

高 燕, 彭 涛, 赵伟峰, 等. 河南小麦品种重要性状遗传多样性分析及回归方程构建[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(17): 57-64.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.17.007

河南小麦品种重要性状遗传多样性分析及回归方程构建

高 燕, 彭 涛, 赵伟峰, 于金林, 成东梅, 黄莎莎
(济源市农业科学院, 河南济源 459002)

摘要:为深入了解河南省小麦品种的特性和识别品种间的遗传差异和量化性状选择指标,本研究利用主成分分析法、聚类分析法,对 153 个小麦品种的 13 项性状进行分析,并构建多个多元线性回归方程。结果表明,供试材料的性状存在差异,其中结实率的变异系数较小(2.02%),分蘖成穗率的变异系数较大(15.45%),历史品种高稳系数的遗传多样性丰富;相关分析结果显示,产量与千粒重($r=0.269$)、穗数($r=0.216$)、穗长($r=0.233$)、灌浆速率($r=0.395$)、收获指数($r=0.356$)、高稳系数($r=0.919$)呈极显著正相关,高稳系数与千粒重($r=0.248$)、穗长($r=0.228$)、收获指数($r=0.305$)、灌浆速率($r=0.369$)呈极显著正相关;经过主成分分析,提取 6 个主成分,其累计方差贡献率为 75.881%,认为穗数、株高、穗长、灌浆速率、结实率、分蘖成穗率、收获指数可作为小麦品种综合评价的主要性状指标;聚类分析将 153 个小麦品种分为 3 个类群。

关键词:小麦;遗传多样性;主成分分析;聚类分析;回归分析

中图分类号:S512.103 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)17-0057-07

小麦是河南省第一大粮食作物,面积、总产量均居我国第一,单产位居我国前列。2024 年中央一号文件提出,要扎实推进新一轮千亿斤粮食产能提升行动。在耕地资源日趋紧张的形势下,提高小麦单产对于增加粮食总产量至关重要。种子在粮食增产中的作用占 45%,高产品种对小麦产量提升的贡献重大^[1]。选育优良品种是提高粮食产能的关键环节。在过去 20 多年里,河南小麦育种取得了显著成就,成功选育出了包括周麦 16、矮抗 58、郑麦 1860、百农 207 等在内的一批小麦品种。但是,长期对高产性状进行定向选择,导致一些多样化基因位点遗失,新育成品种的遗传多样性降低,限制了小麦产量及品质的进一步提升,并降低了品种抵御风险的能力。品种间的遗传多样性是种质改良的基础^[2]。因此,通过对品种进行遗传多样性分析,有助于正确认识品种并调整育种策略^[3-4]。

针对小麦品种遗传多样性,前人已做了较多的研究。金艳等对黄淮南片麦区 79 份小麦品种(系)

的 17 个性状进行分析,基于性状差异将试材分为四大类群,并筛选出 6 个综合评价优良的品种^[5]。王应党等对黄淮麦区 150 份小麦的 8 个农艺性状进行分析,将试材分为五大类群,并筛选出 11 份优异品种(系)^[6]。李楠楠等对河南省黄淮冬麦区 180 个国审小麦品种的亲缘关系进行分析,发现豫麦 49、周麦 16、矮抗 58 等 17 个品种是对育成国审小麦品种贡献较大的骨干亲本^[7]。但是,有关河南省历年审定品种农艺性状全面系统的研究不多,而这些品种中有着许多人工长期定向选择所忽略的有益遗传变异。本研究利用主成分分析与聚类分析方法,对河南省 153 个历年审定品种的产量、灌浆速率、收获指数等性状进行遗传多样性分析,并通过回归分析量化因变量与自变量间的相关性,全面探究不同品种的性状特征和遗传多样性,以期小麦种质资源挖掘、亲本选配、新种质创制以及遗传研究等提供理论依据。

1 材料与与方法

1.1 试验材料与试验设计

试验选用河南省育成小麦品种 153 个。试验于 2021—2023 年在济源市农业科学院试验田进行。试验小区设为 2 行区,行长 2 m,行距 23 cm,基本苗 15 万株/667 m²。采用随机区组排列,重复 4 次,第

收稿日期:2024-12-30

基金项目:河南省重大科技专项(编号:231100110300);济源市科技攻关项目(编号:23021006)。

作者简介:高 燕(1976—),女,河南博爱人,副研究员,主要从事小麦新品种新技术新产品的研究、示范与推广工作。E-mail:365978936@qq.com。

4 次重复用于取样。按照小麦田间常规管理方法进行栽培管理。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 试验数据汇总 拔节前调查最高分蘖数。自开花后 5 d 至成熟期,每隔 5 d 取麦穗 20 个,烘干后计算灌浆速率。收获前 7 d 调查株高、穗数、穗长、小穗数、穗下节长。收获时按小区收获计产。室内考查穗粒数、千粒重、籽粒长、籽粒宽。由上述调查性状计算收获指数、籽粒长宽比、结实率、分蘖成穗率。

1.2.2 数据处理 以 13 个性状的 2 年试验数据平均值作为原始数据,使用 Excel 2019、SPSS 25.0 对数据进行性状遗传多样性分析、相关分析、聚类分析、主成分分析、回归分析^[8-10]。

