

不同基因型冬小麦种质资源的遗传多样性研究

郭鹏燕, 任杰成, 赵吉平, 权宝全, 许 瑛, 岳茂林

(山西农业大学经济作物研究所, 山西 汾阳 032200)

摘 要:为了解决小麦品种遗传背景狭窄,加快品种更新和突破性品种的选育,以30份国内外冬小麦种质资源为材料,通过不同基因型小麦种质资源在山西种植的表现,采用变异分析、相关性分析、主成分分析以及聚类分析的方法,分析30份种质资源的遗传多样性。结果表明,变异系数以小区产量最高,为36.90%,其次为穗粒重,最低的是每穗小穗数,为11.15%,说明了30份国内外品种产量性状的遗传丰富,每穗小穗数则相对稳定;相关分析显示,千粒重、穗粒重与产量呈极显著正相关,相关系数为0.629、0.544,为产量构成的主要因子;对参试材料的15个表型性状进行了主成分分析,前6个主成分因子累计贡献率达77.12%,分别是产量因子、株型因子、分蘖成穗因子、籽粒因子、熟性因子、穗部因子。结合聚类分析将参试材料分为四大类群,其中类群Ⅰ各性状表现较差,产量最低,类群Ⅱ综合性状均居中,属于中秆、中产冬小麦优异材料,类群Ⅲ为高产、多分蘖多粒高千粒重的高产特异亲本材料,类群Ⅳ为高秆、多粒小麦材料。整体来看国外材料产量表现一般,在作为亲本利用时要综合各性状选择育种。

关键词: 基因; 小麦; 种质资源; 多样性

DOI: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2021.08.025

中图分类号: S 512.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-4705(2021)08-0025-06

Study on Genetic Diversity of Winter Wheat Germplasm Resources with Different Genotypes

GUO Pengyan, REN Jiecheng, ZHAO Jiping, QUAN Baoquan, XU Ying, YUE Maolin

(Institute of Industrial Crops, Shanxi Agricultural University, Fenyang Shanxi 032200, China)

Abstract: To solve the narrow genetic background of wheat varieties, speed up variety renewal and breakthrough variety breeding, 30 winter wheat germplasm resources at home and abroad were used as materials to analyze the genetic diversity of 30 germplasms by observing the performance of wheat germplasms of different genotypes planted in Shanxi province based on the methods of variation analysis, correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis. The results showed that the yield in the plot appeared the highest coefficient of variation with 36.90%, followed by the grain weight per spike and the number of spikelets per spike was the lowest, with 11.15%, indicating that the 30 varieties at home and abroad were rich in genetic yield traits, while the number of spikelets per spike was relatively stable. Correlation analysis showed that 1 000-grain weight and grain weight per spike were significantly positively correlated with yield, with correlation coefficients of 0.629 and 0.544, which were the main factors of yield. Principal component analysis was conducted on 15 phenotypic traits of the tested materials. The cumulative contribution rate of the first six principal component factors reached at 77.12%, which were production factor, plant type factor, tiller panicle factor, grain factor, ripeness factor and panicle factor. Combined with cluster analysis, the tested materials were divided into four groups. Among them, group I had the lowest yield with poor performance in all traits, and group II had the middle comprehensive traits, belonging to middle stem and middle winter wheat with excellent material. In addition, the Group III was a high yield, multiple tillers, multiple

收稿日期: 2021-03-16

基金项目: 吕梁市农业攻关项目(2020 NYGG 79); 山西农业大学生物育种工程项目(YZGC 043)。

作者简介: 郭鹏燕(1982—), 女(汉族), 山西省文水县人; 硕士, 副研究员, 主要从事小麦的遗传育种与栽培工作(E-mail: guo.pengyan@163.com)。

grains and high 1 000-grain weight specific parent material, while group IV was a tall stem, multiple grains wheat material. On the whole, the yield of foreign materials was not good, so it was necessary to select and breed them comprehensively when they were used as parents.

