

张 凡,杨春玲,刘国涛. 近年来黄淮南片育成小麦品种(系)农艺、产量及品质性状综合分析与评价[J]. 江苏农业科学,2022,50(21):90-97.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.21.013

近年来黄淮南片育成小麦品种(系)农艺、产量及品质性状综合分析与评价

张 凡,杨春玲,刘国涛

(安阳市农业科学院,河南安阳 455000)

摘要:以 2016—2020 年中作联合体黄淮冬麦区南片区域试验中的 35 份小麦品种(系)为试验材料,运用遗传多样性分析、通径分析、聚类分析与主成分分析等多种分析方法对其产量、品质、农艺性状等 10 个性状指标进行综合评价。结果表明,10 个性状指标的多样性指数(H')为 1.028 3~1.638 1,平均为 1.484 1,其中千粒质量 H' 最大,稳定时间 H' 最小,但其变异系数(CV)最大,为 66.41%。在平方欧氏距离大约为 2 时,可将供试材料划分为 VI 大类群,各类群间产量表现为 IV > I > II > III > V > VI。主成分分析可从 10 个性状中提取出 4 个主成分,解释 71.59% 的性状信息,依据主要性状的小麦评价价值(F 值)越高,综合性状越好,排名前 5 位的小麦品种(系)分别是轮选 187、安科 1602、中优 69、新麦 40、中麦 5215。通过逐步回归分析构建最优方程,筛选出穗粒数、千粒质量、株高、容重、蛋白质、吸水率和稳定时间 7 个性状可以作为小麦新品种(系)综合评价指标。供试小麦材料品质性状中稳定时间差异较大,在育种过程中应注重改良,筛选出的综合性状较好的品种(系)可作为杂交首选亲本,7 个综合评价指标可作为选育小麦新品种的依据。

关键词:小麦性状;多样性分析;聚类分析;主成分分析;综合评价

中图分类号:S512.103.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)21-0090-08

小麦是世界重要的粮食作物,黄淮麦区是我国第一大小麦产区,其健康持续发展对于保障我国粮食生产安全意义非凡。目前,我国小麦生产发展进入了产量质量同步提升阶段,品种选育以高产与优质双目标并进^[1-2],但仍应该看到,小麦产量虽已得到大幅提升,可是品质仍不能完全满足市场需求^[3],新品种选育对推动小麦生产发展至关重要,但近年来新审定小麦品种繁多,质量参差不齐,缺乏全面的综合分析评价,因此,有必要对近年来黄淮麦区新审定小麦品种(系)作出全面分析与评价研究,以推动黄淮麦区小麦产业高质量发展。

产量及其构成因素是育种工作者一直以来关注的育种目标,株高关系到作物的抗倒伏性与最终产量的形成^[4],品质性状是划分优质小麦的重要依

据。近年来,以多样性分析、通径分析、聚类分析、主成分分析为主的研究分析方法逐渐应用在农作物育种中^[5-8]。李晓荣等对小麦种质资源的主要农艺性状做出过遗传多样性分析^[9-10]。孙彩玲等基于主成分分析与聚类分析方法对山东省小麦区域试验中 297 份小麦品种(系)的品质性状进行分析评价,筛选出 4 个品质主要指标^[11]。雷雄等用主成分分析与聚类分析从 50 份国外燕麦种质资源中筛选出 5 份优异种质材料^[12]。张琦等用相关性分析和通径分析对 20 份燕麦种质的 12 个主要农艺性状和产量进行了分析,确定了不同农艺性状对产量的直接效应大小^[13]。蔡金华等利用主成分分析与聚类分析相结合的方法对江苏省 35 份小麦种质的 9 个品质指标进行了多样性评价^[14]。可以看出,通过多种综合分析方法可以评价筛选出综合性状优良的种质资源,为品种改良及新品种选育提供参考,但至今鲜见对黄淮麦区小麦品种(系)主要性状的综合研究报道。本研究通过对近年来黄淮麦区南片育成的 35 份小麦品种(系)的产量、品质及主要农艺性状指标进行综合评价分析,以探究性状指标间的关系及不同来源小麦材料间的优缺点,为筛选出优异亲本材料,更好地评价及利用品种(系)资源

收稿日期:2021-12-31

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-03);河南省重点研发与推广专项(编号:212102110293);安阳市重点研发与推广专项(编号:2022C01NY025)。

作者简介:张 凡(1991—),女,河南汤阴人,硕士,助理研究员,主要从事小麦育种及品种评价工作。E-mail:aynkzyf@126.com。

通信作者:杨春玲,研究员,主要从事小麦新品种选育及栽培技术研究。E-mail:ay1352580@163.com。

提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为 2016—2020 年参加中作联合体黄淮冬麦区(南片)2 年区试中的 35 份小麦品种(系)(表 1),对产量性状(产量、有效穗数、穗粒数、千粒质量)、品质性状(蛋白质含量、稳定时间、吸水率、湿面筋、容重)、农艺性状(株高)等 10 个指标进行分析评价。数据来源于各试验点 2 年区域试验的平均值。