高稳系数(HSC): $HSC_i = (X_i - S_i) / (1.10 \times X_{CK}) \times 100\%$ ^[11]。

式中: X_i 为第 i 个品种的平均产量; S_i 为第 i 个品种标准差; X_{CK} 为对照品种的平均产量。

2 结果与分析

2.1 性状的遗传特性分析

153 个小麦品种包含河南省北部、中南部、东部、南部、旱作 5 个麦区的推广品种,每个麦区的品种因地气候条件不同而呈现不同的性状特点,具有区域代表性;同时包含 2000 年前审定的历史品种(序号为 1~46、56)和 2000 年后审定的现代品种(序号为 47~55、57~153),具有鲜明的时代特点(表 1)。

表 1 153 个小麦品种序号和名称

序号	品种	序号	品种	序号	品种	序号	品种	序号	品种
1	豫麦 1 号	32	中育 3 号	63	郑麦 004	94	洛麦 24	125	郑育麦 9987
2	豫麦 2 号	33	豫麦 45 号	64	豫麦 70-36	95	洛早 6 号	126	洛麦 22
3	豫麦 4 号	34	豫麦 47 号	65	周麦 13	96	洛早 10 号	127	洛麦 23
4	豫麦 5 号	35	豫麦 48 号	66	周麦 16	97	洛早 12	128	新麦 21
5	豫麦 6 号	36	豫麦 49 号	67	周麦 17	98	新麦 19	129	百农 419
6	豫麦 7 号	37	豫麦 50 号	68	周麦 18	99	新麦 23	130	郑麦 1354
7	豫麦 8 号	38	豫麦 52 号	69	许科 718	100	新麦 26	131	郑麦 1342
8	豫麦 10 号	39	豫麦 54 号	70	许科 316	101	花培 3 号	132	周麦 28
9	豫麦 12 号	40	豫麦 55 号	71	豫麦 18-99	102	花培 8 号	133	新麦 26-5
10	豫麦 13 号	41	豫麦 56 号	72	泛麦 5 号	103	周麦 19	134	新麦 29
11	豫麦 14 号	42	豫麦 57 号	73	新麦 12	104	周麦 20 号	135	丰德存麦 5 号
12	豫麦 15 号	43	豫麦 58 号	74	新麦 13	105	丰德存麦 1 号	136	存麦 8 号
13	豫麦 16 号	44	豫麦 59 号	75	新麦 16 号	106	周麦 23	137	中育 9307
14	豫麦 17 号	45	豫麦 60 号	76	新麦 18	107	周麦 24	138	中育 1220
15	豫麦 18 号	46	豫麦 61 号	77	偃展 4110	108	周麦 26 号	139	洛麦 28
16	豫麦 19 号	47	豫麦 62 号	78	济麦 1 号	109	周麦 27 号	140	洛麦 29
17	豫麦 21 号	48	豫麦 63 号	79	新麦 11	110	周麦 32 号	141	洛麦 31
18	豫麦 24 号	49	豫麦 64 号	80	宛 369	111	周麦 22 号	142	国麦 301
19	豫麦 25 号	50	豫麦 67 号	81	太空 6 号	112	中育 9 号	143	洛麦 26
20	豫麦 26 号	51	豫麦 68 号	82	濮麦 9 号	113	04 中 36	144	许科 168
21	豫麦 28 号	52	豫麦 69 号	83	中原 98-68	114	中育 12 号	145	漯麦 8 号
22	豫麦 29 号	53	豫麦 70 号	84	新麦 208	115	开麦 18	146	新麦 30
23	豫麦 30 号	54	中育 5 号	85	豫麦 49-198	116	平安 6 号	147	国麦 0319
24	豫麦 32 号	55	中育 6 号	86	郑麦 9405	117	平安 8 号	148	开麦 22
25	豫麦 33 号	56	周麦 11 号	87	郑麦 9694	118	开麦 21	149	宛麦 98
26	豫麦 34 号	57	洛麦 1 号	88	郑麦 7698	119	百农 207	150	中麦 875
27	豫麦 35 号	58	洛早 2 号	89	郑麦 0856	120	众麦 1 号	151	郑麦 119
28	豫麦 36 号	59	洛早 3 号	90	郑麦 0943	121	开麦 20	152	中麦 895
29	豫麦 40 号	60	郑麦 9023	91	郑麦 379	122	偃高 21	153	豫麦 65
30	豫麦 41 号	61	矮抗 58	92	郑麦 3596	123	漯麦 9 号		
31	豫麦 43 号	62	郑麦 366	93	洛麦 21 号	124	许科 1 号		

由表 2 可知,153 个小麦品种的不同性状变异系数差异较大,顺序依次为分蘖成穗率 > 高稳系数 > 穗粒数 > 穗下节长 > 穗数 > 灌浆速率 > 产量 > 千粒重 > 穗长 > 株高 > 收获指数 > 籽粒长宽比 > 结实率。其中,结实率的变异系数最小(2.02%),可见品种间的结实率几乎不存在差异,改良空间不大。分蘖成穗率的变异系数最大(15.45%),说明品种间的分蘖成穗率存在明显差

异,可以通过杂交改良提高分蘖成穗率。高稳系数、穗粒数的变异系数分别为 13.49%、12.63%,可见在高产稳产性和增加穗粒数方面还有很大的改良空间,通过杂交改良可以得到理想的结果。各性状的中位数与平均数很接近,说明数据的分布是均匀的,没有过多的离群点。除结实率外,其余性状的变异系数差别较大,反映出参试品种各性状在遗传上具有多样性。