Key words: gene; wheat; germplasm resources; diversity

小麦是禾本科(Gramineae)小麦属(*Triticum* L.)中的越年生或一年生草本植物,也是全球种植最广泛的作物,小麦的持续发展为保障国内粮食安全做出了重要贡献^[1]。山西省地形复杂,南北狭长,气候类型繁多,在这样一个复杂多样的生态区域,对品种要求愈发严格。近几年来,育种工作者培育出大量的品种,但同时也存在一定的问题,优良亲本过分集中使用,使得新品种遗传基础狭窄,品种更新快但突破性品种匮乏。小麦种质资源是小麦品种遗传改良和选育的基础,因此对小麦遗传多样性研究显得尤为重要^[2]。国内外学者基于表型性状对棉花^[3]、高粱^[4]、芝麻^[5]、大豆^[6]、马铃薯^[7]、绿豆^[8]、苦荞^[9]、蓖麻^[10]等作物种质资源进行了大量的遗传多样性研究,对小麦种质资源的遗传多样性研究也不少,但国内外结合研究的鲜有报道。本研究筛选了国内外 30 份冬小麦种质资源通过变异分析、相关性分析、主成分分析并结合聚类分析进行遗传多样性研究,旨在从理论上揭示品种形态多样性及内在规律,拓宽小麦品种遗传背景,创造性地为小麦育种提供优异的亲本材料及后代材料,从而为推动多生态育种及提升产量水平起到积极作用。

1 材料与方法

1.1 材料

种质材料为 30 份来源于不同地区的品种(系):中国 24 份,国外 6 份(见表 1)。

1.2 种植情况

试验材料种植于山西农业大学经济作物研究所小麦试验田(111°25'5"N, 37°27'7"E, 海拔 758 m),底施复混肥 750 kg·hm⁻²(N:P:K=26:15:7)。南北行点播种植,行长 2 m,宽 2.6 m,每行均匀点播 50 粒,每份材料种植 10 行,整个生育期按照大田统一常规管理。

1.3 记载方法

30 份材料的农艺性状按照国家农作物种质资源平台国家作物科学数据中心关于小麦种质资源描述规范统一观察记载。观察的性状包括株型、穗形、芒形、熟性、落粒性、抗倒伏性共 6 个质量性状,株高、分蘖数、有效分蘖数、穗长、每穗小穗数、穗粒数、千粒重、穗粒重、小区产量共 9 个数量性状。在苗期,定点调查基本苗,拔节前期在定点位调查最高茎数,成株期在定点位调查成穗数;蜡熟期每区随机选 20 株室内考种,记

载穗长、每穗小穗数、穗粒数、千粒重,每小区单独收获测产,并最后分别叠加 20 株用作考种的产量,共计作小区产量。

表 1 30 份国内外小麦种质资源名称及编号

Table 1 Names and numbers of 30 wheat germplasm resources at home and abroad

编号	材料名称	编号	材料名称
1	忻 89-2060(白)	16	加拿大 W 3
2	临 924142	17	F 4981172-4
3	小偃 22-2	18	烟台 031
4	小偃 22	19	临汾 139(有芒)
5	99 LY 310	20	中苏 68
6	99 LY 292	21	石 6255
7	临远 98-6465	22	泗阳 1108
8	冀 5099	23	山农 2008
9	冀 5219	24	山农 6231-1-10
10	临 98-6286	25	99 LY 307
11	99 榆鉴 23-1	26	长 14 NS 2625
12	CA 9640	27	马引 2 号
13	F 59131334	28	马引 1 号
14	苏引 10 号	29	马引 3 号
15	乌克兰小麦	30	晋麦 18 号

1.4 数据处理与统计分析

1.4.1 分蘖数、有效分蘖数计算

$$\text{分蘖数} = \frac{\text{最高茎数}}{\text{基本苗}}$$

$$\text{有效分蘖数} = \frac{\text{成穗数}}{\text{基本苗}}$$

1.4.2 数据统计分析

采用 Microsoft Excel 2003 软件初步整理数据, SPSS 18.0 软件进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 30 份材料数量性状的变异分析