表 1 供试小麦品种(系)基本情况

序号	名称	亲本组合	来源	习性
1	安科 1602	08ELT235/07YT2122	安徽	冬性
2	新麦 56	新麦 19/周麦 26	河南	冬性
3	中优 69	中麦 60//蔷薇麦/郑麦 366	北京	冬性
4	泛麦 56	周麦 18//商麦 402/周麦 18	河南	冬性
5	苑丰 13	周麦 16/众麦 1 号	河南	冬性
6	华皖麦 2 号	[9634AZ5/济麦 22(2)]F1A//02099	安徽	冬性
7	泛麦 51	郑麦 7698/周 16 变异株	河南	冬性
8	泛麦 57	周麦 18/Florida301	河南	冬性
9	商麦 186	丰麦 716/0516-5-2	河南	冬性
10	华皖麦 219	wheatcor/济麦 22	安徽	冬性
11	航麦 818	产 6/CA9722	北京	冬性
12	新麦 55	周麦 22/(矮抗 58/邯邯 6172)F4	河南	冬性
13	安麦 23	百农 207/中育 01089	河南	冬性
14	安麦 11	安 05-22/偃优 1 号	河南	冬性
15	苑丰 519	周麦 22/百农 69	河南	冬性
16	轮选 187	中麦 875/6367	北京	冬性
17	中麦 5215	中麦 895/周麦 22//中麦 895	河南	冬性
18	原泛 13	豫同 194/周麦 23M	河南	冬性
19	安农 179	济麦 22/三优 2018	安徽	冬性
20	GY16004	CA0740/中麦 895//CA0740	北京	冬性
21	新麦 40	周麦 22/花培 6 号	河南	冬性
22	泛农 13	豫麦 49/新麦 19//矮抗 58	河南	冬性
23	轮选 188	Madsen/济麦 22//周 16	北京	冬性
24	华皖麦 1 号	宿 9908/济麦 20	安徽	冬性
25	苑丰 12	小黑麦/周麦 18//93 中 6	河南	冬性
26	安麦 1350	中育 9307/周麦 22	河南	冬性
27	隆平麦 618	丰德存麦 1 号/中麦 895	安徽	春性
28	商麦 156	许农 5 号/矮抗 58	河南	冬性
29	涡麦 182	矮败阶梯杂交选育	安徽	冬性
30	泛麦 803	邯 6172/周麦 16	河南	冬性
31	轮选 146	郑麦 9023/周麦 18*2	北京	冬性
32	安科 1303	泰山 21 号/西农 1718	安徽	冬性
33	中麦 875	周麦 16/荔垦 4 号	河南	冬性
34	隆平 899	淮麦 18/隆平 0399	安徽	冬性
35	GY13028	08CA137/山农 2149	北京	冬性

1.2 试验方法

试验点选取均为具有代表性的地块,共 25 个(表 2),试验地土壤肥力均匀。完全随机区组设计,3 次重复,小区面积不小于 13.3 m²,不少于 6 行区种植,试验区周围设保护行。基本苗 270 万/hm²,适播期内播种,试验田管理符合国家小麦品种区域试验的标准。

表 2 试验地点分布

省份	序号	试验地点	土壤类型
陕西省	1	咸阳	瘠土
	2	渭南	黏壤土
	3	兴平	瘠土
	4	杨凌	瘠土
河南省	5	安阳	黏壤土
	6	新乡	两合土
	7	商丘	两合土
	8	辉县	黏壤土
	9	鹿邑	黏壤土
	10	驻马店	砂姜黑土
	11	周口	沙壤土
	12	平顶山	黏壤土
	13	漯河	沙壤土
安徽省	14	濉溪	砂姜黑土
	15	龙亢	砂姜黑土
	16	宿州	砂姜黑土
	17	亳州	黏壤
	18	界首	两合土
	19	蚌埠	砂姜黑土
	20	寿西湖	砂姜黑土
江苏省	21	徐州	黏壤土
	22	连云港	黏土
	23	淮阴	黄棕壤土
	24	宿迁	沙壤土
	25	睢宁	淤土

1.3 性状调查

在小麦成熟期量取小麦株高,调查有效穗数、穗粒数、千粒质量,全区实收计产。全区收获晾晒后取样,由国家小麦品质检测中心进行品质及容重测定。

1.4 数据分析

1.4.1 多样性分析 参照汤翠凤等的方法^[15]进行 Shannon-Wiener 多样性指数(H')评价,计算公式: $H' = -\sum P_i \ln P_i$,式中 P_i 为该性状指标第 i 个级别出现的频率。多样性指数分级方法为:首先计算供

试材料总平均值(X)和标准差(d);然后,将其划分为 10 个级别,从第 1 级 [$X_i < (X - 2d)$] 到第 10 级 [$X_i > (X + 2d)$],每 0.5 d 为一级,每一级别的频率用于多样性指数的计算。

1.4.2 综合分析评价 利用 Excel 2013 对 35 份小麦品种(系)的 10 个指标数据进行处理,运用主成分分析计算出各主成分的分值,参照胡标林等的方法^[16]计算各小麦品种(系)的综合得分,然后运用逐步回归分析法筛选出性状指标。其中数据分析

