大,说明植株生长越旺盛,水分以及营养物质越充足。待马铃薯植株出苗 60 d 后,每个小区随机选取 3 株,每株随机选取 3 片第 3 个展开叶,使用便携式 NDVI-CM1000 仪测定。

1.3.7 产量 收获时对其产量进行计算,每个小区随机选取 3 株马铃薯植株,将薯块挖出,记录薯块的个数(块茎直径大于匍匐茎直径 2 倍的均计为有效薯块)以及商品薯的个数,称量薯块的总重量,产量(kg/hm^2) = 种植密度(株/667 m^2) × 出苗率(%) × 单株薯块重(kg) × 15。

1.3.8 商品率 收获时随机在每个小区选取 3 株马铃薯,统计薯块个数,大于 60 g 薯块的个数作为商品薯,商品率(%) = 大于 60 g 薯块的个数/总的个数 × 100%。

1.3.9 薯块干物质含量 薯块干物质含量在收获之后采用比重法计算,干物质含量(%) = 干重/鲜重 × 100%。

1.3.10 淀粉含量 植物淀粉含量试剂盒进行测定的基本原理是利用 80% 乙醇把样品中可溶性糖与淀粉分离,进一步采用酸水解法分解淀粉为葡萄糖,采用蒽酮比色法测定葡萄糖含量,即可计算淀粉含量 = $(A + 0.0295) \div 5.872 \div \text{样本鲜重}$,A 为 620 nm 波长下的测量管的吸光值。

1.3.11 可溶性蛋白质含量 植物可溶性蛋白含量试剂盒测定基本原理是采用双抗体一步夹心法酶联免疫吸附试验测定,往预先包被可溶性蛋白(sPRO)抗体的包被微孔中,依次加入标本、标准品、辣根过

氧化物酶(HRP, horseradish peroxidase)标记的检测抗体,经过温育并彻底洗涤。用底物 3,3',5,5'-四甲基联苯(TMB, 3,3',5,5'-Tetramethylbenzidine)显色。用酶标仪在 450 nm 波长下测定吸光度(OD 值),计算样品浓度。

1.3.12 还原糖含量 植物还原糖含量试剂盒测定基本原理是利用加热促进碱性溶液中 3,5-二硝基水杨酸溶液与还原糖生成棕红色氨基化合物,在 540 nm 有特征吸收峰;在一定的浓度范围内,还原糖含量与 540 nm 吸光度呈线性关系,根据标准曲线,即可求出样品中还原糖的含量 = $(A \text{ 测定管} - A \text{ 对照管} + 2.0807) \div 8.5067 \div \text{样本鲜重}$,A 测定管和 A 对照管是在 540 nm 下测量管和对照管的吸光值。

1.3.13 维生素 C 含量 维生素 C 含量试剂盒测定基本原理是用纯化的植物维生素 C 抗体包被微孔板,制成固相抗体,往包被单抗的微孔中依次加入维生素 C 抗原,再与 HRP 标记的维生素 C 抗体结合,形成抗体-抗原-酶标抗体复合物,经过彻底洗涤后加底物 TMB 显色。颜色的深浅和样品中的维生素 C 含量呈正相关,用酶标仪在 450 nm 波长下测定吸光度(OD 值),通过标准曲线计算样品中植物维生素 C(VC)浓度。

以上所有的指标的测定均为 3 次。

1.4 数据分析

利用 Microsoft Excel 2007 进行数据输入、整理以及对数据进行无量纲化处理,对层次分析法中判断矩阵一致性检测结果进行计算,以及对于在层次分析法中各个品系各个指标进行无量化处理后综合得分的计算;利用 SPSS19.0 对数据的显著性进行 *F* 检测;利用 GGE-biplot 软件对引进马铃薯种质资源适应性、稳定性和丰产性进行综合分析。

1.5 综合评价体系的建立

根据马铃薯高产品质优良选择直接相关各因素的相互关系和隶属层次,进行不同层次聚集组合,构建层次结构模型(图 1),其中包括目标层 A,国际马铃薯中心引进的马铃薯种质的综合评价;准则层 B,与马铃薯产量品质直接相关的主导因素农艺性状、产量性状和品质性状;指标层 P,反映主导因素的主导因子(株高、茎粗、叶绿素含量、NDVI、根长、产量、商品率、单株薯块重、干物质含量、淀粉含量、蛋白含量、还原糖含量以及维生素 C 含量);决策层 C,根据综合排序结果选出的高产优质马铃薯品种,解决甘肃省高产优质马铃薯种质资源稀缺的问题。

为避免各指标间在单位和数据数量级上的差异对分析结果所造成的影响,以及排除不合理现象发生,必须对所分析指标进行无量化处理,使各指标在同一水平。无量化处理数据原则如下:

$$a_{ij} = b_{ij} / \max(b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{nj}) \quad (1)$$

式中 a_{ij} 表示第 i 个品种 C_i 个因子无量纲化的标准测定值, b_{ij} 表示第 i 个品种 C_j 个因子的测定值。标准化后的数据计算综合得分:

$$y_i = \sum_{j=1}^{13} w_j \times a_{ij} \quad (j=1, 2, \dots, 13, i=1, 2, \dots, 97) \quad (2)$$