表 2 小麦品种性状的变异分析结果

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
平均值	8 191.70	44.27	729.43	40.00	83.07	8.68	26.63	2.01	5.13	92.59	36.20	41.86	76.38
标准差	865.33	4.66	85.15	5.05	7.41	0.80	3.28	0.12	0.58	1.87	5.59	3.27	10.30
中位数	8 202.00	44.67	735.00	40.15	83.00	8.68	26.37	2.02	5.16	92.60	36.13	42.08	76.94
极差	6 257.00	21.82	430.00	27.85	67.67	5.30	19.93	0.58	3.51	9.30	27.78	30.33	58.28
变异系数(%)	10.56	10.54	11.67	12.63	8.92	9.19	12.31	5.92	11.21	2.02	15.45	7.81	13.49

注: X₁ 为产量(kg/hm²), X₂ 为千粒重(g), X₃ 为穗数(万/hm²), X₄ 为穗粒数(粒), X₅ 为株高(cm), X₆ 为穗长(cm), X₇ 为穗下节长(cm), X₈ 为籽粒长宽比, X₉ 为灌浆速率(g/d), X₁₀ 为结实率(%), X₁₁ 为分蘖成穗率(%), X₁₂ 为收获指数(%), X₁₃ 为高稳系数(%); 下表同。

由图 1 可知,历史品种和现代品种多个性状的变异系数存在差异;其中,产量、收获指数、高稳系数的变异系数差距较大。现代品种的产量、收获指数、高稳系数的变异系数较低,表明现代品种更能够抵御环境变化带来的影响,更加高产稳产。历史品种高稳系数的变异系数最高,说明历史品种高稳系数的遗传多样性丰富,改良空间大,可根据育种目标选择合适亲本进行性状改良。

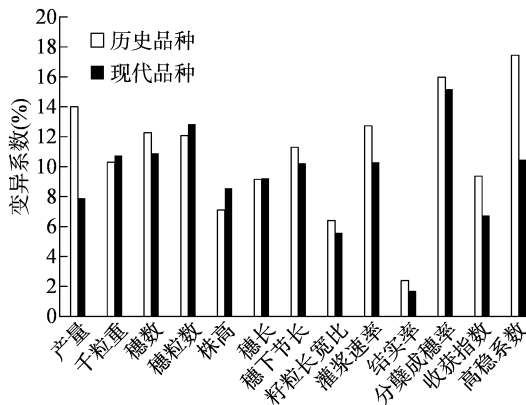


图 1 小麦历史品种与现代品种的变异系数比较

由表 3 可知,结实率的遗传变异系数为 4.08%,收获指数的遗传变异系数为 7.42%,其他性状的遗传变异系数均在 10% 以上。遗传力大小顺序依次为株高 > 灌浆速率 > 穗下节长 > 穗长 > 千粒重 > 产量 > 穗粒数 > 收获指数 > 穗数 > 结实率 > 分蘖成穗率。其中,株高、穗长、穗下节长、千粒重、灌浆速率的遗传力均 > 60%,表明这些性状受

环境影响不大,在早代进行选择,可靠性大。同时,株高、穗长、穗下节长、千粒重、灌浆速率的遗传进度均 > 25%,说明在 5% 的选择强度下,可获得较大的遗传进展。穗数、分蘖成穗率、结实率、收获指数的遗传力均较低,表明它们受环境的影响较大,可适当提高选择的代数。

表 3 小麦主要性状的遗传变异系数、遗传力及遗传进度

性状	遗传变异系数(%)	遗传力(%)	5% 遗传进度(%)
X ₁	16.48	46.69	23.19
X ₂	15.75	67.14	26.58
X ₃	12.66	19.23	11.44
X ₄	10.96	25.11	11.32
X ₅	14.14	80.19	26.08
X ₆	14.98	69.85	25.80
X ₇	20.04	71.63	34.93
X ₉	16.22	75.24	28.99
X ₁₀	4.08	17.38	3.50
X ₁₁	13.63	11.06	9.34
X ₁₂	7.42	19.35	6.73

2.2 性状间的相关分析

由表 4 可知,153 个品种的各性状间存在不同程度的相关性。产量与千粒重($r = 0.269$)、穗数($r = 0.216$)、穗长($r = 0.233$)、灌浆速率($r = 0.395$)、收获指数($r = 0.356$)呈极显著正相关,与穗粒数($r = 0.193$)呈显著正相关。

穗数与分蘖成穗率($r = 0.492$)呈极显著正相

关,说明通过提高分蘖成穗率可以有效提高穗数。穗数与穗粒数($r = -0.252$)呈极显著负相关、与结实率($r = -0.202$)呈显著负相关,千粒重与穗粒数($r = -0.312$)、结实率($r = -0.235$)呈极显著负相关,穗粒数与穗长($r = 0.248$)呈极显著正相关。

收获指数与产量($r = 0.356$)、千粒重($r = 0.281$)、穗粒数($r = 0.326$)、灌浆速率($r = 0.257$)呈极显著正相关,与穗数($r = -0.168$)呈显著负相关。同时,穗长与穗粒数($r = 0.248$)呈极显著正相关,说明在适宜穗数的基础上提高穗长,可以使品