均利用 SPSS 22.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 遗传多样性分析

供试小麦各性状 2 年的平均值见表 3,品质类型分为强筋小麦(5.7%)、中强筋小麦(5.7%)、中筋小麦(88.6%)。由变异系数(CV)及多样性指数(H')(表 4)可知,供试小麦主要性状的变异系数 2.28%~66.41%,其中稳定时间的 CV 最大,容重

表 3 小麦品种(系)主要性状 2 年的平均值

品种(系)	产量 (kg/hm ²)	有效穗 (万/hm ²)	穗粒数 (粒)	千粒质量 (g)	株高 (cm)	容重 (g/L)	蛋白质 含量(%)	湿面筋 含量(%)	吸水率 (%)	稳定时间 (min)
安科 1602	8 463.0	618.8	35.2	44.4	89.3	826	14.15	30.4	61.5	10.65
新麦 56	8 483.3	582.0	35.3	46.6	82.7	810	14.25	36.0	59.5	4.15
中优 69	8 318.3	532.5	36.8	52.0	82.3	806	14.05	34.6	61.0	5.70
泛麦 56	8 274.0	558.8	34.9	47.8	82.1	799	14.00	34.1	58.5	4.00
苑丰 13	8 238.0	572.3	34.4	48.2	85.7	805	14.30	33.1	57.0	5.75
华皖麦 2 号	8 049.0	602.3	32.0	47.5	85.9	828	15.05	33.6	60.0	11.20
泛麦 51	8 223.8	570.8	35.6	47.2	82.7	818	13.95	31.8	57.0	5.65
泛麦 57	8 166.8	564.8	35.2	48.0	83.0	800	14.55	34.9	58.5	1.85
商麦 186	8 107.5	565.5	34.7	48.5	84.8	799	15.00	40.5	59.5	2.30
华皖麦 219	8 147.3	636.8	32.1	45.4	86.7	820	14.00	35.3	61.0	2.75
航麦 818	8 061.8	606.0	34.0	41.7	91.6	803	14.20	34.6	59.0	1.30
新麦 55	8 465.3	558.8	36.3	48.8	79.8	784	14.50	33.9	59.5	5.70
安麦 23	8 049.0	556.5	35.9	44.9	84.7	825	14.20	34.7	60.0	3.35
安麦 11	8 774.3	562.5	38.4	45.4	77.5	807	14.35	34.2	58.5	7.20
苑丰 519	8 530.5	591.0	35.1	46.2	76.6	829	14.65	33.8	58.0	4.75
轮选 187	8 622.0	603.8	35.5	46.5	79.8	828	13.10	33.1	63.0	2.20
中麦 5215	8 628.0	572.3	34.6	48.8	82.3	823	14.45	33.5	60.5	3.20
原泛 13	8 536.5	578.3	35.1	47.1	77.9	810	14.25	33.1	58.5	2.70
安农 179	8 620.5	606.0	34.8	45.6	84.4	831	14.55	34.5	58.0	2.30
GY16004	8 610.0	576.8	33.7	49.4	74.8	819	14.00	33.3	60.5	2.00
新麦 40	8 611.5	580.5	32.5	50.0	82.1	821	13.90	34.3	59.5	2.40
泛农 13	8 535.8	581.3	35.2	45.1	80.4	833	14.25	32.3	59.5	5.75
轮选 188	7 944.0	654.0	33.3	39.1	80.5	833	14.65	31.5	59.5	15.70
华皖麦 1 号	7 893.8	584.9	33.0	45.0	71.0	818	14.31	33.1	53.5	2.95
苑丰 12	7 920.8	570.8	36.0	42.2	71.0	806	15.05	35.6	57.0	4.75
安麦 1350	7 874.3	570.5	33.7	45.4	72.5	794	15.56	35.1	57.5	6.85
隆平麦 618	7 593.0	594.6	33.6	41.5	68.5	807	14.79	32.9	59.5	9.25
商麦 156	7 804.5	534.0	35.0	41.3	80.0	812	13.80	34.8	59.0	2.65
涡麦 182	8 719.5	556.5	33.0	42.8	80.0	809	14.04	36.8	56.6	2.95
泛麦 803	7 698.0	559.5	33.0	40.9	79.0	775	14.20	34.2	57.7	3.30
轮选 146	7 710.8	573.0	31.0	43.4	77.0	779	15.15	34.2	59.9	4.10
安科 1303	7 665.0	610.5	32.0	38.9	83.0	796	14.61	32.9	60.5	7.15
中麦 875	8 680.5	555.0	30.0	46.5	80.0	786	14.86	35.0	59.7	4.35
隆平 899	7 716.0	577.5	33.0	40.8	83.0	805	14.15	30.5	51.9	8.45
GY13028	7 713.8	555.0	34.0	42.3	79.0	803	14.57	35.1	60.9	5.20