式中 y_i 为第 i 个系统的综合得分; w_j 为指标所对应的权重^[30]。

2 结果与分析

2.1 各指标间显著性差异分析

GGE 双标图分析之前,不同农艺性状的变异

系数和显著性判断十分关键,只有性状间存在显著差异,才可进行 GGE 双标图分析。本研究中对 2015-2016 年区域试验中各指标的平均值进行显著性分析和变异系数分析表明(表 3),各性状变异系数大小不同,产量、株高、茎粗、单株薯块重的变异系数分别为 46%、49%、45% 和 34%,这些性状在各品系间的差异较为明显。归一化植被指数、根长、薯块中干物质含量、淀粉含量、可溶性蛋白含量和维生素 C 的含量的变异系数较小,而叶绿素含量和还原糖含量的变异系数最小,说明引进的马铃薯种质资源中叶绿素含量和还原糖含量的差异不是特别明显(表 3)。显著性分析结果表明,产量、株高、茎粗、叶绿素含量、NDVI、单株薯块重差异显著,还原糖含量、淀粉含量和蛋白质含量差异不显著,但是符合 GGE 双标图分析要求。

表 3 测量指标的变异系数与显著性差异

Table 3 Differences between coefficient of variation and significant

指标 Trait	平均值 Average	最小值 Minimum	最大值 Maximum	变异系数(%) CV	显著性 Significance
产量(kg/hm ²) Y	36567.70	8836.95	93137.22	46	0
株高(cm) PH	87.81	51.00	116.33	49	0
茎粗(mm) SD	15.22	9.69	21.48	45	0
叶绿素(mg/g) Ch	47.27	40.00	54.27	6.5	0
归一化植被指数 NDVI	0.91	0.86	0.95	22	0
膨大率(%) SR	30.82	71.74	0.24	53	0
根长(cm) RL	34.54	45.33	21.66	13	0.15
干物质含量(%) DH	22.00	14.23	32.21	14	0.12
淀粉含量(%) STA	18.05	12.24	34.40	18	0.19
可溶性蛋白质含量(%) PRO	325.89	1.54	2.81	12	0.17
维生素 C 含量(%) VC	13.82	8.65	29.70	19	0.12
还原糖含量(%) RS	0.25	0.28	0.17	6	0.30
单株薯块重(g) SPW	808.33	333.84	1883.06	34	0

Y: Yield, PH: Plant Height, SD: Stem diameter, Ch: Chlorophyll, NDVI: Normalized difference vegetation index, SR: Swelling rate, RL: Root length, DH: Drought weight, STA: Starch content, PRO: Protein content, VC: Vitamin C, RS: Reducing sugar, SPW: Single bead tuber weight, the same as below

2.2 判断矩阵一致性检验结果

根据层次分析结构图中各指标间的关系(图 1), A-B 的一致性值 $CR = 0.073 < 0.1$ 符合一致性检测结果, Bi-Pi 的一致性检测值 CR 均 < 0.1 ,

得出一致性检测结果是正确、合理的(表 2)。在 A-B 矩阵中 B2 所占权重较大, B3 次之, 因此在马铃薯种质资源筛选过程中产量性状和品质性状较农艺性状重要; 在 B1-Pi 矩阵中 P1 的权重最大, P2 次之,

P3 最小,由此可见在农艺性状筛选中株高和茎粗是育种家主要关注的指标,然而对植物归一化指数的要求不是很高;在 B2-Pi 矩阵中 P6 的权重最大,P8 次之,P7 最小,在产量性状中产量依然是第一选择,表明选择高产马铃薯种质是我们的主要育种目标,而对商品率的要求不是很高;在 B3-Pi 矩阵中 P9 的权重最大,P12 次之,P11 最小,在品质性状的选择中,以筛选淀粉和蛋白含量高、还原糖含量低马铃薯种质材料为主。

2.3 引进马铃薯各指标无量纲化与综合分析

根据各指标无量纲化与综合得分的结果(表 4),以 0.5 作为一个梯度,引进的马铃薯种质资源可以分为 7 类;第 1 类有 29 份马铃薯材料,第 2 类 5 份;

第 3 类 12 份;第 4 类 11 份;第 5 类 11 份;第 6 类 8 份;第 7 类 21 份。其中第 1 类有 27 份材料丰产性高,品质优良,综合农艺性状优良,可为以后选育优良马铃薯品种提供种质保障;第 2 类材料根系较长、叶绿素含量高、还原糖含量较低,可以作为选育根系发达、叶绿素含量较高品种的亲本材料,这一类材料中薯块的还原糖含量较低,可作为加工型马铃薯材料选育的种质资源;第 3~6 类材料中只有个别性状优良,针对某一性状进行改良时,可以选择该优良性状的材料作为亲本,来选育专用型马铃薯新品种,比如第 3 类材料中维生素 C 的含量较高,第 5 类材料中的干物质含量和淀粉含量较高;第 7 类材料综合性状一般,可以作为种质资源将它们保存起来。

表 4 引进马铃薯种质资源不同性状的无量纲化结果与综合得分

Table 4 Results of non dimension and comprehensive scores of different traits for introduced potato germplasms