从表 2 可以看出,9 个数量性状中变异系数最小的是每穗小穗数,在 30 份材料中变异范围为 13~22 个,变异系数最大的是小区产量,30 份材料中变异范围为 0.9~3.4 kg。变异系数从小到大的顺序依次是每穗小穗数(11.15%)<千粒重(13.31%)<株高(13.68%)<穗长(15.52%)<分蘖数(19.85%)<穗粒数(21.09%)<有效分蘖数(22.56%)<穗粒重(32.56%)<小区产量(36.90%)。由此可以看出,每



穗小穗数、千粒重、株高变异较小,说明 30 份国内外材料在这 3 个性状表现相对稳定;穗长、分蘖数、穗粒数变异适中;有效分蘖数、穗粒重、产量变异系数相对较大,说明这 30 份国内外材料产量变异潜力大,为高产育种选配亲本提供了丰富的遗传背景材料。

2.2 农艺性状的相关性分析

由表 3 可以看出,穗粒数、千粒重、穗粒重与产量呈显著相关,其中千粒重、穗粒重与产量呈极显著正相关,相关系数为 0.629、0.544,说明千粒重、穗粒重对小麦产量的贡献较大,是产量构成的主要因素;分蘖数与有效分蘖数呈极显著正相关,这说明了分蘖力越强的材料成穗数越高;穗粒数、千粒重与穗粒重呈极显著正相关,相关系数为 0.776、0.466,说明穗粒重的提升穗粒数、千粒重这两个性状起着关键作用,抗倒伏性与千

粒重呈显著负相关,说明了植株是否倒伏对千粒重影响显著;株型与落粒性呈极显著负相关,因此在育种中应综合农艺性状有效选择。

2.3 农艺性状的主成分分析

主成分分析法就是在尽可能不损失信息或少损失信息的情况下,对多个变量进行处理,减少为少数几个因子,这几个因子可以高度概括大量数据中的信息,这样既减少了变量的个数,又能再现变量间的内在联系^[11]。对各材料的所有指标标准化后进行主成分分析(表 4),从表 4 可以看出,6 个主成分的贡献率分别为 20.94%、14.41%、13.84%、11.37%、9.39%、7.17%,累计贡献率为 77.12%,其他贡献率较小,可以忽略不计,共有 6 个主成分代表了 15 个性状 77.12% 的信息。

表 2 9 个数量性状的变异系数
Table 2 Variation coefficient of 9 quantitative traits

性状	株高/ cm	分蘖数/ 个	有效分蘖数/ 个	穗长/ cm	每穗小穗数/ 个	穗粒数/ 粒	千粒重/ g	穗粒重/ g	小区产量/ kg
最小值	68.00	7.80	3.90	5.10	13.00	8.00	27.72	0.20	0.90
最大值	109.00	15.60	9.80	10.70	22.00	30.00	45.70	1.60	3.40
平均值	83.50	10.53	6.34	7.54	16.77	24.37	35.15	0.86	1.87
极差	41.00	7.80	5.90	5.60	9.00	22.00	17.98	1.40	2.50
标准差 SD	11.42	2.09	1.43	1.17	1.87	5.14	4.68	0.28	0.69
变异系数 CV/%	13.68	19.85	22.56	15.52	11.15	21.09	13.31	32.56	36.90