表 4 小麦品种(系)主要性状的变异系数及多样性指数

性状	产量 (kg/hm ²)	有效穗 (万/hm ²)	穗粒数 (粒)	千粒质量 (g)	株高 (cm)	容重 (g/L)	蛋白质 含量(%)	湿面筋 含量(%)	吸水率 (%)	稳定时间 (min)
最小值	6 432.0	459.0	27.0	37.1	68.0	760	13.01	29.9	51.0	1.2
最大值	9 198.0	658.5	40.4	53.0	94.3	841	15.72	42.1	63.0	18.2
极差	2 766.0	199.5	13.4	15.9	26.3	81	2.71	12.2	12.0	17.0
平均值	8 212.8	579.2	34.2	45.3	80.6	809.7	14.40	34.0	58.9	5.0
标准差	659.06	40.29	2.47	3.54	5.22	18.46	0.58	2.23	2.31	3.31
变异系数 CV(%)	8.02	6.96	7.21	7.81	6.47	2.28	4.01	6.54	3.92	66.41
多样性指数 H'	1.256 6	1.569 6	1.564 6	1.638 1	1.617 3	1.629 9	1.353 4	1.636 8	1.546 1	1.028 3

的 CV 最小。10 个性状的 H' 变化范围 1.028 3 ~ 1.638 1, 平均 1.484 1, 其中千粒质量的多样性指数最高, 稳定时间的多样性指数最低。有效穗、穗粒数、千粒质量、株高、容重、湿面筋含量、吸水率等 7 个性状指标的多样性指数高于平均值, 表明 35 份小麦材料主要性状的遗传多样性受这 7 个性状指标的影响较大。综合来看, 稳定时间的多样性指数最小, 但其变异系数最大, 为 66.41%, 表明不同小麦品种(系)间稳定时间存在较大差异。

2.2 主要性状的通径分析

相关性分析表明, 各性状间均存在极显著正相关或负相关关系, 但相关性分析结果仅反映了各性状间的综合效果, 只显示两性状间的表型相关,

不能真正反映各性状间的直接或间接作用的大小。为进一步比较各性状对产量效应的直接贡献大小, 有必要在此基础上再进行通径分析, 进一步揭示各性状对产量作用的大小。从表 5 可以看出, 各性状对产量的直接作用大小存在差异, 从大到小依次为吸水率 > 湿面筋含量 > 有效穗 > 株高 > 蛋白质含量 > 穗粒数 > 稳定时间 > 容重 > 千粒质量。其中, 有效穗、株高、吸水率对产量表现为负直接作用。从间接作用的总和来看, 湿面筋含量对产量的间接作用最大, 有效穗对产量的间接作用最小, 有效穗、穗粒数、吸水率对产量为正间接作用, 千粒质量、株高、容重、蛋白质含量、湿面筋含量、稳定时间对产量为负间接作用。

表 5 小麦品种(系)各性状与产量间通径分析

因子	直接作用	间接作用									
		有效穗	穗粒数	千粒质量	株高	容重	蛋白质含量	湿面筋含量	吸水率	稳定时间	总和
有效穗	-0.188 2		0.058 8	0.035 0	-0.090 9	0.003 2	0.048 2	-0.146 9	0.131 2	0.006 8	0.045 4
穗粒数	0.134 4	-0.082 3		0.022 2	0.003 7	0.009 1	0.046 7	-0.064 3	0.194 0	-0.002 0	0.127 1
千粒质量	0.061 7	-0.106 8	0.048 4		-0.055 3	-0.002 7	0.027 3	-0.113 5	0.119 5	-0.008 1	-0.091 2
株高	-0.177 4	-0.096 4	-0.002 8	0.019 2		0.006 9	0.043 7	-0.083 2	-0.058 0	0.023 4	-0.147 2
容重	0.063 7	-0.009 4	0.019 3	-0.002 6	-0.019 1		0.014 3	-0.103 9	-0.019 0	0.024 8	-0.095 6
蛋白质含量	0.176 7	-0.051 3	0.035 5	0.009 5	-0.043 8	0.005 2		-0.120 7	0.090 4	0.022 9	-0.052 3
湿面筋含量	0.411 5	0.067 2	-0.021 0	-0.017 0	0.035 9	-0.016 1	-0.051 9		-0.163 7	0.002 4	-0.164 2
吸水率	-0.488 2	0.050 6	-0.053 4	-0.015 1	-0.021 1	0.002 5	-0.032 7	0.137 9		0.026 8	0.095 5
稳定时间	0.116 4	-0.010 9	-0.002 3	-0.004 3	-0.035 7	0.013 6	0.034 8	0.008 7	-0.112 6		-0.108 7

2.3 主要性状的聚类分析

利用 10 个主要性状对小麦品种(系)进行聚类分析(图 1), 在平方欧氏距离大约为 2 时, 分为 6 大类群, 结果见表 6。类群 I 包含安科 1602 等 6 份小麦品种(系), 占比 17.1%, 该类群的产量容重最高, 为 815 g/L, 产量、有效穗、穗粒数、蛋白质含量、吸水率处于偏上水平, 千粒质量、株高、湿面筋含量、稳

定时间处于中等水平。类群 II 包含中优 69 等 4 份小麦品种(系), 占比 11.4%, 该类群的穗粒数(35.41 个)、千粒质量(48.8 g)是最高的, 但有效穗(558.6 万/hm²)、蛋白质含量(14.08%)均最低。类群 III 包含华皖麦 2 号等 6 份小麦材料, 占比 17.1%, 该类群的有效穗(588.6 万/hm²)、株高(86.1 cm)、湿面筋含量(35.6%)、吸水率(59.7%)

