

张晓磊, 王小明, 范光宇, 等. 基于主成分分析和聚类分析的谷子种质资源主要农艺性状综合评价[J]. 山西农业科学, 2025, 53(1): 1-11.

ZHANG X L, WANG X M, FAN G Y, et al. Comprehensive evaluation of main agronomic traits of millet germplasm resources based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(1): 1-11.

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2025.01.01

基于主成分分析和聚类分析的谷子种质资源 主要农艺性状综合评价

张晓磊^{1,2}, 王小明^{1,2}, 范光宇^{1,2}, 张雅莉^{1,2}, 杨秋书³, 王德权^{1,2}, 赵芳¹

(1. 张家口市农业科学院, 河北 张家口 075000; 2. 国家谷子改良中心张家口杂交谷子分中心, 河北 张家口 075000;

3. 河北省农业广播电视学校 石家庄市鹿泉区分校, 河北 石家庄 050000)

摘 要:为综合评价 94 份谷子种质资源, 选取穗质量、穗码数、单码籽粒数等 13 个主要农艺性状指标, 通过变异系数、遗传多样性指数、聚类分析等方法对其进行综合评价。结果表明, 13 个主要农艺性状的遗传多样性指数均在 1.90 以上, 变异系数在 11.79%~37.75%, 不同谷子种质资源的主要农艺性状间存在相关性; 穗质量与穗码数、单码籽粒数、穗粒质量、倒二叶长、倒二叶宽、茎秆长、茎秆粗、主穗长、主穗粗、主穗节节数呈极显著正相关, 与千粒质量呈显著正相关; 穗粒质量与穗质量、穗码数、单码籽粒数、倒二叶宽、茎秆长、茎秆粗、主穗长、主穗粗、主穗节节数和千粒质量呈极显著正相关, 与倒二叶长呈显著正相关。聚类分析表明, 94 份材料共分为六大类群, 其中第 I 类群(7 份)、V 类群(17 份)的穗粒质量、千粒质量显著高于其他类群, 可作为高产谷子引种或杂交育种的亲本材料。主成分分析将 13 个农艺性状指标集中在累计贡献率达 76.165% 的 4 个主成分中, 其中, 第 1 主成分与穗质量、穗粒质量密切相关, 贡献率为 37.401%; 第 2、3、4 主成分与谷子的生态建成相关。综上所述, 94 份谷子种质资源材料变异潜力较大。综合评价表明, 0412-1-2-1、山西白、良谷、大红袍、老虎尾、2055 父、媳妇笑(蔚县)、8311、饿死牛和小竹叶青可作为育种的优良亲本材料。

关键词:谷子; 农艺性状; 遗传多样性; 聚类分析; 主成分分析

中图分类号:S515 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2481(2025)01-0001-11

Comprehensive Evaluation of Main Agronomic Traits of Millet Germplasm Resources Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

ZHANG Xiaolei^{1,2}, WANG Xiaoming^{1,2}, FAN Guangyu^{1,2}, ZHANG Yali^{1,2},
YANG Qiushu³, WANG Dequan^{1,2}, ZHAO Fang¹

(1. Zhangjiakou Academy of Agricultural Sciences, Zhangjiakou 075000, China; 2. National Foxtail Millet

Improvement Center, Zhangjiakou Hybrid Millet Sub-Center, Zhangjiakou 075000, China;

3. Hebei Agricultural Broadcasting School, Shijiazhuang Luquan District Branch, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: In this study, in order to comprehensively evaluate 92 millet germplasm resources, 13 main agronomic traits such as spike weight, spikelet number, grains per spikelet were selected. The millet germplasm resources were comprehensively evaluated using methods such as coefficient of variation, genetic diversity index, cluster analysis. The results showed that the genetic diversity index of 13 main agronomic traits were all above 1.90, The coefficient of variation ranged from 11.79% to 37.75%, There was a correlation among the main agronomic traits of different millet germplasm resources. The spike weight was extremely significantly positively correlated with the spikelet number, grains per spikelet, the grain weight per spike, the length and width of the top second leaves, the length and thickness of the stem, the length and thickness

收稿日期: 2024-03-17

基金项目: 河北省谷子产业技术体系优质春谷岗位项目(HBCT2024080207); 国家现代农业产业技术体系(CARS-06-14.5-A7)

作者简介: 张晓磊, 副研究员, 硕士, 主要从事杂交谷子育种研究, E-mail: xiaoleizhang1990@163.com

通信作者: 赵芳, 副研究员, 硕士, 主要从事杂粮杂豆研究, E-mail: nongxuezhao201@163.com

of the main spike, the number of nodes in the main spike, and the one thousand grain weight. It is also significantly positively correlated with the one thousand grain weight. The grain weight per spike was extremely significantly positively correlated with the spike weight, the spikelet number, the grains per spikelet, the width of top second leaves, the length and thickness of the stem, the length and thickness of the main spike, the number of nodes in the main spike, and the one thousand grain weight, and significantly positively correlated with top second leaf length. Cluster analysis showed that 94 materials were divided into 6 groups, among them, the grain weight per spike and one thousand grain weight of Group I(7) and Group V(17) were significantly higher than those of other groups. They could be used as introduction of high-yield varieties or parental materials for hybrid breeding of high-yield millet. Principal component analysis focused 13 agronomic traits on 4 principal components with a cumulative contribution rate of 76.165%, among them, the first principal component was closely related to spike weight and grain weight per spike, with a contribution rate of 37.401%. The second, third, and fourth principal components were related to the ecological construction of millet. In summary, 94 millet germplasm resources had significant potential for variation. The comprehensive evaluation showed that 0412-1-2-1, Shanxibai, Lianggu, Dahongpao, Laohuwei, 2055fu, Xifuxiao(Yu county), 8311, Esiniu, and Xiaozhuyeqing could be used as excellent parental materials for breeding.

Keywords: millet; agronomic traits; genetic diversity; cluster analysis; principal component analysis

谷子(*Setaria italica* (L.) Beaun) 又称粟, 二倍体自花授粉作物。其具有耐瘠抗旱、水分利用效率高、营养价值高等特点, 既适合作物结构调整的需要, 也有利于保证粮食安全^[1-2]。考古发现, 在南庄头和东胡林^[3]、裴李岗^[4]、磁山^[5]等地均有食用栽培谷子遗迹。近几年, 我国谷子每年的种植面积约 150 万 hm^2 ^[6]。进入 21 世纪后, 我国各大谷子育种单位加大对新品种研发力度, 培育出许多矮秆、早熟、高产新品种, 谷子产量得到了显著提升, 为推动我国谷子产业发展起到了关键作用^[7]。