编号 Code	株高 PH w1 = 0.378	茎粗 SD w2 = 0.286	叶绿素 Ch w3 = 0.083	归一 化植 被指数 NDVI w4 = 0.126	根长 RL w5 = 0.126	产量 Y w6 = 0.731	商品率 SR w7 = 0.081	单株薯 块重 SPW w8 = 0.188	干物质 DH w9 = 0.393	淀粉 STA w10 = 0.163	还原糖 RS w11 = 0.086	蛋白质 PRO w12 = 0.203	维生素 C VC w13 = 0.154	综合得分 Comprehensive scores
C108	0.83	0.67	0.85	0.97	0.78	0.97	0.97	0.50	0.90	0.69	0.91	0.60	0.61	2.44
C67	0.83	0.61	0.85	0.98	0.87	0.76	0.83	0.52	0.92	0.68	0.87	0.67	0.80	2.32
C53	0.75	0.64	0.83	1.00	0.74	0.72	0.80	0.49	0.95	0.93	0.84	0.89	0.61	2.31
C93	0.75	0.62	0.79	0.96	0.79	0.72	1.00	1.00	0.83	0.65	0.92	0.66	0.60	2.27
C36	0.85	0.59	0.82	0.99	0.61	0.74	0.58	0.67	0.85	0.70	0.83	0.65	0.84	2.25
C113	0.85	0.65	0.76	0.98	0.89	0.63	0.41	0.56	0.94	0.78	0.88	0.74	0.80	2.25
C122	0.75	0.73	0.82	0.96	0.76	0.60	0.34	0.53	0.93	0.85	0.91	0.73	0.83	2.20
C10	0.79	0.63	0.79	0.99	0.78	0.73	0.70	0.26	0.71	0.70	0.87	0.87	0.69	2.15
C116	0.81	0.58	0.79	0.93	0.84	0.61	0.21	0.75	0.86	0.78	0.88	0.68	0.70	2.15
C49	0.74	0.60	0.81	0.96	0.81	0.69	0.45	0.72	0.68	0.68	0.89	0.63	0.93	2.14
C46	0.79	0.56	0.80	0.97	0.85	0.55	0.60	0.46	0.89	0.97	0.85	0.85	0.58	2.13
C100	0.95	0.62	0.74	0.95	0.87	0.57	0.28	0.45	0.84	0.74	0.85	0.75	0.67	2.12
C72	0.77	0.63	0.87	0.97	0.84	0.57	0.61	0.32	0.82	0.79	0.89	0.81	0.92	2.12
C82	0.79	0.62	0.82	0.94	0.81	0.44	0.46	0.42	0.92	0.81	0.90	0.80	1.00	2.09
C45	0.71	0.55	0.90	0.98	0.65	0.46	0.74	0.55	0.95	0.84	0.92	1.00	0.60	2.08
C84	0.90	0.65	0.78	0.95	0.98	0.47	0.31	0.38	0.85	0.79	0.89	0.82	0.66	2.08
C88	0.77	0.56	0.95	0.97	0.83	0.68	0.30	0.15	0.75	0.77	0.88	0.81	0.65	2.06
C12	0.77	0.52	0.86	0.96	0.88	0.42	0.67	0.67	0.89	0.88	0.87	0.68	0.80	2.05
C13	0.72	0.52	0.80	0.95	0.49	0.58	0.84	0.65	0.69	0.62	0.90	0.82	0.97	2.05
C97	0.82	0.56	0.88	0.97	0.79	0.47	0.56	0.49	0.85	0.81	0.88	0.75	0.69	2.04
C124	0.75	0.62	0.86	0.98	0.96	0.52	0.60	0.38	0.72	0.66	0.89	0.71	0.98	2.04
C31	0.75	0.64	0.85	0.94	0.80	0.54	0.79	0.16	0.86	0.75	0.98	0.70	0.69	2.03

表 4(续)