种的穗粒数和收获指数得到相应提高,可通过选择较高千粒重、穗粒数、灌浆速率来间接选育收获指数较高的材料。

高稳系数与产量($r = 0.919$)、千粒重($r = 0.248$)、穗长($r = 0.228$)、灌浆速率($r = 0.369$)、收获指数($r = 0.305$)呈极显著正相关,与穗数($r = 0.200$)、穗粒数($r = 0.168$)呈显著正相关。因此,在品种选育中,可通过选择粒重高、穗数多、穗长长、穗粒数多、灌浆速率快及收获指数高来间接选育高稳系数较高的材料。

表 4 小麦各性状之间的相关性

性状	相关系数											
	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_1	0.269**	0.216**	0.193*	0.028	0.233**	-0.092	-0.129	0.395**	-0.081	0.114	0.356**	0.919**
X_2		-0.156	-0.312**	0.032	0.094	-0.059	0.011	0.223**	-0.235**	-0.118	0.281**	0.248**
X_3			-0.252**	0.283**	-0.041	0.179*	0.080	-0.322**	-0.202*	0.492**	-0.168*	0.200*
X_4				0.042	0.248**	-0.124	-0.052	0.392**	0.183*	-0.089	0.326**	0.168*
X_5					0.047	0.552**	0.003	0.034	-0.167*	0.028	0.120	-0.051
X_6						-0.056	0.055	0.189*	-0.054	0.124	0.137	0.228**
X_7							-0.047	-0.040	-0.141	0.029	-0.133	-0.137
X_8								-0.051	-0.010	-0.077	0.067	-0.150
X_9									0.013	-0.029	0.257**	0.369**
X_{10}										-0.184*	-0.103	-0.090
X_{11}											-0.088	0.127
X_{12}												0.305**

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上差异显著。

2.3 聚类分析

基于 13 个性状指标,对参试品种进行聚类分析(图 2)。由图 2 可知,第 I 类群包含 1、6、7、13 等 29 个品种,占总体 19.0%;第 II 类群包含 3、9、11、14 等 60 个品种,占总体 39.2%;第 III 类群包含 2、4、5、8 等 64 个品种,占 41.8%。

由表 5 可知,第 I 类群的小麦品种的穗数、分蘖成穗率均值高于总体平均值,属于丰产、成穗率高、多穗多粒类型;第 II 类群小麦品种与其他类群品种相比,穗长、穗粒数、灌浆速率、收获指数、高稳系数的均值高于总体平均值,属于高产稳产、大穗多粒类型;第 III 类群的小麦品种的千粒重、穗数、分蘖成穗率均值高于总体平均值,株高均值低于总体平均值,属于丰产、多穗大粒、矮秆类型。可见,不同类群的小麦品种在产量、穗部性状、株高等方面展现出各自的优势和特点。

2.4 主成分分析

对各变量进行主成分分析,根据所有公因子对

原有变量方差的贡献率 > 75% 的标准,提取出 6 个主成分因子。由表 6 可知,第 1 主成分特征值为 2.815,方差贡献率达到 21.650%;第 2 主成分的特征值为 2.118,方差贡献率为 16.296%;第 3 主成分特征值为 1.462,方差贡献率为 11.249%;第 4 主成分特征值为 1.437,方差贡献率达到 11.056%;第 5 主成分特征值为 1.113,方差贡献率达到 8.562%;第 6 主成分特征值为 0.919,方差贡献率达到 7.068%。6 个主成分累计方差贡献率达到 75.881%,说明这 6 个主成分能够代表大部分性状的信息。

由表 7 可知,第 1 主成分的产量、高稳系数的载荷数较大,主要反映的是产量相关信息;第 2 主成分的穗数、分蘖成穗率的载荷数较大,主要反映的是穗数相关信息;第 3 主成分的株高、穗下节长的载荷数较大,主要反映的是株高相关信息;第 4 主成分的穗长、穗粒数的载荷数较大,主要反映的是穗相关信息;第 5 主成分的主要影响因子是千粒重,主要反