近年来, 各育种单位对于谷子遗传多样性做了大量开创性的工作, 吕建珍等^[8]对谷子 29 个表型性状鉴定和 36 对 SSR 标记研究发现, 谷子数量性状的平均遗传多样性指数最高, 质量性状最低; 史关燕等^[9]对短穗型、中偏短穗型、中偏长穗型和长穗型 4 类不同谷子杂交种产量与主要农艺性状进行相关性和回归分析, 得出 4 种类型谷子杂交种的产量与出谷率之间存在显著正相关, 经济系数和单株粒质量与单株穗质量之间存在极显著正相关, 与出谷率、千粒质量和穗粗与杂交种产量呈显著正相关的结论。陈慢慢等^[10]以嫩选 15 和黄金苗杂交获得的重组自交系群体为材料, 对籽粒直链淀粉、黄色素 2 个品质性状和株高、穗长、叶面积、茎粗、穗粗、茎节数、单穗质量、穗粒质量 8 个主要农艺性状进行了遗传变异、相关性和回归分析, 发现单穗质量和穗粒质量变异系数较高, 株高和直链淀粉含量的变异系数较低。韩燕丽等^[11]采用相关分析和灰色关联度分析 2 种方法对 15 个谷子品种的产量相关的农艺性状进行综合评价, 结果表明, 对谷子产量影响最大的是

千粒质量, 出谷率次之, 穗质量最小。刘思辰等^[12]采用聚类分析把 212 份陕西谷子地方品种种质资源分为 3 个类群, 主成分分析把 15 个性状归为 9 个主成分, 累计贡献率为 89.26%。杨慧卿等^[13]采用主成分分析把 9 个性状归为 3 个主成分, 累计贡献率为 73.90%, 把陕西谷子地方品种种质资源分为了 2 个类群。谷子种质资源是选育新品种的基础材料, 收集和筛选优质谷子种质资源, 并对其进行评价利用, 有利于培育高产、抗逆、优质的谷子新品种。

本研究收集各地的主栽品种和农家品种共 94 份, 通过表型性状的鉴定方法对农艺性状的遗传多样性进行分析, 探究谷子从农家品种到选育品种农艺性状的演变规律, 以及农艺性状与产量性状之间的关系, 旨在为谷子新品种选育提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地设在河北省张家口市农业科学院坝下试验基地 ($40^{\circ}40'N$, $114^{\circ}55'E$)。该地区海拔为 646 m, 属温带大陆性季风气候, 年平均降水量为 409 mm, 无霜期为 110~140 d。试验地地势平整, 土壤肥力均匀。

1.2 试验材料

谷子材料为张家口市农业科学院保存及从全国收集共 94 份谷子种质资源, 涵盖了我国谷子主要种植区品种类型。参试材料编号、种质名称及来源地见表 1。

表 1 供试的 94 份谷子品种
Tab.1 94 millet varieties tested

编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources	编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources	编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources
1	压塌车	山西大同市	33	媳妇笑	河北阳原	65	2055父	河北张家口
2	狮子头	河北张家口	34	缰绳头	河北张家口	66	上位系	河北张家口
3	齐头黄	河北张家口	35	山西白	河北张家口	67	丰选二号	河北承德
4	一窝蛇	河北张家口	36	二白谷	河北张家口	68	宁黄1号	河北石家庄
5	大黑夜来	河北张家口	37	菠菜根	河北承德	69	小毛黄	河北张家口
6	媳妇笑	河北蔚县	38	56天小谷子	河北张家口	70	十里香	河北张家口
7	红苗砂粒滚	河北张家口	39	薄地高	河北张家口	71	桃花小红谷	河北张家口
8	口外捎	河北张家口	40	猪粪谷	河北张家口	72	张杂谷3号	河北张家口
9	大红袍	山西吕梁	41	刀把齐	河北唐山	73	张杂谷5号	河北张家口
10	小列谷	河北张家口	42	齐头黄	河北张家口	74	张杂谷6号	河北张家口
11	金锥黄	河北张家口	43	一根齐	北京延庆	75	张杂谷10号	河北张家口
12	老虎尾	河北张家口	44	老汉白	河北张家口	76	张杂谷13号	河北张家口
13	大白谷	山西阳高	45	老来俏	河北张家口	77	安1512-8306	河南安阳
14	良谷	山西吕梁	46	竹叶青	山西阳高	78	赤1621	内蒙古赤峰
15	小竹叶青	河北张家口	47	压塌车	河北张家口	79	大同29	山西大同
16	夜来红	河北张家口	48	九根齐	河北张家口	80	冀张谷7号	河北张家口
17	六道楞	河北承德	49	朝谷14	辽宁朝阳	81	张杂谷19号	河北张家口
18	小金黄	河北张家口	50	东方亮	河北张家口	82	0412-4-5	甘肃兰州
19	牛角黄	河北张家口	51	3号父	河北张家口	83	1622-2	河北张家口
20	白罗砂	河北张家口	52	5号父	河北张家口	84	大同41	山西大同
21	老不熟	河北张家口	53	6号父	河北张家口	85	农谷15	内蒙古赤峰
22	七月黄	河北张家口	54	坝谷15	河北张家口	86	0416-2-1-1-1	甘肃兰州
23	小红谷	山西吕梁	55	坝谷214	河北张家口	87	安1512-8216	河南安阳
24	铁圪坦	河北张家口	56	坝谷257	河北张家口	88	赤13-3	内蒙古赤峰
25	红石柱	河北张家口	57	承农二号	河北承德	89	张杂谷13号	河北张家口
26	饿死牛	山西山阴	58	承农三号	河北承德	90	张杂谷21号	河北张家口
27	红交谷	河北张家口	59	承谷11	河北承德	91	K8328	内蒙古赤峰
28	大金苗	河北张家口	60	晋21	山西汾阳	92	晋品5号	山西太原
29	半夜来	河北张家口	61	8311	河北张家口	93	大同40	山西大同
30	山西谷	山西	62	大同14	山西大同	94	0412-1-2-1	甘肃兰州
31	眼皮薄	河北张家口	63	陇谷14	甘肃兰州			
32	无爪谷	河北张家口	64	龙选11号	河北承德			

1.3 试验方法

试验于2021年5—10月及2022年5—10月在张家口市农业科学院坝下试验基地试验田进行。试验田为褐色壤土,前茬作物为绿豆,肥力中等。采用露地直播方式,因素随机区组设计,3个重复,每小区种植4行,行长1 m,留苗36株,种植密度为30万株/hm²,株行距为10 cm×33 cm,常规田间管理。

1.4 测定指标及方法

田间性状调查参照《谷子种质资源描述规范

和数据标准》^[14];田间观察记载抽穗期,于灌浆期田间测量倒二叶长、倒二叶宽、穗颈长、茎秆长、茎秆粗、主穗长、主穗粗、主穗节数;成熟收获时每小区连续取10株调查穗质量、穗粒质量、穗码数、单码籽粒数、千粒质量等产量性状指标。

1.5 数据分析

采用SPSS 19.0计算性状的平均值、标准差、变异系数等,聚类分析采用PyCharm Community Edition 2018.3.5软件处理,采用SPAA软件进行相关性分析、聚类分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 谷子种质资源主要农艺性状的变异分析