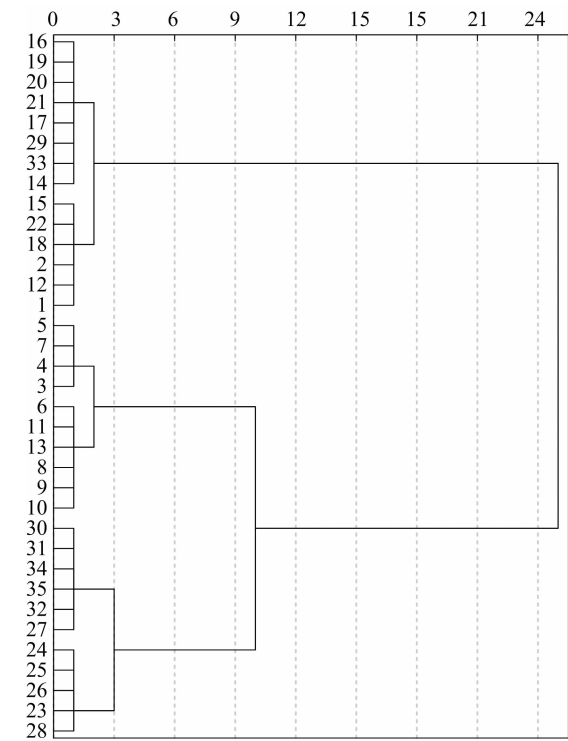


图1 基于 10 个主要性状对小麦品种(系)的聚类分析

是最高的。类群Ⅳ包含安麦 11 等 8 个品种,占比 22.9%,该类群产量最高,为 8 658.3 kg/hm²,容重最大,为 815 g/L,但稳定时间最短,为 3.33 min。类群Ⅴ包含轮选 188 等 5 份小麦材料,占比 14.3%,该类群蛋白质含量最高,为 14.67%,稳定时间最长,为 6.58 min,但株高(75.0 cm)和吸水率(57.29%)最小。类群Ⅵ包含隆平买 618 等 6 个小麦品种(系),占比 17.1%,该类群产量(7 682.8 kg/hm²)、穗粒数(32.76 个)、千粒质量(41.30 g)、容重(794 g/L)、湿面筋含量(33.28%)均最低。综合来看,各类群间产量表现为Ⅳ>Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ>Ⅴ>Ⅵ。从变异系数来看,在各类群的 10 个性状中,产量的变异系数最小,稳定时间的变异系数最大,表明新育成小麦品种(系)间产量水平趋于稳定,但品质性状中稳定时间存在较大差异。

2.4 主要性状的主成分分析与综合评价

2.4.1 主成分分析 对供试材料的 10 个性状指标进行主成分分析,提取出 4 个主成分(表 7),其贡献率分别为 26.067%、22.774%、12.551%、10.198%,

表 6 供试小麦品种(系)各类群主要性状的平均值与变异系数

类群	品种数 (个)	项目	产量 (kg/hm ²)	有效穗 (万/hm ²)	穗粒数 (粒)	千粒质量 (g)	株高 (cm)	容重 (g/L)	蛋白质 含量(%)	湿面筋 含量(%)	吸水率 (%)	稳定时间 (min)
Ⅰ	6	平均值	8 502.4	585.0	35.33	46.33	81.1	815	14.34	33.30	59.42	5.62
		CV(%)	0.42	3.36	1.31	3.36	5.59	2.25	1.33	5.60	2.02	48.28
Ⅱ	4	平均值	8 263.5	558.6	35.41	48.78	83.2	807	14.08	33.36	58.38	5.28
		CV(%)	0.51	3.29	2.88	4.49	2.02	0.99	1.10	3.69	3.23	16.13
Ⅲ	6	平均值	8 096.9	588.6	33.97	45.97	86.1	812	14.50	35.56	59.67	3.79
		CV(%)	0.64	5.34	4.79	5.59	3.43	1.63	3.06	6.99	1.47	97.52
Ⅳ	8	平均值	8 658.3	576.7	34.06	46.84	80.1	815	14.16	34.30	59.53	3.33
		CV(%)	0.70	3.41	7.18	5.11	3.72	1.80	3.77	3.44	3.23	52.28
Ⅴ	5	平均值	7 887.5	582.8	34.19	42.60	75.0	812	14.67	33.99	57.29	6.58
		CV(%)	0.68	7.55	3.69	6.13	6.43	1.78	4.61	4.95	4.11	81.57
Ⅵ	6	平均值	7 682.8	578.4	32.76	41.30	78.3	794	14.58	33.28	58.37	6.24
		CV(%)	0.62	3.65	3.34	3.69	6.83	1.75	2.57	4.87	5.79	38.64

累计贡献率 71.590%,大于 70%,能够反映出供试材料相关分析性状的主要信息。

第 1 主成分特征值 2.607,贡献率 26.067%。在该主成分的特征向量中,产量的特征向量值最大,其次是千粒质量,因此将该主成分称为产量生长因子。产量增加,能增加穗粒数、千粒质量、株高、容重、湿面筋含量和吸水率,但有效穗数、蛋白质含量、稳定时间降低,说明在各性状指标中,随着产量的提高,能明显改善主要农艺性状和湿面筋含