编号 Code	株高 PH w1 = 0.378	茎粗 SD w2 = 0.286	叶绿素 Ch w3 = 0.083	归一 化植 被指数 NDVI w4 = 0.126	根长 RL w5 = 0.126	产量 Y w6 = 0.731	商品率 SR w7 = 0.081	单株薯 块重 SPW w8 = 0.188	干物质 DH w9 = 0.393	淀粉 STA w10 = 0.163	还原糖 RS w11 = 0.086	蛋白质 PRO w12 = 0.203	维生素 C VC w13 = 0.154	综合得分 Comprehensive scores
C98	0.89	0.66	0.81	0.97	0.66	0.45	0.33	0.48	0.81	0.75	0.87	0.78	0.71	2.02
C96	0.78	0.61	0.85	0.96	0.78	0.50	0.58	0.21	0.90	0.73	0.88	0.73	0.74	2.02
C47	0.71	0.68	0.82	0.96	0.78	0.35	0.44	0.64	0.89	0.84	0.92	0.86	0.77	2.02
C118	0.76	0.68	0.85	0.95	0.78	0.52	0.61	0.60	0.77	0.71	0.90	0.58	0.61	2.01
C99	0.98	0.65	0.82	0.96	0.66	0.55	0.71	0.12	0.71	0.70	0.90	0.59	0.76	2.01
C51	0.77	0.64	0.81	0.99	0.72	0.52	0.45	0.34	0.74	0.68	0.85	0.90	0.72	2.00
C102	0.63	0.57	0.78	0.96	0.93	0.52	0.57	0.24	0.90	0.93	0.93	0.63	0.69	1.99
C112	0.84	0.61	0.82	0.95	0.80	0.37	0.30	0.43	0.83	0.80	0.85	0.83	0.82	1.98
C123	0.66	0.59	0.92	0.95	0.81	0.47	0.48	0.79	0.81	0.79	0.59	0.71	0.49	1.96
C119	0.65	0.68	0.84	0.99	0.93	0.44	0.40	0.32	0.84	0.78	0.88	0.76	0.72	1.96
C43	0.88	0.52	0.86	0.96	0.75	0.51	0.49	0.23	0.72	0.64	0.87	0.75	0.77	1.96
C71	0.80	0.66	0.84	0.95	0.82	0.41	0.32	0.19	0.88	0.87	0.94	0.62	0.71	1.94
C52	0.70	0.57	0.72	0.93	0.70	0.52	0.42	0.51	0.84	0.72	0.87	0.56	0.68	1.94
C50	0.63	0.59	0.80	0.96	0.73	0.63	0.29	0.35	0.57	0.51	0.90	0.93	0.88	1.94
C16	0.77	0.60	0.87	0.95	0.75	0.35	0.27	0.25	0.92	0.82	0.94	0.67	0.98	1.94
C32	0.88	0.60	0.83	0.95	0.86	0.34	0.31	0.13	0.85	0.81	0.80	0.90	0.80	1.93
C85	0.74	0.64	0.78	0.98	0.77	0.45	0.46	0.42	0.71	0.62	0.93	0.78	0.81	1.93
C27	0.87	0.56	0.74	0.96	0.75	0.54	0.17	0.41	0.68	0.58	0.85	0.77	0.60	1.93
C83	0.91	0.70	0.75	0.97	0.76	0.40	0.18	0.19	0.73	0.64	0.91	0.73	0.93	1.93
DXY	0.57	0.59	0.82	0.91	0.74	0.44	0.89	0.60	0.75	0.73	0.94	0.64	0.92	1.93
C21	0.81	0.62	0.82	0.97	0.75	0.34	0.19	0.05	1.00	1.00	0.89	0.67	0.66	1.91
C115	0.70	0.68	1.00	0.96	0.83	0.43	0.67	0.46	0.66	0.51	0.98	0.71	0.70	1.90
C64	0.67	0.54	0.86	0.98	0.69	0.35	0.54	0.43	0.90	0.83	0.85	0.72	0.81	1.90
C25	0.94	0.64	0.81	0.93	0.96	0.27	0.14	0.16	0.79	0.86	0.94	0.75	0.85	1.89
C62	1.00	0.64	0.91	0.98	0.76	0.30	0.45	0.17	0.82	0.84	0.76	0.64	0.60	1.89
C121	0.84	0.54	0.84	0.96	0.77	0.40	0.56	0.27	0.87	0.57	0.92	0.63	0.58	1.88
C9	0.82	0.59	0.93	0.96	0.73	0.30	0.60	0.09	0.92	0.74	0.94	0.82	0.60	1.87
C87	0.83	0.63	0.87	0.97	0.82	0.30	0.51	0.45	0.68	0.57	0.92	0.89	0.80	1.87
C44	0.74	0.54	0.83	0.97	0.81	0.34	0.32	0.48	0.77	0.65	0.87	0.82	0.83	1.87
C68	0.83	0.62	0.79	0.96	0.76	0.32	0.55	0.32	0.72	0.61	0.90	0.76	0.85	1.86
C20	0.93	0.62	0.83	0.99	0.83	0.36	0.22	0.42	0.57	0.50	0.80	0.76	0.95	1.85
C63	0.75	0.65	0.85	0.96	0.82	0.28	0.28	0.29	0.87	0.79	0.85	0.70	0.79	1.85
C132	0.96	0.62	0.83	0.98	0.84	0.18	0.02	0.16	0.90	0.82	0.90	0.72	0.90	1.85
C40	0.78	0.62	0.79	0.98	0.96	0.45	0.16	0.09	0.74	0.67	0.91	0.59	0.75	1.85
C133	0.80	0.62	0.92	0.95	0.94	0.26	0.00	0.13	0.88	0.87	0.90	0.71	0.82	1.84
C117	0.83	0.52	0.79	0.97	0.69	0.28	0.31	0.33	0.81	0.79	0.83	0.91	0.71	1.84

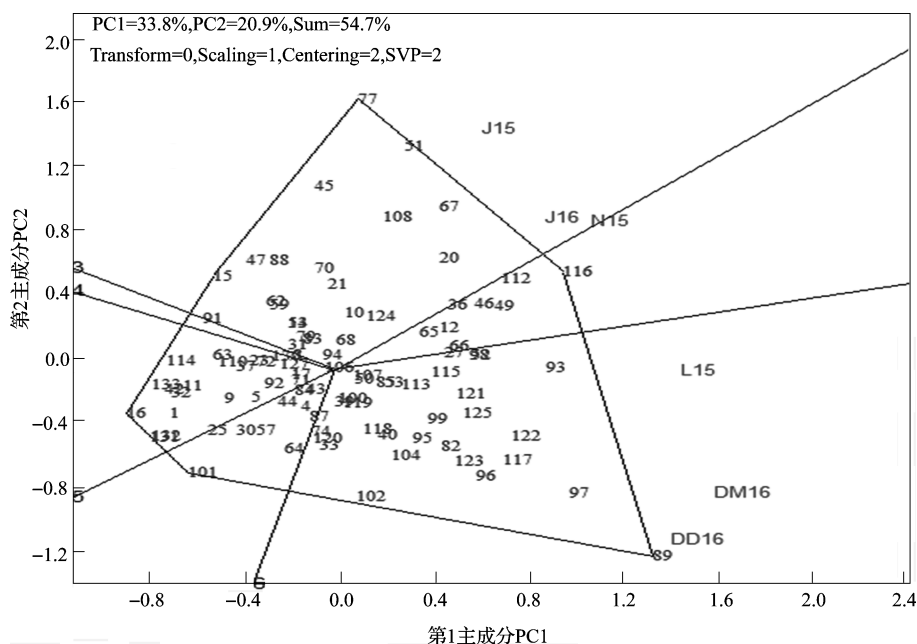
表 4(续)