对参试材料 13 个数量性状进行遗传多样性分析,结果表明(表 2),遗传多样性指数均在 1.90 以上,从大到小依次为:千粒质量、茎秆粗、茎秆长、穗质量、倒二叶宽、主穗粗、穗粒质量、主穗节节数、主穗长、穗颈长、单码籽粒数、穗码数、倒二叶长。94 份谷子种质资源的 13 个主要农艺性状变异幅度在 11.79%~37.75%,其中变异系数较大的性状分别

是穗粒质量(37.75%)、穗质量(35.65%)和单码籽粒数(34.85%),其极差为 33.33、40.33 g 和 148.33 个,表明 94 份种质资源在穗粒质量、穗质量和单码籽粒数变异潜力较大,育种的可选择范围较广;千粒质量(11.79%)、倒二叶宽(12.14%)和倒二叶长(12.65%)的变异系数较小,说明这些性状的稳定性较高。综合各性状的统计分析结果可以看出,94 份种质资源的遗传多样性较丰富,改良潜力较大,这将为选育株型较矮、高产、高生物量、密植等生产中需要的谷子新品种提供优异的种质基础。

表 2 谷子种质资源 13 个数量性状的遗传多样性分析

Tab.2 Analysis of genetic diversity of 13 quantitative traits of millet germplasm resources

性状 Trait	平均值 Average	最小值 Min.	最大值 Max.	标准差 SD	极差 Range	变异系数/% CV	遗传多样性指数 Genetic diversity index
SWP/g	23.46	8.33	48.67	8.32	40.33	35.65	2.05
YE/个	91.21	45.50	172.00	18.99	126.50	20.93	1.94
GNV/个	92.60	41.33	189.67	32.10	148.33	34.85	1.99
KWP/g	17.98	5.67	39.00	6.75	33.33	37.75	2.02
TSLl/cm	45.88	24.00	65.00	5.77	41.00	12.65	1.94
TSLW/cm	2.76	1.87	3.40	0.33	1.53	12.14	2.05
NLS/cm	27.13	14.00	47.00	7.67	33.00	28.42	2.00
LS/cm	113.28	61.67	147.33	17.21	85.67	15.27	2.05
DS/cm	0.74	0.53	0.93	0.09	0.40	12.73	2.06
MPL/cm	27.51	16.67	49.33	5.63	32.67	20.58	2.00
DMP/cm	2.17	1.53	3.17	0.32	1.63	14.65	2.04
NNMS/节	10.58	7.33	15.00	1.33	7.67	12.67	2.01
TGW/g	3.41	2.20	4.38	0.40	2.18	11.79	2.09

注:SWP.穗质量;YE.穗码数;GNV.单码籽粒数;KWP.穗粒质量;TSLl.倒二叶长;TSLW.倒二叶宽;NLS.穗颈长;LS.茎秆长;DS.茎秆粗;MPL.主穗长;DMP.主穗粗;NNMS.主穗节节数;TGW.千粒质量。下表同。

Note: SWP. Spike weight; YE. Spikelet number; GNV. Grains per spikelett; KWP. Grain weight per spike; TSLl. Top second leaf length; TSLW. Top second leaf width; NLS. Neck length of spike; LS. Length of stem; DS. Thickness of stem; MPL. Main spike length; DMP. Main stem thickness; NNMS. Node numbers of main stem; TGW. One thousand grain weight. The same as below.

2.2 谷子种质资源主要农艺性状的相关性分析

对 94 份谷子种质资源的 13 个农艺性状进行相关性分析,结果表明(表 3),穗质量与穗码数、单码籽粒数、穗粒质量、倒二叶长、倒二叶宽、茎秆长、茎秆粗、主穗长、主穗粗、主穗节节数呈极显著正相关($P<0.01$),与千粒质量呈显著正相关($P<0.05$);穗码数与穗质量、穗粒质量、倒二叶宽、茎秆长、茎秆粗、主穗长、主穗粗、主穗节节数和千粒质量呈极显著正相关($P<0.01$),与单码籽粒数呈显著正相关($P<0.05$);单码籽粒数与穗质量、穗粒质量、茎秆粗和主穗粗呈极显著正相关($P<0.01$),与穗码数、倒二叶宽呈显著正相关($P<0.05$);穗粒

质量与穗质量、穗码数、单码籽粒数、倒二叶宽、茎秆长、茎秆粗、主穗长、主穗粗、主穗节节数和千粒质量呈极显著正相关($P<0.01$),与倒二叶长呈显著正相关($P<0.05$);倒二叶长与穗质量、倒二叶宽、穗颈长、茎秆长、主穗长、主穗节节数和千粒质量呈极显著正相关($P<0.01$),与穗粒质量呈显著正相关($P<0.05$);倒二叶宽与穗质量、穗码数、单码籽粒数、穗粒质量、倒二叶长、茎秆粗、主穗长和主穗粗呈极显著正相关($P<0.01$),与茎秆长呈显著正相关($P<0.05$);穗颈长与倒二叶长、茎秆长、主穗长和千粒质量呈极显著正相关($P<0.01$),与主穗节节数呈显著正相关($P<0.05$),与主穗粗呈

极显著负相关($P<0.01$);茎秆长与穗质量、穗码数、穗粒质量、倒二叶长、倒二叶宽、穗颈长、主穗长、主穗节节数和千粒质量呈极显著正相关($P<0.01$);茎秆粗与穗质量、穗码数、单码籽粒数、穗粒质量、倒二叶宽、主穗长和主穗粗呈极显著正相关($P<0.01$);主穗长与穗质量、穗码数、穗粒质量、倒二叶长、倒二叶宽、穗颈长、茎秆长、茎秆粗、主穗节节数和千粒质量呈极显著正相关($P<0.01$);主穗粗与穗质量、穗码数、单码籽粒数、穗粒质量、

倒二叶宽、茎秆粗和主穗节节数呈极显著正相关($P<0.01$),与穗颈长呈极显著负相关($P<0.01$);主穗节节数与穗质量、穗码数、穗粒质量、倒二叶长、茎秆长、主穗长、主穗粗和千粒质量呈极显著正相关($P<0.01$),与穗颈长呈显著正相关($P<0.05$);千粒质量与穗质量、穗码数、倒二叶长、穗颈长、茎秆长、主穗长和主穗节节数呈极显著正相关($P<0.01$),与穗粒质量呈显著正相关($P<0.05$)。