表 3 各农艺性状间的相关系数
Table 3 Correlation coefficient between agronomic traits

性状	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6	X 7	X 8	X 9	X 10	X 11	X 12	X 13	X 14	Y
X 1	1.000														
X 2	0.139	1.000													
X 3	-0.016	-0.315	1.000												
X 4	0.081	0.277	-0.182	1.000											
X 5	-0.856**	-0.038	-0.302	-0.022	1.000										
X 6	0.138	-0.193	-0.052	0.000	-0.226	1.000									
X 7	-0.079	-0.207	0.133	-0.168	0.028	0.297	1.000								
X 8	0.116	0.057	-0.224	0.073	-0.127	0.023	0.090	1.000							
X 9	-0.115	-0.130	0.079	-0.150	-0.057	0.088	0.318	0.532**	1.000						
X 10	0.284	0.052	-0.268	0.221	-0.286	0.175	0.216	0.096	-0.080	1.000					
X 11	-0.060	-0.027	-0.003	0.168	0.029	-0.044	-0.145	-0.102	-0.335	0.341	1.000				
X 12	-0.118	-0.163	-0.109	-0.166	0.032	0.264	0.049	-0.305	-0.003	0.172	0.357	1.000			
X 13	-0.328	0.178	0.004	-0.305	0.341	-0.426*	0.066	-0.152	0.113	-0.157	0.078	0.066	1.000		
X 14	-0.148	0.082	-0.156	-0.196	0.142	-0.002	0.085	-0.208	0.075	0.033	0.169	0.776**	0.466**	1.000	
Y	-0.256	0.065	-0.077	-0.325	0.289	-0.129	0.349	-0.032	0.267	0.111	0.156	0.377*	0.629**	0.544**	1.000

注:“*”表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关,“**”表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。
X 1 为株型(1 表示紧凑,2 中等,3 松散),X 2 为穗形(1 纺锤,2 长方),X 3 为芒形(1 无,2 短,3 长),X 4 为熟性(1 早,2 中,3 晚),
X 5 为落粒性(1 口松,2 中等,3 口紧),X 6 为抗倒伏性(1 强,2 中,3 弱),X 7 为株高,X 8 为分蘖数,X 9 为有效分蘖数,X 10 为穗长,
X 11 为每穗小穗数,X 12 为穗粒数,X 13 为千粒重,X 14 为穗粒重,Y 为小区产量。

表 4 6 个主成分的特征值及贡献率
Table 4 Eigenvalues and contribution rates of six principal components

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献/%
I	3.14	20.94	20.94
II	2.16	14.41	35.35
III	2.08	13.84	49.19
IV	1.71	11.37	60.56
V	1.41	9.39	69.95
VI	1.08	7.17	77.12

6 个主成分与 30 份冬小麦材料的 15 个农艺性状的因子负荷量分析,可以反映各因子与 6 个主成分之间的相关性。

表 5 15 个因子载荷矩阵
Table 5 Load matrix of 15 factors

性状	主成分					
	I	II	III	IV	V	VI
株型	-0.085	0.928	-0.036	-0.109	0.104	0.056
穗形	-0.012	0.211	-0.105	0.382	0.686	-0.030
芒形	-0.154	0.185	-0.081	0.150	-0.829	-0.095
熟性	-0.400	-0.033	-0.167	-0.167	0.448	0.386
落粒性	0.070	-0.954	-0.036	0.148	0.142	-0.061
抗倒伏性	0.209	0.109	0.182	-0.802	-0.057	0.030
株高	0.155	-0.086	0.645	-0.127	-0.345	0.192
分蘖数	-0.328	0.103	0.689	-0.023	0.321	-0.004
有效分蘖数	0.065	-0.003	0.811	0.015	-0.042	-0.271
穗长	0.078	0.276	0.207	-0.146	0.174	0.775
每穗小穗数	0.162	-0.080	-0.292	0.104	-0.064	0.776
穗粒数	0.868	-0.053	-0.133	-0.262	-0.030	0.192
千粒重	0.398	-0.229	0.102	0.775	-0.037	-0.055
穗粒重	0.905	-0.057	-0.013	0.139	0.127	0.012
小区产量	0.616	-0.199	0.389	0.462	-0.052	0.179

第 I 主成分的特征值为 3.14,贡献率为 20.94%,对应特征向量值中较大的为穗粒重、穗粒数、小区产量、千粒重,相关性依次为 0.905、0.868、0.616、0.398,这一成分的向量值以产量及产量构成主要因子为主,重点反映了植株的产量指标。