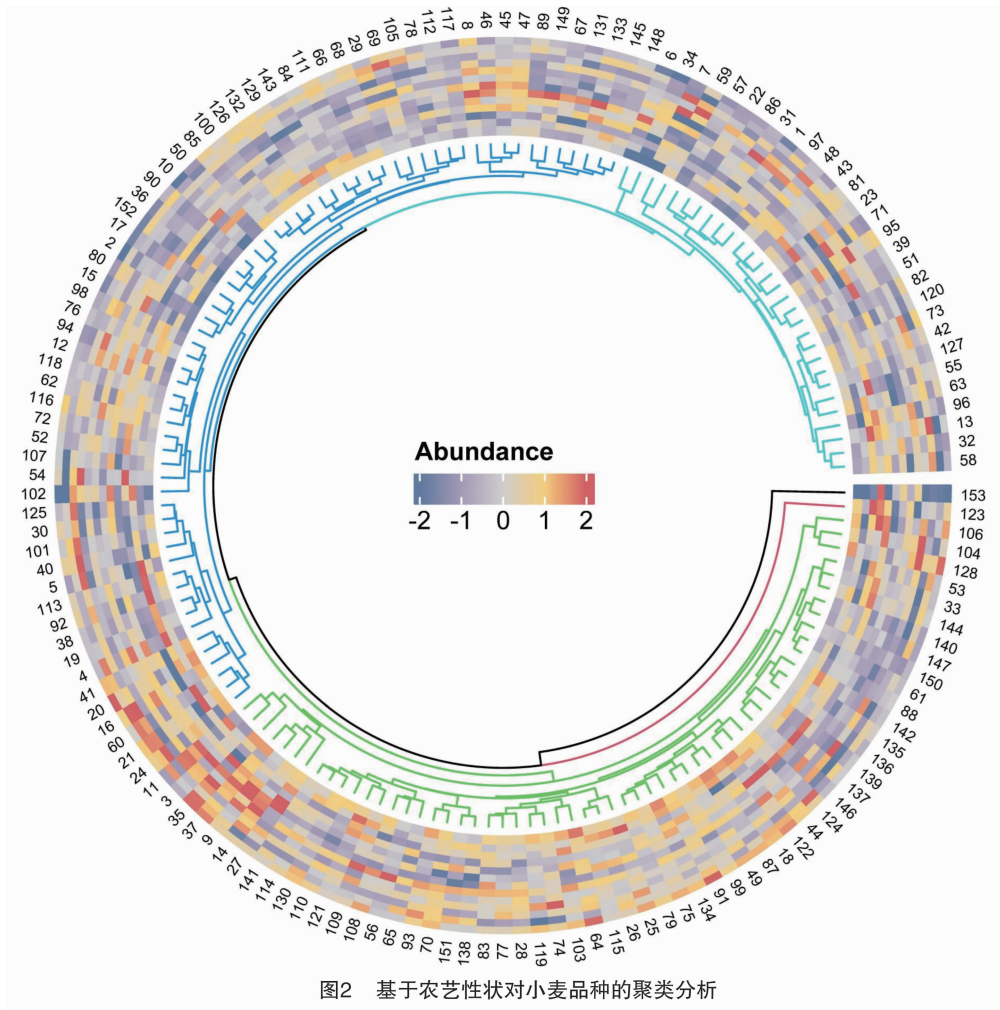


图2 基于农艺性状对小麦品种的聚类分析

表5 3个类群的性状分析

类群	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}
I	7 760.2	41.0	762.9	39.5	87.3	8.2	28.1	1.9	5.1	92.7	38.0	40.0	70.9
II	8 564.8	44.9	692.8	42.7	82.3	9.0	26.2	2.0	5.5	92.8	35.3	43.2	81.1
III	8 036.9	45.1	745.8	37.9	81.8	8.6	26.4	2.1	4.9	92.4	36.4	41.5	74.5
总体	8 191.7	44.3	729.4	40.0	83.1	8.7	26.6	2.0	5.1	92.6	36.2	41.9	76.4

映的是籽粒相关信息;第6主成分的主要影响因子是籽粒长宽比,主要反映的是籽粒相关信息。

根据因子得分系数矩阵及其对应的主成分,计算出不同类群的主成分得分及综合评分。计算公式如下:

$$F_1 = 0.445X_1 + 0.091X_2 + 0.171X_3 + 0.030X_4 + 0.036X_5 - 0.155X_6 - 0.013X_7 + 0.005X_8 + 0.112X_9 + 0.139X_{10} - 0.084X_{11} + 0.150X_{12} + 0.431X_{13};$$

$$F_2 = 0.044X_1 - 0.215X_2 + 0.410X_3 - 0.060X_4 - 0.047X_5 + 0.174X_6 - 0.077X_7 + 0.001X_8 - 0.188X_9 - 0.145X_{10} + 0.498X_{11} - 0.142X_{12} + 0.066X_{13};$$

$$F_3 = 0.026X_1 - 0.021X_2 + 0.094X_3 + 0.081X_4 + 0.555X_5 - 0.048X_6 + 0.527X_7 + 0.007X_8 + 0.098X_9 -$$

$$0.047X_{10} - 0.123X_{11} - 0.044X_{12} - 0.027X_{13};$$

$$F_4 = -0.123X_1 - 0.085X_2 - 0.188X_3 + 0.384X_4 + 0.041X_5 + 0.607X_6 - 0.029X_7 + 0.020X_8 + 0.244X_9 - 0.240X_{10} + 0.252X_{11} + 0.136X_{12} - 0.128X_{13};$$

$$F_5 = -0.068X_1 + 0.525X_2 - 0.101X_3 - 0.369X_4 - 0.023X_5 + 0.146X_6 + 0.008X_7 - 0.033X_8 + 0.014X_9 - 0.508X_{10} + 0.073X_{11} + 0.092X_{12} - 0.060X_{13};$$

$$F_6 = 0.011X_1 + 0.002X_2 + 0.204X_3 + 0.018X_4 + 0.059X_5 + 0.040X_6 - 0.057X_7 + 0.884X_8 - 0.142X_9 + 0.044X_{10} - 0.158X_{11} + 0.257X_{12} - 0.029X_{13};$$

$$F = 0.288 2F_1 + 0.200 1F_2 + 0.126 7F_3 + 0.116 9F_4 + 0.089 3F_5 + 0.073 2F_6。$$

式中: $X_1 \sim X_{13}$ 分别表示产量、千粒重、穗数、穗粒数、

表 6 特征值和方差贡献率

主成分	特征值	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
1	2.815	21.650	21.650
2	2.118	16.296	37.946
3	1.462	11.249	49.195
4	1.437	11.056	60.251
5	1.113	8.562	68.813
6	0.919	7.068	75.881
7	0.831	6.394	82.274
8	0.697	5.358	87.632
9	0.594	4.570	92.203
10	0.474	3.650	95.852
11	0.253	1.947	97.799
12	0.212	1.634	99.433
13	0.074	0.567	100.000