表3 主要农艺性状的相关分析
Tab.3 Correlation analysis of main agronomic traits

性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient												
	SWP	YE	GNV	KWP	TSLl	TSLW	NLS	LS	DS	MPL	DMP	NNMS	TGW
SWP	1												
YE	0.593**	1											
GNV	0.740**	0.227*	1										
KWP	0.977**	0.572**	0.753**	1									
TSLl	0.283**	0.172	0.029	0.256*	1								
TSLW	0.406**	0.265**	0.220*	0.383**	0.446**	1							
NLS	-0.126	0.099	-0.188	-0.116	0.346**	0.117	1						
LS	0.270**	0.336**	0.027	0.292**	0.472**	0.227*	0.681**	1					
DS	0.551**	0.411**	0.402**	0.515**	0.194	0.389**	-0.056	0.173	1				
MPL	0.296**	0.306**	0.076	0.297**	0.710**	0.276**	0.520**	0.568**	0.269**	1			
DMP	0.668**	0.366**	0.490**	0.638**	0.031	0.363**	-0.317**	0.132	0.537**	-0.101	1		
NNMS	0.357**	0.338**	0.091	0.363**	0.283**	0.176	0.256*	0.749**	0.196	0.313**	0.319**	1	
TGW	0.239*	0.320**	0.048	0.260*	0.308**	0.17	0.309**	0.362**	-0.124	0.361**	-0.141	0.356**	1

注:*和**分别表示显著相关和极显著相关。

Note: * and ** indicated significant correlation and extremely significant correlation, respectively.

2.3 谷子种质资源主要农艺性状的聚类分析

对94份谷子种质资源的13个性状进行聚类分析,将94份种质资源分为6类(图1),各类群主要农艺性状平均值统计结果如表4所示。第Ⅰ类群包括7份材料,该类群的主要特征是穗质量、穗粒质量、穗码数、单码籽粒数、茎秆长、茎秆粗、主穗粗和主穗节节数,在六大类群中排名第1,分别为38.48、30.24 g,128.86、135.48个,128.43、0.82、2.6 cm,12.1节;倒二叶宽、主穗长在六大类群中排名第2,分别为2.84、30.86 cm;倒二叶长、千粒质量在六大类群中排名第3,分别为47.52 cm、3.42 g;穗颈长排名第4,为24.67 cm。综合分析得出,该类群总体表现良好。

第Ⅱ类群包括16份材料,该类群的主要特征是穗颈长排名第3,为25.9 cm;倒二叶长、倒二叶

宽、茎秆长、主穗长、千粒质量在六大类群中排名第4,分别为46.6、2.6、102.75、27.42 cm,3.41 g;单码籽粒数在六大类群中排名第5,为80.1个;穗质量、穗粒质量、穗码数、茎秆粗、主穗粗和主穗节节数在六大类群中排名第6,分别为16.09、11.94 g,76.44个,0.65、1.9 cm,9.75节。综合分析得出,该类群千粒质量适中,植株较矮,穗质量、穗粒质量较小,总体表现最差。

第Ⅲ类群包括20份材料,该类群的主要特征是穗颈长、主穗长在六大类群中排名第1,分别为37.42、32.63 cm;倒二叶长、千粒质量在六大类群中排名第2,分别为48.72 cm、3.62 g;穗码数、倒二叶宽、茎秆长、茎秆粗和主穗节节数在六大类群中排名第3,分别为95个,2.83、127.2、0.75 cm,10.92节;穗质量、穗粒质量在六大类群中排名第4,

分别为 19.08、14.32 g;主穗粗排名第 5,为 1.95 cm; 该类群主穗较长,千粒质量较大,株高中等,其他
单码籽粒数排名第 6,为 69.15 个。综合分析得出, 性状表现适中。

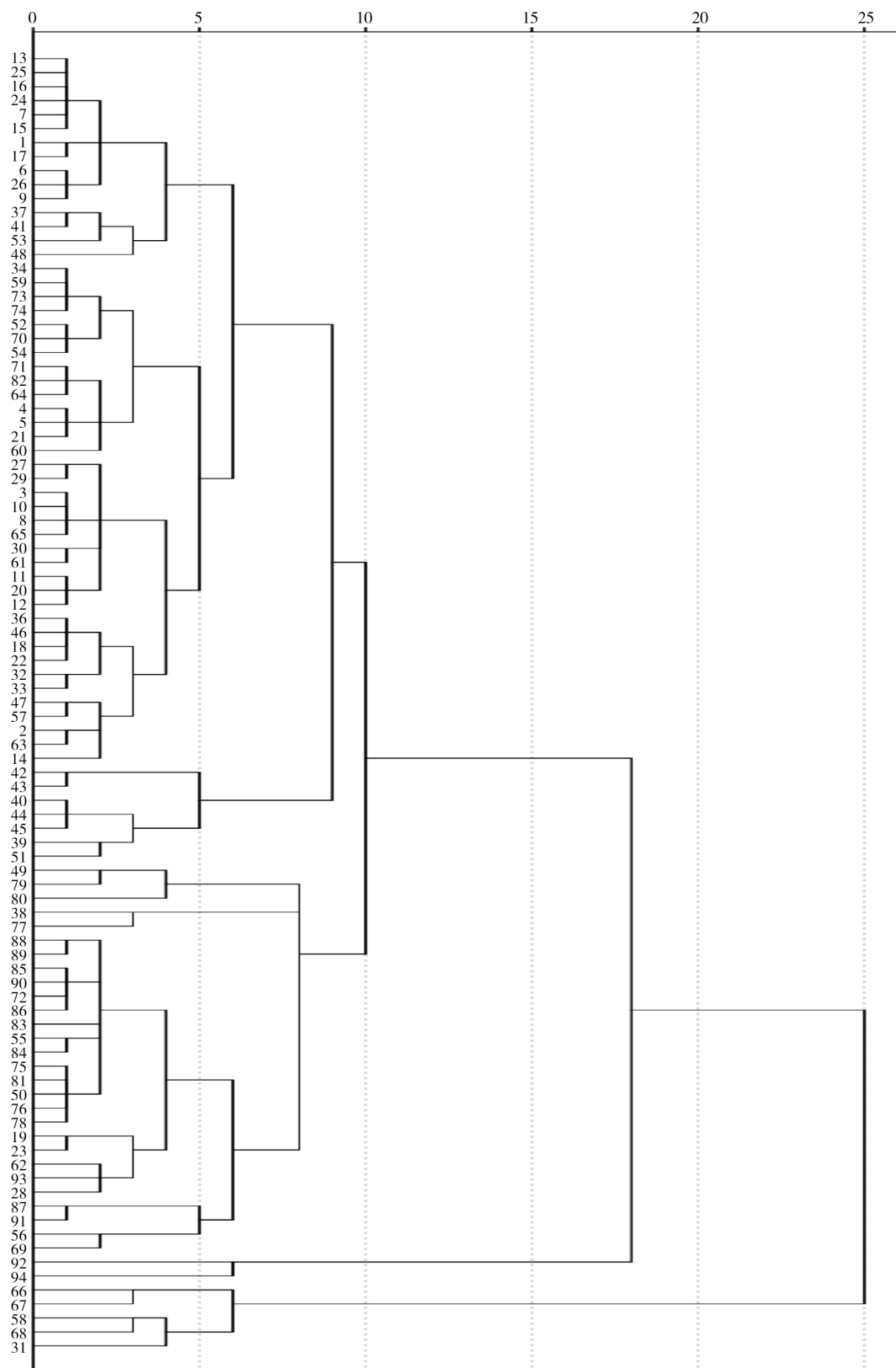


图 1 谷子种质资源主要性状的聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of main characters of millet germplasm resources