第 II 主成分的特征值为 2.16,贡献率为 14.41%,对应特征向量中较大的为株型、穗长、穗形、芒形,相关性依次为 0.928、0.276、0.211、0.185,成分向量值以植株穗部特征因子为主,主要反映了植株外观指标。

第 III 主成分的特征值为 2.08,贡献率为 13.84%,对应特征向量中较大的为有效分蘖数、分蘖数、株高,相关性依次为 0.811、0.689、0.645,成分向量值主要反映了植株分蘖成穗特性。

第 IV 主成分的特征值为 1.71,贡献率为 13.84%,对应特征向量中较大的为千粒重、小区产量、穗形,相

关性依次为 0.775、0.462、0.382,成分向量值主要反映了植株籽粒指标。

第 V 主成分的特征值为 1.41,贡献率为 9.39%,对应特征向量中较大的为穗形、熟性、分蘖数,相关性依次为 0.811、0.689、0.645,成分向量值主要反映了整体熟性指标。

第 VI 主成分的特征值为 1.08,贡献率为 7.17%,对应特征向量中较大的为每穗小穗数、穗长、熟性,相关性依次为 0.776、0.775、0.386,成分向量值主要反映了植株的穗部特征。

由于前 6 个指标代表了 9 个性状的 77.12%的信息,因此,穗粒重、株型、有效分蘖数、千粒重、穗形、每穗小穗数可以成为综合评价冬小麦品种的代表性指标。

2.4 基于国内外冬小麦种质资源农艺性状的聚类分析

聚类分析法是研究作物亲缘关系的多变量分析工具,在主成分分析研究的基础上,采用欧氏平方距离法对 30 份小麦种质资源的 15 个农艺性状进行了聚类分析。由图 1 可见,当遗传距离等于 5 时,将 30 份材料分成四大类群。

从图 1 和表 6 可以看出,第一类群主要由 15 个品种组成,4 份来自国外,11 份来自国内,此类群株高 80 cm 左右,穗粒重居中,千粒重最低,每穗小穗数较低,产量最低。第二类群的 1 份来自国外,6 份为国内,主要表现为株高居中,穗长 7.5 cm 左右,千粒重居中,穗粒重高,产量表现不突出。第三类群包含小偃 22、临 98-6286 两个国内品种,主要表现为有效分蘖数多,穗粒数多,千粒重均达到 45 g,穗粒重高,产量在 30 个资源中表现最高,可作为改良粒大小和产量的优异亲本。第四类群由 1 份国外品种和 5 份国内品种组成,主要表现为植株高,穗粒数较多,千粒重居中,整体产量表现较高。

表 6 冬小麦种质资源在四大类群中的分布
Table 6 Distribution of winter wheat germplasm resources in four groups

类群	份数	种质资源名称
I	15	山农 2008、晋麦 18 号、烟台 031、冀 5219、马引 1 号、马引 3 号、F 59131334、乌克兰小麦、99 LY 310、泗阳 1108、长 14 NS 2625、忻 89-2060 (白)、99 LY 307、临 924142、马引 2 号
II	7	冀 5099、中苏 68、小偃 22-2、99 LY 292、加拿大 W 3、山农 6231-1-10、临远 98-6465
III	2	小偃 22、临 98-6286
IV	6	F 4981172-4、临汾 139 (有芒)、苏引 10 号、CA 9640、石 6255、99 榆鉴 23-1

3 讨论

种质资源是作物遗传改良的基础^[12],通过对农艺性状的分析,搜集并选用优异种质材料,是提高育种效率的重要途径^[13-14]。作物群体农艺性状的变异系数越大,则遗传多样性越丰富选育良种的潜力就越大^[15-18]。本研究对30份国内外冬小麦种质资源的15个农艺性状进行了变异分析,结果表明,15个性状变异系数范围为11.15%~36.90%,其中变异系数最大的是小区产量,变异系数最小的是每穗小穗数,说明本试验中国内外小麦种质资源遗传多样性类型丰富,高产选择潜力巨大。