表 7 各主成分得分系数矩阵

性状	载荷					
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
X_1	0.445	0.044	0.026	-0.123	-0.068	0.011
X_2	0.091	-0.215	-0.021	-0.085	0.525	0.002
X_3	0.171	0.410	0.094	-0.188	-0.101	0.204
X_4	0.030	-0.060	0.081	0.384	-0.369	0.018
X_5	0.036	-0.047	0.555	0.041	-0.023	0.059
X_6	-0.155	0.174	-0.048	0.607	0.146	0.040
X_7	-0.013	-0.077	0.527	-0.029	0.008	-0.057
X_8	0.005	0.001	0.007	0.020	-0.033	0.884
X_9	0.112	-0.188	0.098	0.244	0.014	-0.142
X_{10}	0.139	-0.145	-0.047	-0.240	-0.508	0.044
X_{11}	-0.084	0.498	-0.123	0.252	0.073	-0.158
X_{12}	0.150	-0.142	-0.044	0.136	0.092	0.257
X_{13}	0.431	0.066	-0.027	-0.128	-0.060	-0.029

株高、穗长、穗下节长、籽粒长宽比、灌浆速率、结实率、分蘖成穗率、收获指数、高稳系数标准化后的性状指标; $F_1 \sim F_6$ 分别表示各主成分得分, F 为品种综合评价得分。

2.5 回归方程的构建

根据方差膨胀系数 (VIF) > 10, 剔除与自变量存在多重共线性的自变量, 舍去回归系数不显著的自变量原则, 分别以 F 值、产量、收获指数、高稳系数、灌浆速率为因变量, 以各性状值为自变量, 得到多元逐步回归方程。

2.5.1 F 值与性状间的回归方程 以综合评价得分 F 值为因变量, 以各性状值为自变量, 得到多元逐步回归方程: $Y = 0.003X_3 + 0.009X_5 + 0.141X_6 +$

$0.234X_9 - 0.036X_{10} + 0.009X_{11} + 0.037X_{12} - 3.877$ 。回归方程的复相关系数为 0.904, 确定系数为 0.817, 表明回归方程中穗数、株高、穗长、灌浆速率、结实率、分蘖成穗率、收获指数可解释方程总变异的 81.7%。由表 8 可知, 穗数、株高、穗长、灌浆速率、结实率、分蘖成穗率、收获指数和 F 值均呈极显著相关, 表明这 7 个性状是影响综合评价得分的主要因素。

表 8 F 值与小麦主要性状间的相互关系

性状	相关系数
X_1	0.766 **
X_2	0.208 **
X_3	0.581 **
X_4	0.111
X_5	0.361 **
X_6	0.385 **
X_7	0.180 *
X_8	0.104
X_9	0.263 **
X_{10}	-0.380 **
X_{11}	0.452 **
X_{12}	0.306 **
X_{13}	0.723 **

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。

2.5.2 与产量相关的重要性状间的回归方程 以产量为因变量得到回归方程 $Y = 64.663X_2 + 4.624X_3 + 47.628X_4 + 533.778X_9 - 2687.406$, 表明千粒重、穗数、穗粒数、灌浆速率是影响产量的主要因素。以灌浆速率为因变量得到回归方程 $Y = 0.042X_2 - 0.001X_3 + 0.052X_4 + 1.912$, 表明千粒重、穗数、穗粒数是影响灌浆速率的主要因素。以收获指数为因变量得到回归方程 $Y = 0.298X_2 + 0.297X_4 + 16.790$, 表明千粒重、穗粒数是影响收获指数的主要因素。以高稳系数为因变量得到回归方程 $Y = 0.346X_2 + 0.047X_3 + 7.217X_9 + 0.704X_{12} - 40.000$, 表明千粒重、穗数、灌浆速率、收获指数是影响高稳系数的主要因素。

3 讨论与结论

3.1 遗传多样性分析

遗传多样性研究是确保品种创新工作取得突破的关键^[12]。本研究表明, 153 个小麦品种具有较为丰富的遗传变异, 产量、高稳系数、穗数、穗粒数、千粒重、分蘖成穗率、灌浆速率等指标变异系数均 > 10%; 其中, 小麦分蘖成穗率变异系数最大, 结

实率变异系数最小。历史品种高稳系数的遗传多样性丰富,性状改良空间大。

性状间的相关性和遗传参数估计对于优化育种方案必不可少。张胜全等认为,千粒重及穗粒数的稳步提升是收获指数提高的关键^[13]。宋晓等认为,产量和灌浆速率呈极显著正相关^[14]。王丽娜等认为,穗粒数、千粒重均与产量呈极显著正相关,灌浆速率与千粒重呈显著正相关^[15]。本研究结果表明,千粒重、灌浆速率均与产量呈极显著正相关,收获指数、高稳系数均与产量、千粒重、穗粒数、灌浆速率呈极显著或显著正相关;通过产量、千粒重、穗粒数、灌浆速率性状的选择,可间接选育高稳系数和收获指数较高的材料。株高、穗长、穗下节长、千粒重、灌浆速率的遗传进度及遗传力较高,通过早代性状选择,可获得较好的选择效果。灌浆速率主要受基因型控制^[16-17],所以在品种改良中,可以通过分子标记辅助选择等技术,筛选具有突出灌浆特性的早代材料,从而提高育种效率和后代的产量潜力。