第Ⅳ类群包括20份材料,其主要特征是倒二叶宽在六大类群中排名第1,为2.92 cm;穗质量、穗码数、单码籽粒数、主穗粗在六大类群中排名第2,分别为29.07 g,92.53、113.43个,2.45 cm;穗粒质量、茎秆粗在六大类群中排名第3,分别为21.95 g、0.81 cm;倒二叶长、主穗长、主穗节节数、千粒质量在六大类群中排名第5,分别为44.35、24.63 cm,9.93节、3.12 g;穗颈长、茎秆长在六大类群中排名第6,分别为20.73、98.85 cm。综合分析得出,该类群叶片较宽,穗质量较大,穗粗,株高较矮,脖较短,千粒质量较小,穗粒质量适中。

第Ⅴ类群包括17份材料,其主要特征是倒二叶长、倒二叶宽和千粒质量在六大类群中排名第1,分别为50.33、2.92 cm,3.76 g;穗粒质量、穗颈长、茎秆长、主穗节节数在六大类群中排名第2,分别为22.19 g,28.06、127.5 cm,11.63节;穗质量、单码

籽粒数、主穗长和主穗粗在六大类群中排名第3,分别为27.92 g,97.94个,29.1、2.27 cm;穗码数、茎秆粗在六大类群中排名第4,分别为88.98个,0.73 cm。综合分析得出,该类群叶长、叶宽较大,千粒质量最大,植株较高,其他性状表现适中。

第Ⅵ类群包括14份材料,其主要特征是单码籽粒数、主穗粗和主穗节节数在六大类群中排名第4,分别为82.33个、2.08 cm、10节;穗质量、穗粒质量、穗码数、倒二叶宽、穗颈长、茎秆长在六大类群中排名第5,分别为17.04、13.18 g,83.97个,2.33、22.85、101.38 cm;倒二叶长、主穗长和千粒质量在六大类群中排名第6,分别为36.64、20.38 cm,3.06 g。综合分析得出,该类群穗粗适中,穗质量、穗粒质量较小,植株较矮,千粒质量最小,其他性状表现较差。

表4 不同类群间农艺性状聚类统计
Tab.4 Cluster statistics of agronomic traits among different groups

性状 Trait	种质类群 Germplasms groups					
	I	II	III	IV	V	VI
SWP/g	38.48	16.09	19.08	29.07	27.92	17.04
YE/个	128.86	76.44	95.00	92.53	88.98	83.97
GNY/个	135.48	80.10	69.15	113.43	97.94	82.33
KWP/g	30.24	11.94	14.32	21.95	22.19	13.18
TSSL/cm	47.52	46.60	48.72	44.35	50.33	36.64
TSLW/cm	2.84	2.60	2.83	2.92	2.92	2.33
NLS/cm	24.67	25.90	37.42	20.73	28.06	22.85
LS/cm	128.43	102.75	127.20	98.85	127.50	101.38
DS/cm	0.82	0.65	0.75	0.81	0.73	0.68
MPL/cm	30.86	27.42	32.63	24.63	29.10	20.38
DMP/cm	2.60	1.90	1.95	2.45	2.27	2.08
NNMS/节	12.10	9.75	10.92	9.93	11.63	10.00
TGW/g	3.42	3.41	3.62	3.12	3.76	3.06

2.4 谷子种质资源主要农艺性状的主成分分析及综合评价

2.4.1 谷子种质资源主要性状的主成分分析 对94份谷子种质资源的13个主要性状进行主成分分析,结果表明(表5),前4个主成分累计贡献率达76.165%,基本代表了94份材料的主要遗传信息。第1主成分特征值为4.862,贡献率为37.401%,从数值大小来看,该成分主要反映穗质量和穗粒质量,其向量值分别为0.881和0.872。第2主成分

特征值为2.878,贡献率为22.136%,特征向量有正有负,其中对穗颈长和茎秆长的贡献最大,特征向量值分别为0.801和0.621。第3主成分特征值为1.152,贡献率为8.859%,从数值大小来看,该成分主要反映倒二叶长和倒二叶宽,其向量值分别为0.477和0.497。第4主成分特征值为1.01,贡献率为7.768%,从数值大小来看,该成分主要反映主穗粗和主穗节节数,其向量值分别为0.356和0.382。

表 5 谷子种质资源主要农艺性状的主成分分析

Tab.5 The principal components of main agronomic traits of millet germplasm resources

性状 Trait	主成分 Principal component				性状 Trait	主成分 Principal component			
	P1	P2	P3	P4		P1	P2	P3	P4
SWP(X ₁)	0.881	-0.366	-0.067	-0.177	DS(X ₉)	0.621	-0.310	0.326	0.326
YE(X ₂)	0.668	-0.032	-0.229	-0.060	MPL(X ₁₀)	0.560	0.588	0.314	-0.148
GNV(X ₃)	0.580	-0.515	-0.026	-0.277	DMP(X ₁₁)	0.602	-0.572	-0.061	0.356
KWP(X ₄)	0.872	-0.351	-0.106	-0.202	NNMS(X ₁₂)	0.590	0.320	-0.475	0.382
TSLX(X ₅)	0.524	0.496	0.477	-0.110	TGW(X ₁₃)	0.379	0.458	-0.351	-0.563
TSLW(X ₆)	0.562	0.010	0.494	0.039	特征值 Eigenvalue	4.862	2.878	1.152	1.010
NLS(X ₇)	0.190	0.801	0.016	0.117	贡献率/%CR	37.401	22.136	8.859	7.768
LS(X ₈)	0.601	0.621	-0.231	0.334	累计贡献率/%CCR	37.401	59.538	68.397	76.165

2.4.2 谷子种质资源综合评价 利用入选的特征向量和特征值,计算 94 份谷子种质资源的主成分值,根据得分进行评价和排序。利用表 5 的各成分特征向量值得到如下关系式。

$$F_1=0.881X_1+0.668X_2+0.58X_3+0.872X_4+0.524X_5+0.562X_6+0.19X_7+0.601X_8+0.621X_9+0.56X_{10}+0.602X_{11}+0.59X_{12}+0.379X_{13} \quad (1)$$

$$F_2=-0.366X_1-0.032X_2-0.515X_3-0.351X_4+0.496X_5+0.01X_6+0.801X_7+0.621X_8-0.31X_9+0.588X_{10}-0.572X_{11}+0.32X_{12}+0.458X_{13} \quad (2)$$

$$F_3=-0.067X_1-0.299X_2-0.026X_3-0.106X_4+$$

$$0.477X_5+0.494X_6+0.016X_7-0.231X_8+0.326X_9+0.314X_{10}-0.061X_{11}-0.475X_{12}-0.351X_{13} \quad (3)$$

$$F_4=-0.177X_1-0.06X_2-0.277X_3-0.0202X_4-0.11X_5+0.039X_6+0.117X_7+0.334X_8+0.326X_9-0.148X_{10}+0.356X_{11}+0.382X_{12}-0.563X_{13} \quad (4)$$