通过对小麦小区产量与14个农艺性状的相关性分析发现,穗粒数、千粒重、穗粒重与小区产量呈显著相关,其中千粒重、穗粒重与产量呈极显著正相关,研究结果表明,产量的提高应注重千粒重、穗粒数的提高和协调发展;分蘖数与有效分蘖数呈极显著正相关,这说明了分蘖力越强的材料成穗数越高,在目标育种选择时加强这一性状的利用,并在实际生产中结合合理密植有望达到高产;抗倒伏性与千粒重呈显著负相关,在小麦生长后期茎秆硬度与倒伏性显著相关,倒伏后影响叶片光合效率,从而影响籽粒灌浆,影响千粒重,最终导致减产。近年来,山西省中部小麦水地审定品种株高一般在85 cm左右,小麦生长后期倒伏严重,如何在保证经济产量的基础上,改良株高更主要改良茎秆柔韧性将是山西省中部冬麦区重要的研究课题。

本试验对30份冬小麦种质资源的15个农艺性状进行了主成分分析,结果显示,6个主成分累计贡献率达77.12%,穗粒重、株型、有效分蘖数、千粒重、穗形、每穗小穗数这6个性状可以成为综合评价冬小麦品种的代表性指标,结合相关性分析,说明穗粒重、有效分蘖数、千粒重是评价小麦品种产量的重要指标,在今后的亲本利用上应着重这三个性状的选择综合利用。

在变异分析、相关性分析和主成分分析的基础上,本研究结合聚类分析对30份种质材料进行了分类,结果表明,小偃22、临98-6286这两个品种表现突出,产量、千粒重、分蘖数、穗粒数均显著高于其他研究材料,但这一类群的材料较少,仅占材料总数的6.67%;本研究中产量低、各性状表现都不佳的材料占了总材料的50%,这一部分材料有可能是对气候较为敏感,因

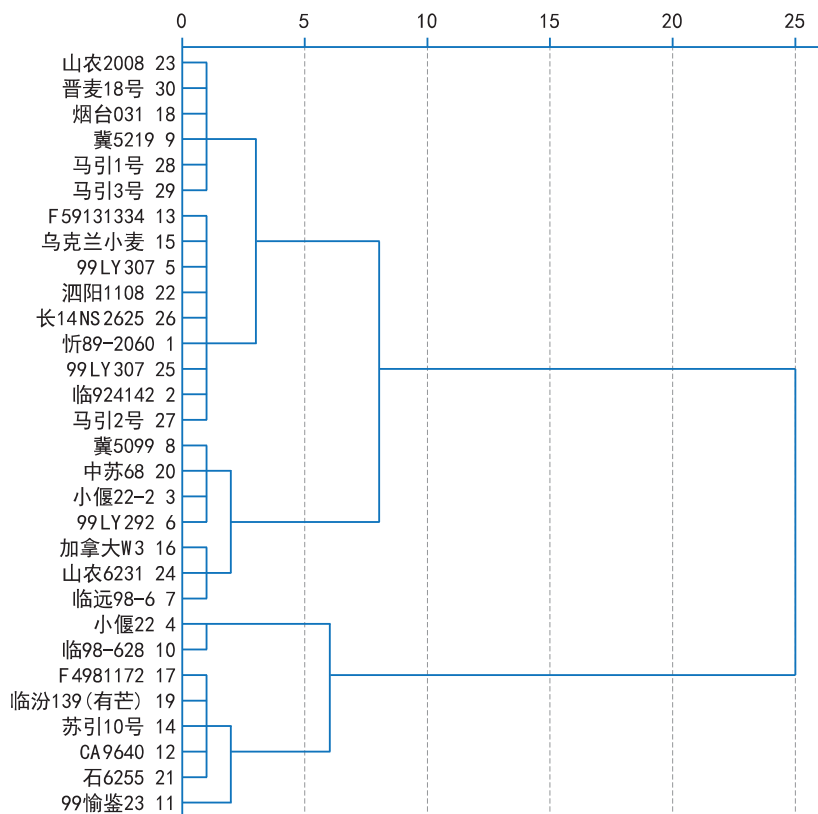


图1 小麦种质资源聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of wheat germplasm resources