量、吸水率品质性状,但对蛋白质含量和稳定时间有一定的抑制作用。

第 2 主成分特征值 2.277,贡献率 22.774%。在其特征向量中,容重的特征向量值最大,其次是有有效穗,因此将第 2 主成分称为容重生长因子。容重增加,能促进产量和农艺性状的改善,但对千粒质量、蛋白质含量和湿面筋含量有一定的抑制作用。

第 3 主成分特征值 1.255,贡献率 12.551%。其中吸水率、穗粒数、株高和湿面筋含量的特征向

量值为正数且较高,产量、容重和稳定时间的特征向量值为负数,可将第 3 主成分称为吸水率生长因子。产量与稳定时间之间存在极显著的负相关关系,稳定时间的延长稍微制约产量的提高,这一特性从隆平麦 618(强筋)可以体现。

第 4 主成分特征值 1.020,贡献率 10.198%。蛋白质含量、稳定时间、千粒质量的特征向量值为正数且较大,可将第 4 主成分称为蛋白质含量生长因子。株高的特征向量值为负数且绝对值较大。

表 7 各主成分的特征值和得分系数

项目	性状	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 4 主成分
特征向量	产量	0.783	0.230	-0.028	0.199
	有效穗	-0.345	0.748	0.324	0.040
	穗粒数	0.527	0.071	0.517	0.249
	千粒质量	0.770	-0.109	0.029	0.328
	株高	0.299	0.388	0.497	-0.376
	容重	0.256	0.766	-0.140	0.134
	蛋白质含量	-0.541	-0.388	0.236	0.602
	湿面筋含量	0.297	-0.670	0.438	0.106
	吸水率	0.348	0.261	0.596	0.294
	稳定时间	-0.589	0.493	-0.106	0.435
特征值		2.607	2.277	1.255	1.020
方差百分率		26.067	22.774	12.551	10.198
累计贡献率		26.067	48.841	61.392	71.590
权重系数(%)		36.41	31.81	17.53	14.25

2.4.2 综合评价 参考胡标林等的方法^[16],计算出各供试材料的综合评价值(F 值)。先对 10 个性状的原始数值进行标准化处理,然后将 4 个主成分代入其中,分别求出各小麦材料的主成分得分(y)。

第 1 主成分方程为: $y_{1j} = 0.783x_{1j} - 0.345x_{2j} + 0.527x_{3j} + 0.770x_{4j} + 0.299x_{5j} + 0.256x_{6j} - 0.541x_{7j} + 0.297x_{8j} + 0.348x_{9j} - 0.589x_{10j}$;

第 2 主成分方程为: $y_{2j} = 0.230x_{1j} + 0.748x_{2j} + 0.071x_{3j} - 0.109x_{4j} + 0.388x_{5j} + 0.766x_{6j} - 0.388x_{7j} + 0.670x_{8j} + 0.261x_{9j} + 0.493x_{10j}$;

第 3 主成分方程为: $y_{3j} = -0.028x_{1j} + 0.324x_{2j} + 0.517x_{3j} + 0.029x_{4j} + 0.497x_{5j} - 0.140x_{6j} + 0.236x_{7j} + 0.438x_{8j} + 0.596x_{9j} - 0.106x_{10j}$;

第 4 主成分方程为: $y_{4j} = 0.199x_{1j} + 0.040x_{2j} + 0.249x_{3j} + 0.328x_{4j} - 0.376x_{5j} + 0.134x_{6j} + 0.602x_{7j} + 0.106x_{8j} + 0.294x_{9j} + 0.435x_{10j}$ 。

式中: x_1 代表产量; x_2 代表有效穗; x_3 代表穗粒数; x_4 代表千粒质量; x_5 代表株高; x_6 代表容重; x_7 代表

蛋白质含量; x_8 代表湿面筋含量; x_9 代表吸水率; x_{10} 代表稳定时间; j 代表 35 个小麦品种(系)。

运用隶属函数法对 4 个主成分的分值进行归一化处理,得出归一化值(u),结合主成分的权重系数(36.41%、31.81%、17.53%、14.25%),计算各小麦品种(系)的综合得分: $F = 0.3641u_1 + 0.3181u_2 + 0.1753u_3 + 0.1425u_4$, F 值越高,表示该品种的综合性状越优良。

由表 8 可知,综合得分(F 值)排名前 5 的为轮选 187、安科 1602、中优 69、新麦 40、中麦 5215,其中安科 1602 为中强筋小麦,另外 1 个中强筋小麦华皖麦 2 号排在第 11 位,强筋小麦品种轮选 188、隆平麦 618,分别排在 18 位和 29 位。排名后 5 位的小麦品种分别是轮选 146、泛麦 803、安麦 1350、隆平 899 和苑丰 12。

2.4.3 各性状综合评价指标的筛选 利用综合得分(F 值)和主要性状构建最优回归方程,筛选小麦品种(系)综合性状评价指标。以 F 值为因变量,以 10 个主要性状为自变量,运用逐步回归分析法,得出最优回归方程 $y = -0.608 + 0.018x_3 + 0.017x_4 + 0.007x_5 + 0.005x_6 - 0.108x_7 + 0.027x_9 + 0.006x_{10}$ 。式中: x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 、 x_7 、 x_9 、 x_{10} 分别代表穗粒数、千粒质量、株高、容重、蛋白质、吸水率和稳定时间 7 个性状,方程系数 R^2 约为 1.0,拟合度较好,说明这 7 个性状自变量几乎可以全部决定 F 值, F 值为 17 670.592,方程极显著。从回归方程可以看出,在 10 个主要性状中,穗粒数、千粒质量、株高、容重、蛋白质、吸水率、稳定时间 7 个性状对小麦新品种(系)综合影响明显,表明其可作为小麦新品种(系)综合判定评价的指标依据。