编号 Code	株高 PH w1 = 0.378	茎粗 SD w2 = 0.286	叶绿素 Ch w3 = 0.083	归一 化植 被指数 NDVI w4 = 0.126	根长 RL w5 = 0.126	产量 Y w6 = 0.731	商品率 SR w7 = 0.081	单株薯 块重 SPW w8 = 0.188	干物质 DH w9 = 0.393	淀粉 STA w10 = 0.163	还原糖 RS w11 = 0.086	蛋白质 PRO w12 = 0.203	维生素 C VC w13 = 0.154	综合得分 Comprehensive scores
C70	0.80	0.59	0.77	0.97	0.79	0.21	0.43	0.30	0.92	0.82	0.85	0.75	0.75	1.84
C91	0.79	0.59	0.84	0.98	0.89	0.39	0.40	0.25	0.65	0.65	0.88	0.63	0.86	1.83
C125	0.90	0.54	0.77	0.97	0.73	0.30	0.50	0.23	0.82	0.64	0.97	0.62	0.80	1.83
C42	0.64	0.55	0.88	0.94	0.75	0.29	0.13	0.19	0.97	0.92	0.93	0.76	0.81	1.83
C107	0.72	0.66	0.82	0.99	0.83	0.21	0.58	0.22	0.89	0.73	0.86	0.84	0.77	1.83
C17	0.64	0.47	0.88	0.94	0.68	0.27	0.56	0.71	0.83	0.66	0.86	0.68	0.93	1.81
C66	0.77	0.59	0.89	0.97	0.69	0.27	0.88	0.09	0.89	0.81	0.83	0.75	0.49	1.80
C57	0.69	0.58	0.75	0.96	0.72	0.24	0.07	0.25	0.97	0.94	0.87	0.72	0.75	1.80
C94	0.66	0.64	0.86	0.95	0.99	0.35	0.49	0.26	0.74	0.68	0.87	0.72	0.55	1.80
C30	0.69	0.52	0.69	0.95	0.79	0.29	0.69	0.35	0.90	0.70	0.90	0.68	0.56	1.79
C54	0.84	0.67	0.88	0.99	1.00	0.26	0.16	0.18	0.70	0.62	0.83	0.82	0.66	1.78
C15	0.72	0.56	0.75	0.96	0.68	0.43	0.11	0.26	0.64	0.61	0.88	0.88	0.58	1.77
C106	0.68	0.66	0.84	0.96	0.81	0.28	0.11	0.19	0.82	0.82	0.91	0.59	0.82	1.77
C74	0.72	0.59	0.89	0.96	0.86	0.25	0.62	0.23	0.76	0.72	0.84	0.74	0.70	1.76
C4	0.81	0.52	0.82	0.95	0.73	0.18	0.44	0.40	0.84	0.82	0.81	0.60	0.85	1.76
C104	0.56	0.60	0.80	0.96	0.84	0.31	0.10	0.43	0.81	0.77	0.88	0.64	0.79	1.76
C33	0.63	0.61	0.84	0.90	0.63	0.29	0.36	0.35	0.92	0.82	0.84	0.61	0.58	1.76
C37	0.74	0.53	0.88	0.97	0.68	0.19	0.13	0.21	0.91	0.92	0.88	0.64	0.84	1.74
C65	0.67	0.62	0.82	0.95	0.75	0.25	0.47	0.36	0.66	0.63	0.86	0.92	0.76	1.73
C101	0.67	1.00	0.75	0.94	0.76	0.22	0.67	0.15	0.67	0.62	0.84	0.78	0.47	1.72
C114	0.57	0.54	0.90	0.98	0.81	0.24	0.55	0.39	0.88	0.64	0.83	0.72	0.54	1.71
C79	0.72	0.62	0.91	0.95	0.64	0.30	0.16	0.23	0.75	0.73	0.93	0.60	0.49	1.69
C8	0.73	0.54	0.78	0.93	0.71	0.32	0.23	0.10	0.68	0.62	0.96	0.80	0.68	1.69
C110	0.65	0.64	0.83	0.97	0.66	0.25	0.36	0.22	0.72	0.62	0.92	0.70	0.74	1.67
C22	0.72	0.60	0.84	0.99	0.69	0.27	0.14	0.14	0.53	0.95	0.90	0.82	0.65	1.67
C130	0.83	0.63	0.81	0.95	1.01	0.20	0.24	0.19	0.57	0.43	0.90	0.69	0.95	1.66
C95	0.81	0.52	0.88	0.94	0.69	0.14	0.38	0.37	0.79	0.47	0.86	0.73	0.78	1.66
C39	0.76	0.58	0.75	0.96	0.67	0.29	0.36	0.36	0.65	0.71	0.89	0.29	0.75	1.65
C11	0.72	0.52	0.89	0.97	0.68	0.18	0.28	0.34	0.64	0.71	0.88	0.80	0.80	1.65
C59	0.68	0.63	0.87	0.96	0.81	0.25	0.31	0.25	0.64	0.57	0.89	0.67	0.71	1.65
C23	0.67	0.60	0.84	0.96	0.73	0.15	0.26	0.20	0.87	0.81	0.85	0.58	0.63	1.63
C120	0.46	0.57	0.83	0.92	0.73	0.24	0.43	0.40	0.69	0.81	0.86	0.68	0.68	1.61
C127	0.70	0.67	0.85	0.97	0.60	0.16	0.54	0.20	0.72	0.46	0.85	0.67	0.75	1.60
C92	0.67	0.66	0.86	0.98	0.63	0.13	0.16	0.21	0.71	0.61	0.93	0.66	1.00	1.60
C89	0.60	0.61	0.89	0.96	0.63	0.12	0.67	0.33	0.72	0.72	0.84	0.71	0.62	1.59
C1	0.58	0.49	0.83	0.95	0.70	0.16	0.11	0.19	0.79	0.78	0.91	0.56	0.80	1.55
C5	0.65	0.55	0.87	0.95	0.65	0.18	0.33	0.14	0.69	0.60	0.88	0.59	0.70	1.53
C131	1.02	0.60	0.76	0.00	0.62	0.09	0.15	0.10	0.71	0.65	0.85	0.61	0.92	1.52