2020年4月22—24日发生霜冻,发生时间晚、持续时间长、降温强度大,对小麦生长发育影响较大,因只进行了一年的研究,未来会持续这一研究,以便对各材料进行更准确评价。但同时特殊年份更有利于抗逆性选择,筛选出适应性强、产量高、综合协调性发展良好的优异种质供育种利用。

参考文献:

- [1]任永康,牛瑜琦,逮成芳,等.小麦新品种太412丰产性、稳产性、适应性分析[J].种子,2020,39(9):135-139.
- [2]宋晓朋.黄淮麦区小麦品种遗传多样性及分子标记与性状的关联分析[D].杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [3]王天友,王有武,曹新川,等.新疆陆地棉种质资源表型性状遗传多样性分析[J].种子,2020,39(4):5-11.
- [4]卢庆善,邹剑秋,朱凯,等.高粱种质资源的多样性和利用[J].植物遗传资源学报,2010,11(6):798-801.
- [5]吕伟,韩俊梅,任果香,等.山西芝麻种质资源遗传多样性分析[J].作物杂志,2019(5):57-63.
- [6]张礼凤,李伟,王彩洁,等.山东大豆种质资源形态多样性分析[J].植物遗传资源学报,2006,7(4):450-454.
- [7]孙邦升,刘喜才,宋继玲,等.鲜食马铃薯种质资源表型性状遗传多样性分析[J].黑龙江农业科学,2020(11):15-19.

(下转第38页)



系数的大小判断影响产量的主要因素。本研究中,穗粒重与农艺性状的多元回归分析表现出良好的拟合度($R^2=0.920$),表明本研究调查的性状基本上涵盖了影响穗粒重的主要性状。进一步通径分析表明,千粒重、穗重、成穗茎数、穗粗、穗长、抽穗期、倒二叶宽、倒二叶长、穗颈长度、伸长节节数、码粒数、茎秆粗度、穗码数和株高是影响单株穗粒重的主要因素,其中抽穗期、成穗茎数、穗长、穗粗、穗重和千粒重对穗粒重的正向直接作用较大,而倒二叶长、倒二叶宽、株高、茎秆粗度、伸长节节数、穗颈长度、穗码数和码粒数通过对单株穗粒重的负向间接作用较大,说明生育期较长、分蘖较多、穗较长较粗、穗重和千粒重较大是旱地高产谷子的育种目标。这与赵禹凯等^[18]的研究结果基本一致。

在遗传分离群体中易于获得超亲和具有良好综合性状的株系,是筛选有较高育种价值株系的有效资源。本试验基于农艺性状的表型值,在欧式距离为 25.0 处将 RIL 群体的 341 个株系聚类为六类,平均值分析结果表明,第 V 类群的 1 个株系的平均成穗茎数、穗长、穗粒重和穗重质量最高,第 VI 类群的 1 个株系的千粒重、穗粒重和穗重等性状综合表现良好,因此这两个类群可用于西北旱地高产谷子的育种实践。

参考文献:

- [1] 李江,汤红玲,陈惠萍.外源一氧化碳对干旱胁迫下水稻幼苗抗氧化系统的影响[J].西北植物学报,2010,30(2):330-335.
- [2] 徐丽霞,仪慧兰,郭二虎,等.干旱胁迫对谷子抽穗期生理生化 and 产量的影响[J].山西大学学报(自然科学版),2016,39(4):672-678.
- [3] 王永芳,李伟,智慧,等.基于谷子测序开发的 SSR 标记多态性检测[J].河北农业科学,2010,14(1):73-76.
- [4] 齐帆,范兴,陈义,等.基于 RNA-seq 数据发掘响应干旱的谷

子 C2H2 型锌指蛋白基因[J].江苏农业科学,2019,47(2):41-45.