3 结论与讨论

3.1 黄淮麦区新育成小麦品种(系)主要性状的遗传多样性

小麦种质资源是育种研究的重要物质来源,种质资源的遗传多样性是作物遗传改良的前提和基础^[17-18],遗传变异越丰富,育成品种的适应性越广^[19-21]。本研究结果表明,黄淮麦区近年来新育成小麦品种(系)的稳定时间变异系数最大(66.41%),容重变异系数最小(2.28%),其他性状的变异系数为 3.92%~8.02%,这与丁明亮等对云南省小麦品质性状的研究结果^[22]相似,也说明黄淮麦区近年来新育成小麦品种(系)稳定时间的遗传基

表 8 小麦品种(系)的主成分得分(y)、归一化值(u)和综合评价值(F)

品种(系)	y_1	y_2	y_3	y_4	u_1	u_2	u_3	u_4	F 值	排名
安科 1602	1.18	2.00	1.50	1.03	0.57	0.98	0.93	0.84	0.80	2
新麦 56	1.52	1.05	1.27	0.82	0.78	0.37	0.67	0.58	0.60	13
中优 69	1.86	0.97	1.56	0.93	0.99	0.32	1.00	0.72	0.74	3
泛麦 56	1.48	0.94	1.18	0.73	0.75	0.30	0.56	0.47	0.54	16
苑丰 13	1.32	1.12	1.19	0.67	0.65	0.42	0.57	0.39	0.53	19
华皖麦 2 号	0.92	1.52	1.51	0.81	0.40	0.67	0.94	0.57	0.61	11
泛麦 51	1.36	1.33	1.25	0.74	0.68	0.55	0.64	0.48	0.61	12
泛麦 57	1.46	0.79	1.10	0.67	0.74	0.21	0.48	0.39	0.47	22
商麦 186	1.53	0.47	1.25	0.73	0.78	0.00	0.64	0.47	0.46	23
华皖麦 219	1.34	1.44	1.22	0.94	0.67	0.62	0.61	0.73	0.65	8
航麦 818	1.21	1.20	0.91	0.80	0.58	0.47	0.25	0.55	0.48	21
新麦 55	1.43	0.79	1.21	0.66	0.72	0.20	0.60	0.38	0.49	20
安麦 23	1.47	1.18	1.30	0.92	0.75	0.46	0.70	0.70	0.64	9
安麦 11	1.43	1.08	1.32	0.74	0.72	0.39	0.72	0.48	0.58	14
苑丰 519	1.28	1.23	1.27	0.69	0.63	0.49	0.67	0.42	0.56	15
轮选 187	1.88	1.62	1.44	1.16	1.00	0.74	0.87	1.00	0.89	1
中麦 5215	1.65	1.23	1.35	0.85	0.86	0.49	0.76	0.62	0.69	5
原泛 13	1.45	1.06	1.14	0.68	0.74	0.38	0.52	0.41	0.54	17
安农 179	1.46	1.34	1.19	0.77	0.74	0.56	0.58	0.52	0.62	10
GY16004	1.66	1.13	1.30	0.81	0.87	0.42	0.70	0.57	0.65	7
新麦 40	1.73	1.21	1.31	0.85	0.91	0.47	0.71	0.61	0.69	4
泛农 13	1.36	1.50	1.35	0.86	0.68	0.66	0.76	0.63	0.68	6
轮选 188	0.26	2.03	1.41	0.81	0.00	1.00	0.83	0.57	0.54	18
华皖麦 1 号	0.86	0.91	0.88	0.36	0.37	0.28	0.22	0.01	0.26	30
苑丰 12	0.79	0.66	1.00	0.46	0.33	0.12	0.35	0.13	0.24	31
安麦 1350	0.64	0.55	1.03	0.36	0.24	0.05	0.39	0.01	0.17	33
隆平麦 618	0.40	1.06	1.13	0.56	0.09	0.38	0.50	0.26	0.28	29
商麦 156	1.22	0.91	1.04	0.80	0.59	0.28	0.41	0.56	0.46	24
涡麦 182	1.34	0.83	0.97	0.63	0.67	0.23	0.32	0.35	0.42	25
泛麦 803	0.76	0.59	0.69	0.49	0.31	0.08	0.00	0.17	0.16	34
轮选 146	0.62	0.55	0.80	0.44	0.22	0.05	0.13	0.11	0.14	35
安科 1303	0.48	1.23	0.92	0.69	0.13	0.49	0.27	0.42	0.31	28
中麦 875	1.15	0.65	0.96	0.53	0.55	0.12	0.31	0.23	0.32	27
隆平 899	0.44	1.23	0.77	0.35	0.11	0.49	0.09	0.00	0.21	32
GY13028	0.94	0.86	1.12	0.75	0.42	0.25	0.49	0.49	0.39	26