把第 $F_1 \sim F_4$ 的方差贡献率当成权重,建立综合评价标准: $F=37.401F_1+59.538F_2+68.397F_3+76.165F_4$,由此得到 94 个谷子种质资源的综合得分(表 6),综合得分排名在前 10 名的谷子种质资源依次为 0412-1-2-1、山西白、良谷、大红袍、老虎尾、2055 父、媳妇笑、8311、饿死牛和小竹叶青。

表 6 谷子种质资源的综合得分

Tab.6 Comprehensive score of millet germplasm resources

品种 Variety	主成分因子得分 Principal component factor score				综合得分 Comprehensive score	排名 Ranking	品种 Variety	主成分因子得分 Principal component factor score				综合得分 Comprehensive score	排名 Ranking
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄				F ₁	F ₂	F ₃	F ₄		
1	-0.02	0.81	0.57	-0.01	7.40	24	17	-0.28	0.81	1.18	0.23	10.34	18
2	0.55	0.27	0.79	-0.80	4.85	38	18	-0.86	0.90	-0.16	0.19	-0.03	51
3	0.26	1.62	0.04	0.24	12.21	11	19	-0.50	0.31	-0.08	-0.70	-5.42	64
4	0.88	1.11	-1.44	0.77	7.94	21	20	0.03	1.40	0.33	-0.37	7.84	23
5	0.38	0.78	-0.36	0.20	5.81	32	21	0.25	0.06	-0.14	1.78	10.39	17
6	-0.02	1.33	0.46	0.74	13.69	7	22	-0.60	0.73	1.20	-0.17	5.92	31
7	-0.09	1.38	-0.05	0.48	9.53	20	23	-0.36	-0.03	-1.35	1.14	-3.50	59
8	0.41	1.48	-1.55	-0.09	2.16	47	24	-0.90	1.31	-0.68	0.04	-1.47	53
9	0.05	1.99	0.04	0.48	14.27	4	25	-0.73	1.34	0.30	0.20	5.72	33
10	-0.08	1.98	-0.11	-0.97	5.03	37	26	-0.18	1.14	0.36	1.15	13.22	9
11	0.26	1.69	0.31	-0.09	12.17	12	27	0.06	0.55	0.05	0.13	4.42	40
12	0.66	1.45	0.35	0.04	14.17	5	28	1.21	0.24	0.21	0.28	11.25	15
13	-0.50	0.94	-0.22	0.38	3.14	44	29	0.36	0.65	-0.38	-0.03	3.70	41
14	0.72	1.07	2.02	-0.18	20.06	3	30	0.60	0.46	-2.27	0.44	-3.51	60
15	-0.29	1.20	0.50	0.96	12.63	10	31	1.93	-0.95	-1.49	0.12	-0.95	52
16	-0.58	1.41	1.01	-0.55	6.85	28	32	-0.14	0.39	-0.74	-1.03	-7.94	72

续表6 谷子种质资源的综合得分

Tab.6(Continued) Comprehensive score of millet germplasm resources

品种 Variety	主成分因子得分 Principal component factor score				综合得分 Comprehen- sive score	排名 Rank- ing		品种 Variety	主成分因子得分 Principal component factor score				综合得分 Comprehen- sive score	排名 Rank- ing
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄					F ₁	F ₂	F ₃	F ₄		
33	-0.84	0.68	-0.39	-1.30	-10.11	76		64	0.53	0.03	0.01	-0.53	0.71	49
34	-0.25	-0.98	0.26	0.59	-2.62	57		65	1.35	0.94	-0.42	0.47	13.69	6
35	-2.77	-0.52	2.68	5.31	22.39	2		66	2.61	-1.35	-0.49	0.34	7.33	25
36	-0.54	0.37	1.19	-1.69	-3.73	63		67	2.14	-0.34	0.17	-0.88	7.28	26
37	-1.44	0.05	-1.70	1.16	-11.34	79		68	0.84	-1.60	1.90	0.70	9.77	19
38	-1.71	-1.06	-0.78	-0.92	-25.27	92		69	0.68	-0.97	-1.60	0.20	-8.76	74
39	-1.41	-0.33	-1.02	0.87	-11.21	78		70	-0.76	-0.69	-1.13	1.15	-8.44	73
40	-1.42	0.08	-0.26	-1.15	-15.51	86		71	0.70	0.44	-0.63	0.86	7.90	22
41	-1.55	0.29	0.25	-0.55	-9.29	75		72	0.88	-1.29	1.07	-0.06	3.42	43
42	-2.53	-0.32	-0.10	-1.55	-25.78	93		73	0.01	-1.13	0.55	0.34	-1.67	55
43	-1.91	-0.25	-0.46	-0.65	-18.83	91		74	0.00	-0.70	0.46	-0.41	-3.72	61
44	-1.44	-0.14	1.00	-0.64	-7.60	71		75	0.26	-1.00	0.89	1.18	6.78	29
45	-1.35	0.26	1.28	-0.36	-1.78	56		76	-0.25	-1.01	0.29	0.02	-5.53	66
46	-0.37	0.46	0.82	0.13	5.35	34		77	-0.23	-1.94	-0.02	0.03	-12.25	81
47	-0.37	0.31	1.51	-0.07	7.09	27		78	0.05	-0.79	-1.07	-0.75	-13.69	84
48	-1.33	-0.36	-0.64	-0.65	-16.85	88		79	-0.54	-0.25	-0.32	-2.03	-16.98	89
49	-1.36	-1.76	0.90	-0.40	-15.51	87		80	-1.94	-2.00	-0.75	-1.47	-34.65	94
50	-0.52	-0.30	-1.05	-0.68	-13.92	85		81	-0.09	-0.77	-0.40	0.24	-5.78	68
51	-0.75	-0.01	-1.71	0.58	-10.62	77		82	0.04	-0.18	-1.28	0.40	-5.45	65
52	-0.18	-0.90	-1.43	1.24	-7.16	69		83	-0.44	-1.89	-0.38	-0.48	-17.87	90
53	-0.94	0.36	-0.75	-1.11	-13.45	83		84	1.03	-0.88	-0.09	-1.60	-7.58	70
54	-0.61	-0.57	-2.01	0.98	-12.32	82		85	0.27	-0.77	-0.03	-1.66	-11.56	80
55	0.96	-0.12	-0.58	-0.67	-1.48	54		86	0.66	-1.37	0.99	0.59	4.64	39
56	1.41	0.01	-0.76	-0.36	2.72	45		87	1.12	-2.05	0.87	0.27	1.22	48
57	-0.27	0.19	0.14	-0.75	-3.73	62		88	0.34	-1.14	1.46	-0.19	2.34	46
58	0.96	0.03	0.95	-0.94	6.08	30		89	0.28	-0.74	1.82	-0.35	5.33	35
59	0.74	-1.15	0.41	2.06	10.98	16		90	0.24	-1.53	1.10	-0.34	-3.18	58
60	1.49	-0.91	-0.18	1.75	12.12	13		91	0.59	-1.31	-0.05	-0.32	-5.76	67
61	0.80	1.20	-1.28	1.61	13.30	8		92	1.67	0.06	-0.86	-0.11	5.32	36
62	1.19	0.11	-1.13	0.34	3.56	42		93	1.09	-0.05	0.32	-1.48	0.21	50
63	1.11	0.22	1.23	-0.59	11.35	14		94	1.63	1.54	2.53	-0.71	28.18	1