- [5] 刘婧,徐杰,张立全,等.利用全生育期极度干旱法鉴定谷子抗旱资源[J].植物遗传资源学报,2018,19(4):633-641.
- [6] 赵治海,冯小磊,史高雷,等.极度干旱地区杂交谷子水分高效利用研究[J].节水灌溉,2017(7):42-46.
- [7] 秦岭,杨延兵,管延安,等.不同生态区主要育成谷子品种芽期耐旱性鉴定[J].植物遗传资源学报,2013,14(1):142-146.
- [8] 崔纪茵,范佳兴,李顺国,等.谷子抗旱性鉴定研究进展[J].东北农业大学学报,2017,48(1):89-96.
- [9] 张文英,智慧,柳斌辉,等.谷子全生育期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选[J].植物遗传资源学报,2010,11(5):560-565.
- [10] Zhao Z H, Feng X L, Shi G L, et al. Drought-resistant hybrid millet under watersaving irrigation in extreme drought area of Dunhuang city[J]. Agricultural science & technology, 2014,15(2):231-235.
- [11] 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.
- [12] 宋小元,朱仲元,刘艳伟,等.通径分析在 SPSS 逐步线性回归中的实现[J].干旱区研究,2016,33(1):108-113.
- [13] 郭德仁,王光玲,于延祚,等.谷子 F₁、F₂ 代早熟遗传研究与分析[J].黑龙江农业科学,1981(3):9-13.
- [14] 马金丰,李志江,李延东.谷子嫩选 15×大金苗 F₂ 群体农艺性状评价[J].黑龙江农业科学,2019(9):4-8.
- [15] 刘晓辉.谷子杂交育种研究 II, F₂ 代遗传及选择效果的研究.吉林农业科学,1991(3):12-16.
- [16] 张艾英,郭二虎,刁现民,等.2005—2015 年西北春谷中晚熟区谷子育成品种评价[J].中国农业科学,2017,50(23):4486-4495.
- [17] 李会霞,王玉文,田岗,等.谷子一些数量性状的遗传相关分析及其在育种上的应用[J].甘肃农业科学,2005(4):12-14.
- [18] 赵禹凯,王显瑞,陈高勋,等.谷子主要农艺性状的相关和通径分析[J].内蒙古农业大学学报,2014,35(2):35-38.

(上接第 29 页)

- [8] 郭鹏燕,王彩萍,任杰成,等.不同地理来源绿豆农艺性状的遗传多样性研究[J].作物杂志,2017(6):55-59.
- [9] 杨学乐,张璐,李志清,等.苦荞种质资源表型性状的遗传多样性分析[J].作物杂志,2020(5):53-58.
- [10] 郭丽芬,代梦媛,高梅,等.蓖麻种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J].华南农业大学学报,2017,38(3):32-38.
- [11] 郝黎仁,樊元,郝哲欧.SPSS 实用统计分析[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [12] 彭玉华.大豆遗传多样性对产量改良的重要性及其展望[J].中国农业科学,1999,32(增刊):49-58.
- [13] 倪永静,姜晓君,卢祖权,等.30 份国内外小麦种质资源主要农艺性状的分析与评价[J].中国农学通报,2019,35(36):16-22.

- [14] 王永禄,刘志宏,程倩倩,等.94 份国外小麦种质材料的主要农艺性状分析[J].麦类作物学报,2016,36(5):577-582.
- [15] 张秀荣,冯祥运.芝麻种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [16] 韩勇,姚建军,陈发棣,等.标准切花菊花径与其他重要数量性状的相关与通径分析[J].南京农业大学学报,2012,35(1):33-37.
- [17] 袁志发,周静芋,郭满才,等.决策系数—通径分析中的决策指标[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,29(5):131-133.
- [18] 解小莉,袁志发.决策系数的检验及在育种分析中的应用[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(3):111-114.