2.4 引进马铃薯种质资源的适应性评价

GGE 双标图能够直观清晰反映品种在区域试验中的综合表现。双标图对品种适应性分析,主要是双标图将外围离中心较远品系用直线连起来,将所有的品系都包括在这个多边形内,接着从原点向多边形的每条边做垂线,将整个双标图分为若干扇形区域,每个参加区域试验的品系都会自然落在某个扇形区域内,位于每个扇形区域顶点的品系就是该区域内表现最好的品系,位于多边形内部、靠近原点的品系则表现较差。GGE 双标图品种适应性分析结果表明(图2),6个不同试验点被分割成3个不同的区域^[31-33](按顺时针方向):(1)2015年景泰(J15)和2016年景泰(J16),(2)2015年内官(N15),(3)2015年鲁家沟(L15),2016年定西熟期

试验(DM16)和2016年定西干旱试验(DD16)。C77和C51是在第1个区域内(景泰地区)胜出的品系,适合在景泰地区推广种植,其中C67、C20、C108和C45这些品系在景泰地区的适应性具有很大的潜力,是今后景泰地区研究的重点品系。C116是在2015年内官胜出的品系,C112、C49和C46次之;C89是在2015年鲁家沟(L15)、2016年定西香泉熟期试验(DM16)和2016年定西香泉干旱试验(DD16)中胜出的品系,C97次之,因此C89在定西地区适宜推广种植。C36和C112位于第1区域和第2区域的交界处,因此,C36的适应性强,既可在景泰地区种植也可以在定西的内官种植;C27、C66和C98位于第2区域和第3区域的交界处,表明其在定西地区的适应性强。



J15:2015年景泰试验;L15:2015年鲁家沟试验;N15:2015年内官试验;J16:2016年景泰试验;

DM16:2016年定西香泉熟性试验;DD16:2016年定西香泉干旱试验,下同

J15:Jingtai test in 2015, L15:Lujiaguo test in 2015, N15:Neiguan test in 2015, J16:Jingtai test in 2016,

DM16:Dingxi Xiangquan Maturity test in 2016, DD16:Dingxi Xiangquan Drought test in 2016, the same as below

图2 GGE 双标图对甘肃省2015-2016年区域试验适应性分析(产量数据)

Fig. 2 GGE biplot for polygon view at locations in Gansu of 2015-2016 (Yield date)

2.5 引进马铃薯种质资源的稳定性与丰产性评价

GGE 双标图对参试品系稳定性和丰产性评价过程中,图中圆圈所代表的是平均环境,经过原点和平均环境的这条带有箭头的直线为平均环境轴(AEC),在平均环境轴上沿着箭头方向产量增高。因此,在2015-2016年区域试验中的参试品系丰产性大小是C89 > C116 > C93 > C97 > C112 > C49 > C46 > C67, C89和C116是产量最高的品系,C16产

量最低(图3)。经过原点并与平均环境轴垂直带有双向箭头的直线表示品系稳定性大小,垂线段越长品系稳定性越差,越短则品系稳定性越强,接近平均环境的品系稳定性最好。参试品系稳定性大小为C49 > C46 > C116 > C112 > C93, C49稳定性最好, C97, C77, C89和C51较差(图3)。C49, C46, C112和C116具有较高的丰产性和稳定性,是以后进行区域试验重点研究品系。

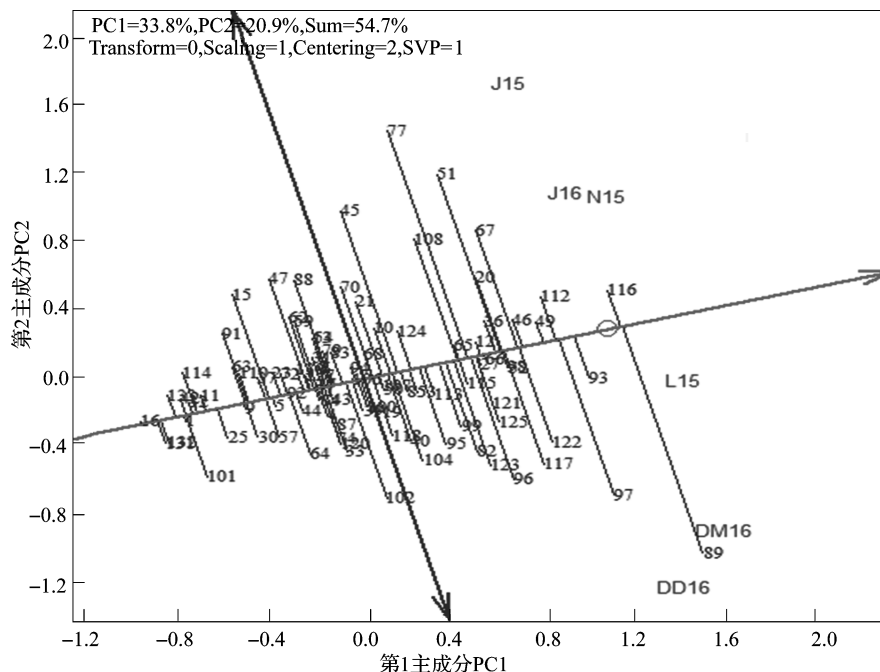


图3 GGE 双标图对马铃薯种质的稳定性和丰产性分析

Fig. 3 GGE biplot for average mean performance and stability performance of potato germplasm