3 结论与讨论

表型性状分析是作物遗传多样性分析中常用的方法,表型性状容易受生态条件的影响,是基因和环境互作的结果。造成谷子品种农艺性状的差异性主要有2方面因素,一方面是其本身的遗传基因,另一方面是谷子种植地区的气候和环境条件^[15-17],因此,应结合现代分子生物学技术对种质资源的遗传多样性进行系统分析评价。本研究通

过对94份谷子种质资源的13个农艺性状的遗传多样性进行分析,结果发现,遗传多样性指数均在1.90以上,其中千粒质量最高,其次依次是茎秆粗和茎秆长,穗码数和倒二叶长较小。13个性状的变异系数在11.79%~37.75%,变异系数较大的性状分别是穗粒质量、穗质量和单码籽粒数;千粒质量、倒二叶宽和倒二叶长的变异系数较小,这与董晓杰等^[18]、解云等^[19]的研究结果一致。

在13个表型性状的相关性分析中,数量性状

间的相关系数较高,且大部分性状间差异显著或极显著。赵芳等^[20]对 224 个谷子品种进行相关性分析,发现穗质量、单株草质量与穗粒质量呈极显著正相关;穗质量与穗粒质量、有效穗数和单株草质量呈极显著正相关。白玉婷等^[21]对 31 份引进的夏谷品系进行相关性分析,发现单穗质量、穗粒质量、单码籽粒数、穗颈形态、穗形、穗长、茎秆长度、倒二叶长及亩产量与千粒质量呈极显著正相关。本研究中,穗质量与主穗节节数、单码籽粒数、主穗长、主穗粗、茎秆长、穗粒质量、倒二叶宽、穗码数、倒二叶长、茎秆粗呈极显著正相关,与千粒质量呈显著正相关;穗粒质量与主穗节节数、穗质量、倒二叶宽、穗码数、单码籽粒数、主穗长、茎秆长、茎秆粗、主穗粗和千粒质量呈极显著正相关,与倒二叶长呈显著正相关;千粒质量与主穗节节数、穗质量、茎秆长、倒二叶长、穗颈长、主穗长和穗码数呈极显著正相关,与穗粒质量呈显著正相关。与前人的研究结果基本一致,在谷子各个农艺性状中,穗粒质量、穗质量、千粒质量三者之间存在相互影响,在后期育种中应注重调节三者的关系。

本研究通过对 94 份谷子种质资源的 13 个农艺性状进行聚类,将其分为六大类型。赵芳等^[22]运用 Ward 法将 341 份杂交谷子重组自交系分为六大类群。王春芳等^[23]采用 UPGMA 法将 262 份国内外谷子种质资源分为六大类。任芹勇等^[24]将 65 个不同生态区谷子品种聚类为五大类群。在主成分分析法中,各主成分间互不相关,都是较独立的指标体系。肖继兵等^[25]对 30 份谷子种质全生育期的 11 项耐旱评价指标利用主成分分析进行耐旱性鉴定,划分为 3 个相互独立的综合指标,方差累计贡献率为 81.27%。曹禹等^[26]将 25 份谷子品种的 12 个主要农艺性状的单项指标综合为 4 个主成分,累计贡献率为 81.78%。相吉山等^[27]将 495 份国内不同产区的谷子种质资源的 16 个性状归纳为 8 个主成分,累计贡献率为 85.85%。本研究将 13 个农艺性状分析集中为 4 个主成分,累计贡献率为 76.165%,载荷最高的为穗质量和穗粒质量的综合反映;另外,穗颈长、茎秆长、倒二叶长、倒二叶宽、主穗节节数和主穗粗也存在一定的影响。根据这些特征对谷子种质资源进行有效评价利用。

综上所述,本研究中 94 份谷子种质资源遗传多样性丰富,其中,0412-1-2-1、山西白、良谷、大

红袍、老虎尾、2055 父、媳妇笑(蔚县)、8311、饿死牛和小竹叶青综合得分较高,可作为谷子品种在生产上大面积种植,也可作为选育改良的优良亲本。

参考文献:

- [1] 刁现民,程汝宏. 十五年区试数据分析展示谷子糜子育种现状[J]. 中国农业科学, 2017, 50(23): 4469-4474.
DIAO X M, CHENG R H. Current breeding situation of foxtail millet and common millet in China as revealed by exploitation of 15 years regional adaptation test data[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(23): 4469-4474.
- [2] 代书桃,朱灿灿,马小倩,等. 谷子 HAK/KUP/KT 钾转运蛋白家族全基因组鉴定及其对低钾和高盐胁迫的响应[J]. 作物学报, 2023, 49(8): 2105-2121.
DAI S T, ZHU C C, MA X Q, et al. Genome-wide identification of the HAK/KUP/KT potassium transporter family in foxtail millet and its response to K⁺ deficiency and high salt stress[J]. Acta Agronomica Sinica, 2023, 49(8): 2105-2121.
- [3] LI Y, WU S Z. Traditional maintenance and multiplication of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) P.Beauv.) landraces in China[J]. Euphytica, 1996, 87(1): 33-38.
- [4] YANG X Y, WAN Z W, PERRY L, et al. Early millet use in Northern China[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(10): 3726-3730.
- [5] LU H, ZHANG J, LIU K B, et al. Earliest domestication to 10000 years ago[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2000, 106: 7367-7372.
- [6] 李顺国,刘斐,刘猛,等. 中国谷子产业和种业发展现状与未来展望[J]. 中国农业科学, 2021, 54(3): 459-470.
LI S G, LIU F, LIU M, et al. Current status and future prospective of foxtail millet production and seed industry in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(3): 459-470.
- [7] 贾冠清,刁现民. 中国谷子种业创新现状与未来展望[J]. 中国农业科学, 2022, 55(4): 653-665.
JIA G Q, DIAO X M. Current status and perspectives of innovation studies related to foxtail millet seed industry in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(4): 653-665.
- [8] 吕建珍,王宏勇,任莹,等. 不同生态区谷子品种表型鉴定及 SSR 遗传多样性分析[J]. 核农学报, 2023, 37(3): 471-482.
LV J Z, WANG H Y, REN Y, et al. Phenotypic evaluation and SSR genetic diversity analysis of foxtail millet cultivars in different ecological regions[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2023, 37(3): 471-482.
- [9] 史关燕,王娟菲,麻慧芳,等. 谷子杂交种产量与主要农艺性状的相关性及回归性分析[J]. 作物杂志, 2022(6): 82-87.
SHI G Y, WANG J F, MA H F, et al. Correlation and regression analysis between yield and main agronomic traits in foxtail millet hybrids[J]. Crops, 2022(6): 82-87.
- [10] 陈慢慢,田翔,陈凌,等. 谷子重组自交系主要农艺性状和品质性状相关分析[J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(1): 172-180.