3.2 主成分分析和聚类分析

利用主成分分析和聚类分析对品种进行遗传多样性分析和综合评价,可以为小麦选种用种、亲本选配、明确育种目标提供依据^[18-19]。黄倩楠等利用主成分分析发现,穗数、穗粒重、穗粒数、千粒重可作为高产小麦筛选指标^[20]。王健胜等利用主成分分析发现,穗粒数、小花数/小穗、株高宜作为小麦种质评价的主要性状因子^[21]。本研究通过主成分分析提取 6 个主成分,其累计方差贡献率为 75.881%,认为穗数、株高、穗长、灌浆速率、结实率、分蘖成穗率、收获指数是影响综合评价得分的主要因素。

3.3 回归方程构建

在小麦农艺性状、品质等方面的研究中,一些学者采用多元线性回归法定量分析多个自变量与因变量的相关性^[22-24]。收获指数反映同化产物在籽粒和营养器官中的分配比例,灌浆速率直接影响籽粒的充实度和粒重,而高稳系数用来衡量作物产量的高产性和稳产性,这些指标都是评价作物产量的重要因素^[25-27]。本研究通过线性逐步回归建立回归方程,提出作物综合性状、产量、高稳系数、收获指数、灌浆速率与性状间关系的具体量化模型。

综上所述,通过对小麦性状的多样性分析、相关分析、聚类分析、主成分分析及回归分析,可以深化对品种的遗传背景、性状遗传特点和不同因素对产量、灌浆速率等重要指标的影响程度的理解,为

育种策略优化及生产提供科学依据。

参考文献:

- [1]高艳梅,景茂雅,陈薇薇,等.近 20 年来中国小麦品种产量和品质性状变化分析[J].麦类作物学报,2024,44(9):1152-1160.
- [2]Gupta N,Bhardwaj M L,Singh S P,et al. Genetic diversity for growth and yield traits in bitter melon[J]. International Journal of Vegetable Science, 2016,22(5):480-489.
- [3]马艳明,姜鸿耀,张胜军,等.新疆冬小麦品种资源主要产量性状全基因组关联分析[J].中国农业科学,2023,56(18):3487-3499.
- [4]张会芳,齐红志,孙岩,等.黄淮海冬麦区不同来源地新育成小麦品种性状多样性分析[J].植物遗传资源学报,2023,24(3):719-731.
- [5]金艳,宋全昊,肖永贵,等.黄淮南片麦区 79 份小麦品种(系)的遗传多样性分析[J].南方农业学报,2024,55(5):1296-1306.
- [6]王应党,任自超,王冲,等.基于 8 个农艺性状的黄淮海区小麦品种(系)综合评价[J].河北农业科学,2023,27(6):41-48.
- [7]李楠楠,邹少奎,王丽娜,等.河南省黄淮冬麦区 180 个国审小麦品种的亲缘关系分析[J].分子植物育种,2022,20(21):7259-7269.
- [8]田顺顺,王冲,郭凤芝,等.黄淮海区 180 个小麦品种的 6 个农艺性状遗传多样性分析[J].河北农业科学,2024,28(1):86-91.
- [9]雷月,官彦龙,邓茹月,等.基于主成分分析和聚类分析综合评价蒸谷米的品质特性[J].食品工业科技,2021,42(7):258-267.
- [10]段珊,付之乐,王晶晶,等.陇东旱地冬小麦区域试验品系农艺性状及抗逆性分析[J].西南农业学报,2024,37(5):980-989.
- [11]耿若飞,张慧敏,王二伟,等.小麦新品种平麦 20 丰产稳产性及适应性分析[J].作物研究,2023,37(3):278-281.
- [12]杜晓宇,李楠楠,邹少奎,等.黄淮南片新育成小麦品种(系)主要性状的综合性分析[J].作物杂志,2021(4):38-45.
- [13]张胜全,任立平,王拯,等.从收获指数探讨源库关系调控与小麦增产[J].东北农业科学,2022,47(3):21-25.
- [14]宋晓,张珂珂,岳克,等.不同氮效率小麦品种的籽粒灌浆特性[J].中国土壤与肥料,2024(3):174-180.
- [15]王丽娜,韩玉林,邹少奎,等.不同小麦品种粒重与籽粒灌浆特性探究[J].山东农业科学,2019,51(10):40-44.
- [16]Yao Y R,Lv L H,Zhang L H,et al. Genetic gains in grain yield and physiological traits of winter wheat in Hebei Province of China,from 1964 to 2007[J]. Field Crops Research,2019,239:114-123.
- [17]Baillot N,Girousse C,Allard V,et al. Different grain-filling rates explain grain-weight differences along the wheat ear[J]. PLoS One,2018,13(12):e0209597.
- [18]张会芳,冯丽丽,段俊枝,等.基于 14 个性状的 118 份小麦遗传多样性分析及综合评价[J].江苏农业科学,2022,50(18):99-108.
- [19]高晓燕,龚魁杰,孙琳琳,等.不同强筋小麦粉品质的主成分分析与聚类分析[J].食品科技,2024,49(6):166-173.
- [20]黄倩楠,马尔合巴·艾司拜尔,邹辉,等.新疆冬小麦种质资源主要农艺性状遗传多样性分析[J].新疆农业科学,2023,60(5):1050-1058.