3 讨论

本研究主要基于层次分析法和 GGE 双标图对从国际马铃薯中心-亚太中心引进的 97 份马铃薯种质资源进行综合研究,主要针对农艺性状、产量性状和品质性状的 13 个具体评价指标,基于 GGE 双标图对引进品系的适应性、稳定性和丰产性进行综合评价,并构建了马铃薯种质资源综合评价体系。在层次分析法中判断矩阵一致性检验结果表明,一级和二级评价指标层中各具体指标对目标层(国际马铃薯中心引进马铃薯种质资源的评价)一致性结果表明 $CR = 0.073 < 0.1$ ^[33-34],层次分析法中一致性检测结果准确合理,符合层次分析法的要求。利用层次分析法建立的马铃薯种质资源综合评价体系是合理有效的,该体系可以用于马铃薯种质资源筛选与综合评价。引进种质资源的评价和筛选,以往都凭借着研究人员和育种家多年的育种经验和农作物在大田中的具体表现来衡量,这种评价与筛选非定量因素太多,评价过程中人为因素太明显。层次分析法这种以定性定量相结合的分析方法,通过构造两两比较判断矩阵来确定不同因素对筛选优良马铃薯种质资源的影响,避免了由偶然因素所造成的误差^[21]。

对于一个品系,适应性评价往往伴随稳定性和丰产性评价,一个好的品系应该具有适应性广,

稳定性和丰产性强等特点。在多年多点试验中对不同品系稳定性和丰产性进行分析时,GGE 双标图的作用显而易见。在本研究中 C89 属于高产品系,但稳定性较差;C112、C49、C46 和 C116 适应性、丰产性和稳定性表现较好,这一结果与我们已经取得综合评价结果和大田中的结果相符,如 C49、C46、C112 和 C116 在大田中薯块大小一致,商品率高,产量高。因此这些品系可以作为优良品系参与下一年品种审定试验以及作为选育马铃薯新品种的优良种质材料,并且可以作为配制高产、品质优良的组合的亲本材料。

本研究中层次分析法和双标图分析的结果高度一致,在层次分析法中综合得分较高的品系,在双标图分析中适应性强、稳定性和丰产性高,与参试品系在大田里的表现相一致。说明利用层次分析和 GGE 双标图分析对引进种质资源进行综合分析的结果是合理的、有效的,建立的马铃薯种质资源评价体系可作为以后进行种质资源评价与鉴定的依据,为以后筛选适应于现代化生产以及品质优良的马铃薯新品种提供理论基础,也对其他作物种质的筛选与鉴定提供技术和理论支持。马铃薯抗病育种是马铃薯育种研究中一个十分重要的环节,但是由于在早期研究工作量比较庞大和内容比较复杂,未能将抗病性纳入到早期研究中。本课题组在今后的研究中还会考虑到马铃薯的抗逆性,将抗逆性与抗病性