- CHEN M M, TIAN X, CHEN L, et al. Correlation analysis of key agronomic traits and food quality using a foxtail millet recombinant inbred lines[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2023, 24(1):172-180.
- [11] 韩燕丽,樊永强,王彦辉,等. 15个谷子品种农艺性状与产量的综合评价[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(11):10-14.
HAN Y L, FAN Y Q, WANG Y H, et al. Comprehensive evaluation of agronomic trait and yield of 15 millet cultivars[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2022, 61(11):10-14.
- [12] 刘思辰,曹晓宁,温琪汾,等. 山西谷子地方品种农艺性状和品质性状的综合评价[J]. 中国农业科学, 2020, 53(11):2137-2148.
LIU S C, CAO X N, WEN Q F, et al. Comprehensive evaluation of agronomic traits and quality traits of foxtail millet Landrace in Shanxi[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(11):2137-2148.
- [13] 杨慧卿,王根全,郝晓芬,等. 山西省谷子地方种质资源表型多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(13):20-25.
YANG H Q, WANG G Q, HAO X F, et al. Analysis on phenotypic diversity of foxtail millet local germplasm resources in Shanxi Province[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50(13):20-25.
- [14] 刁现民. 谷子种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2012:1-16.
DIAO X M. Millet germplasm resources description specification and data standard[M]. Beijing: China agricultural science and technology, 2012:1-16.
- [15] 秦岭,管延安,杨延兵,等. 不同生态区谷子创新种质主要农艺性状与产量相关性分析[J]. 山东农业科学, 2008, 40(9):10-13.
QIN L, GUAN Y A, YANG Y B, et al. Correlation and path analysis between yield and main agronomic characters of foxtail millet germplasms from different ecological regions[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2008, 40(9):10-13.
- [16] 王军,郭二虎,袁峰,等. 基于AMMI模型分析谷子基因型与环境互作效应[J]. 河北农业科学, 2010, 14(11):107-111.
WANG J, GUO E H, YUAN F, et al. Analysis on genotype-environment interaction effect of millet based on AMMI model[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2010, 14(11):107-111.
- [17] 张艾英,刁现民,郭二虎,等. 西北春谷早熟区谷子品种十五年变化趋势及主要性状分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(23):4496-4511.
ZHANG A Y, DIAO X M, GUO E H, et al. Research progress and major traits of foxtail millet cultivars developed in the early-mature spring-sowing region in the past 15 years[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(23):4496-4511.
- [18] 董晓杰,李志江,马金丰,等. 东北春谷区谷子产量与主要农艺性状的灰色关联分析[J]. 黑龙江农业科学, 2022(7):25-31.
DONG X J, LI Z J, MA J F, et al. Grey correlation analysis of millet yield and main agronomic characters in spring-sowing region of Northeast China[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2022(7):25-31.
- [19] 解云,李强,郭世华. 30份谷子品种农艺性状的遗传多样性及相关性[J]. 分子植物育种, 2020, 18(9):3079-3085.
XIE Y, LI Q, GUO S H. Genetic diversity and correlation of agronomic traits in 30 foxtail millet cultivars[J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(9):3079-3085.
- [20] 赵芳,魏玮,张晓磊,等. 224个谷子品种农艺性状聚类和相关性分析[J]. 种子, 2022, 41(1):74-83.
ZHAO F, WEI W, ZHANG X L, et al. Clustering and correlation analysis of agronomic traits of 224 millet varieties[J]. Seed, 2022, 41(1):74-83.
- [21] 白玉婷,李强,高志军,等. 春播夏谷子品系农艺性状的相关性和聚类分析[J]. 分子植物育种, 2020, 18(7):2338-2351.
BAI Y T, LI Q, GAO Z J, et al. Correlation and cluster analysis of agronomic characters in summer foxtail millet lines cultivated in spring[J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(7):2338-2351.
- [22] 赵芳,张晓磊,魏玮,等. 杂交谷子重组自交系群体农艺性状分析[J]. 种子, 2021, 40(8):30-38.
ZHAO F, ZHANG X L, WEI W, et al. Analysis of agronomic traits of recombinant inbred lines of hybrid millet[J]. Seed, 2021, 40(8):30-38.
- [23] 王春芳. 利用微卫星标记分析中国谷子地方品种的群体结构与遗传多样性[D]. 石家庄:河北师范大学, 2011:54-62.
WANG C F. Population structure and genetic diversity of foxtail millet landraces in China assessed by microsatellites[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2011:54-62.
- [24] 任芳勇,樊巧利,李涛,等. 65份谷子品种农艺性状聚类和相关性[J]. 分子植物育种, 2017, 15(12):5178-5188.
REN Q Y, FAN Q L, LI T, et al. Clustering and correlation of agronomic traits in 65 foxtail millets[J]. Molecular Plant Breeding, 2017, 15(12):5178-5188.
- [25] 肖继兵,刘志,辛宗绪,等. 基于主成分分析和隶属函数的谷子全生育期耐旱性鉴定[J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(6):34-44.
XIAO J B, LIU Z, XIN Z X, et al. Identification of drought tolerance in foxtail millet during its entire growth period based on principal component analysis and membership function[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2022, 40(6):34-44.
- [26] 曹禹,阿勒合斯·加尔得木拉提,玛力帕提·努尔太,等. 基于主成分分析的谷子种质资源主要农艺性状综合评价[J]. 黑龙江农业科学, 2023(3):1-7.
CAO Y, ALEHESI J, MALPATI N, et al. Comprehensive evaluation of major agronomic traits of foxtail millet germplasm resources based on principal component analysis[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2023(3):1-7.
- [27] 相吉山,张恒儒,于佳东,等. 495个不同产区谷子品种(系)在赤峰地区的农艺性状分析[J]. 河南农业科学, 2020, 49(8):16-30.
XIANG J S, ZHANG H R, YU J D, et al. Agronomic traits of 495 foxtail millet (*Setaria italica* (L.) P. beauv.) varieties (lines) from different regions planted in Chifeng area[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2020, 49(8):16-30.