尚 赏,郭书亚,张 艳,等. 种植密度对夏玉米穗部性状、力学特征及机械粒收破碎率的影响[J]. 江苏农业科学,2025,53(17):64-70.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.17.008

种植密度对夏玉米穗部性状、力学特征 及机械粒收破碎率的影响

尚 赏,郭书亚,张 艳,汤其宁,卢广远

(商丘市农林科学院,河南商丘 476000)

摘要:为探讨种植密度对夏玉米穗部性状、力学特征及机械粒收破碎率的影响,以 6 个夏玉米品种为试验材料,设置 6.0 万株/hm² (D1)、7.5 万株/hm² (D2)、9.0 万株/hm² (D3) 等 3 个种植密度,系统分析不同密度下穗部性状、力学特征、籽粒含水率及破碎率的动态变化规律及其之间的相关性。结果表明,随着种植密度的增加,穗长、穗粗、穗柄长和轴粗均呈下降趋势,其中穗长和穗柄长受密度影响显著。D1 增至 D2 苞叶层数均值略有降低,但差异不显著,D2 增至 D3 苞叶层数均值保持不变,均为 9.7 层。增密显著提高籽粒产量,D3 较 D1 增产 14.0%。穗轴力学强度随密度增加而降低,D3 较 D1 穗轴抗折断力、穿刺强度分别降低 17.0%、16.9%。籽粒含水率、穗轴含水率变化趋势一致,D3 较 D1 分别降低 1.15、2.40 个百分点。籽粒破碎率随密度增加呈下降趋势,D3 较 D1 均值降低 1.25 百分点,其中破碎率和破皮率占比均值分别为 52.5% 和 38.2%。相关性分析表明,籽粒破碎率与籽粒含水率呈极显著的正相关关系,与穗长呈显著的正相关关系;籽粒含水率与穗粗、轴粗、苞叶层数及穗轴穿刺强度呈显著的正相关关系,与穗轴抗折断力及穗轴含水率呈极显著正相关关系,其中穗轴含水率与籽粒含水率相关性最密切(相关系数为 0.762)。综上表明,合理增加种植密度可提高夏玉米籽粒产量,降低收获时籽粒含水率和破碎率。

关键词:玉米;种植密度;穗部性状;力学特征;机械粒收

中图分类号:S513.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)17-0064-07

玉米是我国重要的粮食作物,其生产能力提升对保障国家粮食安全具有重要战略意义。在耕地资源约束趋紧的背景下,发展耐密植、高产技术,并配套机械粒收技术,是实现玉米生产提质增效的必

然选择。合理增加种植密度能显著提高单位面积内玉米有效穗数,是提升玉米单产的关键措施之一^[1]。除种植密度因素外,不同熟期的夏玉米品种的产量存在差异,其中中晚熟品种的产量高于早熟品种^[2]。机械粒收技术是实现玉米现代化高效生产的重要手段,我国自 20 世纪 80 年代开始引进玉米机械收获技术并开展相关研究,但起步较晚,推广面积有限^[3]。玉米机械粒收质量的主要评价指标包括籽粒的破碎率、杂质率和总损失率,其中破碎率高是玉米进行机械粒收技术推广面临的主要瓶颈问题^[4-5]。研究表明,籽粒含水率能显著影响机械粒收的破碎率,且两者呈显著正相关关系^[6]。

收稿日期:2025-02-28

基金项目:河南省现代农业产业技术体系建设专项(编号:HARS-22-02-24);河南优势特色农业产业科技支撑行动计划专项(编号:20241102002)。

作者简介:尚 赏(1984—),女,河南商丘人,硕士,助理研究员,从事玉米栽培和遗传育种研究。E-mail:shangshangsq@163.com。

通信作者:卢广远,研究员,从事玉米栽培与遗传育种研究。E-mail:Lugy378@163.com。

[21]王健胜,侯桂玲,王二伟,等. 国内外小麦种质农艺性状遗传多样性分析与筛选利用[J]. 分子植物育种,2024,22(17):5714-5724.

[22]黄 杰,葛昌斌,王 君,等. 基于主成分回归模型的漯河市小麦相对气象千粒重的模拟模型[J]. 作物杂志,2023(5):212-218.

[23]张正斌,徐 萍,李奉令,等. 彩色小麦农艺性状和微量营养素相关回归分析[J]. 中国生态农业学报,2024,32(10):1669-1678.

[24]孙现军,姜奇彦,胡 正,等. 小麦种质资源苗期耐盐性鉴定评价[J]. 作物学报,2023,49(4):1132-1139.

[25]张宁丹,任建强,吴尚蓉. 基于花后累积地上生物量比例的冬小麦动态收获指数估算[J]. 农业工程学报,2022,38(7):189-199.

[26]刘 佳. 小麦籽粒灌浆速率测定及全基因组关联分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2024:1.

[27]孙昊蔚. 气候变化对中国小麦产量和适宜种植区的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2024:9.