纳入到评价体系中,进一步完善马铃薯种质筛选与评价体系,为以后马铃薯种质的筛选与评价提供参考依据。

参考文献

- [1] 吕巨智, 染和, 姜建初, 等. 马铃薯的营养成分及保健价值[J]. 中国食物与营养, 2009(3): 51-52
- [2] 贾晶霞, 杨得秋, 李洋, 等. 中国与世界马铃薯生产概况对比分析与研究[J]. 农业工程, 2011, 19(2): 84-86
- [3] 夏平. 国外种质资源在我国马铃薯生产中的应用[J]. 马铃薯杂志, 2000, 14(1): 42-45
- [4] 蔡兴奎, 谢从华. 中国马铃薯发展历史、育种现状及发展建议[J]. 长江蔬菜, 2016(12): 30-34
- [5] 谢开云, David Tay, 王凤义, 等. 国际马铃薯中心(CIP)马铃薯种质资源及其在中国的利用[J]. 农产品市场周刊, 2015(2): 201-209
- [6] 陈俊愉, 邓朝佐. 用百分制评选三种金花茶优株试验[J]. 北京林业大学学报, 1986(3): 35-43
- [7] 陈和明, 江南, 王桂芬, 等. 层次分析法在大花蕙兰品种选择上的应用[J]. 亚热带植物科学, 2009, 38(2): 30-32
- [8] 杨彦伶, 雷小华, 胡孝国, 等. 层次分析法在紫薇优良无性系选择的应用研究[J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2005(4): 518-521
- [9] Burak S, Tayyar S, Kilic S E, et al. AHP model for the selection of partner companies in virtual enter prises[J]. Inter J Adv Manufac Technol, 2008, 38: 367-376
- [10] 曾宪文, 彭重华, 梁智娇, 等. 模糊数学法在竹子观赏性评价中的应用[J]. 竹子研究汇刊, 2009, 28(3): 29-33
- [11] Hu A J, Li D M, Liu M M, et al. Research on influencing factors of welfare level about left-behind children in China rural areas[J]. J Agric Sci, 2011, 3(2): 223-229
- [12] 杜淑辉, 臧德奎, 孙居文, 等. 木瓜属观赏品质的灰色关联度综合评价[J]. 山东农业科学, 2011(1): 12-15
- [13] 雷中华, 王琴, 向理军, 等. 应用灰色系统理论对向日葵品种进行综合评价[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(9): 1770-1774
- [14] Raju S P, Suhas S J. Multi-objective optimization of surface roughness and cutting forces in high-speed turning of Inconel 718 using Taguchi grey relational analysis(TGRA)[J]. Inter J Adv Manufac Technol, 2011, 56: 47-62
- [15] Liu X Q, Wang J, Li Y T, et al. Grey relational analysis on the relation between marine environmental factors and oxidation-reduction potential[J]. Chinese J Oceanol Limnol, 2009, 27(3): 583-586
- [16] 殷冬梅, 张苹果, 崔党群, 等. 花生主要品质性状的主成分分析与综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(4): 507-512
- [17] Václav S, Miroslav K, Zsolt S, et al. Smoothness prior information in principal component analysis of dynamic image data[J]. Inform Proc Med Imag, 2001, 2082: 225-231
- [18] 吴殿廷, 李东方. 层次分析法的不足及其改进的途径[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2004, 40(2): 164-169
- [19] 徐兵兵, 张妙仙, 王肖肖, 等. 改进的模糊层次分析法在南苕溪临安段水质评价中的应用[J]. 资源环境学报, 2011, 31(9): 2066-2072
- [20] 庞振凌, 常红军, 胡兰群, 等. 层次分析法对南水北调中线水源区的水质评价[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1810-1818
- [21] 刘莉, 余宏明, 程江涛, 等. 层次分析-模糊综合评价法在滑坡工程中的应用[J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2008, 30(2): 43-46
- [22] 刘杰, 宋亮, 毛爱民, 等. 基于模糊层次与改进集对分析的公格尔隧道施工风险评估[J]. 中外公路, 2015(6): 211-216
- [23] 孔令祯, 张云宁, 杨骏, 等. 基于集对分析法的工程项目造价风险评价[J]. 土木工程与管理学报, 2016, 33(1): 90-96
- [24] 孙亚林, 黄新芳, 何燕红, 等. 运用层次分析法评价多子芋种质资源[J]. 华中农业大学学报, 2015, 34(1): 16-22
- [25] 钱虹妹, 杨学军, 余洪波, 等. 应用 AHP 法综合评价中国百合野生种资源[J]. 江苏农业科学, 2006(4): 168-172
- [26] 李自强. 运用层次分析法解决宁夏石中高速公路北段边坡绿化植物的选择问题[J]. 宁夏大学学报: 自然科学版, 2004(1): 72-76
- [27] 封培波, 胡永红, 张启翔, 等. 上海露地宿根花卉景观价值的综合评价[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(6): 84-87
- [28] 杨华, 宋绪忠, 陈磊, 等. 运用层次分析法对三叶崖爬藤种质评价与选择的研究[J]. 安徽林业科技, 2010, 139(2): 11-13
- [29] 高蓓, 卫海燕, 郭彦龙, 等. 基于层次分析法和 GIS 的秦岭地区魔芋潜在分析研究[J]. 生态学报, 2015, 35(21): 7108-7116
- [30] 刘遵春, 包东娥, 廖明安, 等. 层次分析法在金花梨果实品质评价上的应用[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(8): 125-128
- [31] Yan W, Hunt L A, Sheng Q, et al. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE Biplot[J]. Crop Sci, 2000, 40(3): 597-605
- [32] Yan W K. GGEbiplot-a windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data[J]. Agron J, 2001, 93: 1111-1118
- [33] Yan W, Kang M S. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists[M]. Boca Raton: CRC Press, 2003
- [34] 郑德祥, 陈平留. 层次分析法在防火树种选择中应用[J]. 北京化工大学学报, 2000(5): 443-446

欢迎订阅 2018 年《植物科学学报》

《植物科学学报》是中国科学院主管、中科院武汉植物园主办、科学出版社出版、国内外公开发行的植物学综合性学术期刊。本刊为中国自然科学核心期刊, 已被中国科学引文数据库核心库、《中文核心期刊要目总览》、中国科技论文与引文数据库、中国生物学文献数据库、中国核心期刊(遴选)数据库、中国知识资源总库《中国科技期刊精品数据库》、中国期刊全文数据库、《中国药学文摘》、美国《化学文摘》、美国《生物科学文摘》等 20 多种国内外权威性检索系统收录。本刊曾相继获全国优秀科技期刊奖、中国科学院优秀期刊奖、湖北省优秀期刊奖。

本刊栏目设置有特邀综述、系统与进化、生态与生物地理、遗传与育种、生理与发育、资源与植物化学、技术与方法、研究快报、学术讨论、重要书评评介和学术动态等。读者对象为科研院所和高等院校从事植物科学研究的科研人员、教师和研究生, 以及相关学科、交叉学科的科技工作者。

双月刊, 每期定价 50 元, 全年 300 元。刊号 CN42-1817/Q, ISSN 2095-0837。全国各地邮局均可订阅, 邮发代号: 38-103, 也可直接与本刊编辑部联系订阅。

地址: 武汉市武昌磨山中科院武汉植物园内《植物科学学报》编辑部

邮编: 430074

电话: 027-87510755; 027-87510579

QQ: 424353337

E-mail: editor@wbgeas.cn; zwkxbjb@wbgeas.cn

网址: <http://www.plantscience.cn>