础丰富,具有较大的改良空间,而容重遗传基础相对狭窄,改良空间小。35 份供试小麦材料的遗传多样性指数(H')为 1.028 3~1.638 1,平均为 1.484 1,其中千粒质量的 H' 最高,稳定时间的 H' 最低。有效穗、穗粒数、千粒质量、株高、容重、湿面筋含量、吸水率等 7 个性状指标的 H' 高于平均值,表明黄淮海区小麦主要性状的遗传多样性受这 7 个指标的影响较大。

3.2 黄淮海区小麦生产现状及改良策略

根据农业供给侧结构性改革的要求,小麦育种应由追求产量转向高产、优质、专用发展^[23]。本研究通过对近 5 年来黄淮海区选育的 35 份小麦材料主要性状的分析得知,强筋小麦、中强筋小麦、中筋小麦分别占育成品种(系)5.7%、5.7%、88.6%,说明黄淮海区近年来新选育的小麦绝大多数为中筋品种,而强筋和中强筋等优质专用型小麦品种(系)

较少。本研究运用逐步回归分析,确定黄淮麦区新育成小麦品种(系)综合表现的评价指标为穗粒数、千粒质量、株高、容重、蛋白质、吸水率和稳定时间等 7 个性状,结合聚类分析结果,品种(系)间稳定时间差异较大,这是影响优质专用小麦生产的主要原因,应作为以后育种工作中改良的重点。这与曹颖妮等认为,蛋白质质量是改良重点^[24]有所不同,其原因可能与不同育种阶段的育种目标有关,前者是对 2016—2021 年小麦品种(系)的研究,后者是对 2006—2016 年小麦品种(系)的研究。针对现阶段黄淮麦区优质专用型小麦相对缺乏的现状,优质品种的种质来源狭窄的困境(多为小偃号的后代)^[25],在保证产量的前提下,应采取引种利用与自我选育相结合的育种策略,对本研究筛选出的轮选 187、安科 1602、中优 69 等综合性状优良的品种加大利用,以选育出更多适合本麦区推广的优良小麦品种,满足市场需求。

黄淮麦区新选育的 35 份小麦新品种(系)10 个主要性状的平均多样性指数为 1.484 1,千粒质量 H' 最大,稳定时间 H' 最小。供试材料中强筋、中强筋品种(系)占比低,稳定时间的 CV 最大(66.41%),具有较大的改良空间。主成分分析可从主要性状中提取出 4 个主成分,解释 71.59% 的信息。轮选 187、安科 1602、中优 69、新麦 40、中麦 5215 综合评价值(F 值)较高,可作为育种亲本使用。穗粒数、千粒质量、株高、容重、蛋白质、吸水率、稳定时间等 7 个性状可以作为黄淮麦区小麦新品种(系)综合评价指标。

参考文献:

- [1]何中虎,庄巧生,程顺和,等. 中国小麦产业发展与科技进步[J]. 农学报,2018,8(1):99-106.
- [2]李振声. 我国小麦育种的回顾与展望[J]. 中国农业科技导报,2010,12(2):1-4.
- [3]张勇,郝元峰,张艳,等. 小麦营养和健康品质研究进展[J]. 中国农业科学,2016,49(22):4284-4298.
- [4]马翔宇. 引进小麦种质资源部分农艺性状的综合分析与评价[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [5]张露荷,黄华梨,张广忠,等. 基于主成分分析法的鲜食枣品种综合评价[J]. 南方农业学报,2018,49(4):727-734.
- [6]郭凤芝,林坤,葛振勇,等. 2001—2017 年山东省审定小麦高产品种农艺、产量和品质性状演变分析[J]. 山东农业科学,2019,51(3):16-23.
- [7]杜晓宇,李楠楠,邹少奎,等. 黄淮南片新育成小麦品种(系)主要性状的综合性状分析[J]. 作物杂志,2021(4):38-45.
- [8]王汉霞,单福华,田立平,等. 2006—2018 年北京市审定冬小麦品种的综合性状分析[J]. 麦类作物学报,2020,40(7):789-795.
- [9]李晓荣,张中平,孙永海,等. 西南麦区 96 份小麦育种材料重要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 南方农业学报,2021,52(9):2358-2368.
- [10]许娜丽,王新华,马冬花,等. 251 份小麦种质资源的主要农艺与品质性状遗传多样性分析[J]. 南方农业学报,2021,52(9):2404-2416.
- [11]孙彩玲,曲辉英,吕建华,等. 基于主成分和聚类分析的山东省区试小麦品种(系)品质的综合评价[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2014,45(4):545-551,558.
- [12]雷雄,游明鸿,白史旦,等. 川西北高原 50 份燕麦种质农艺性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 草业学报,2020,29(7):131-142.
- [13]张琦,魏臻武,闫天芳. 江淮地区燕麦籽粒产量与农艺性状的相关性及通径分析[J]. 作物杂志,2021(5):146-152.
- [14]蔡金华,杨阳,单延博,等. 35 份小麦种质资源品质性状的主成分和聚类分析[J]. 浙江农业科学,2017,58(5):758-760,763.
- [15]汤翠凤,张恩来,董超,等. 云南新收集水稻地方品种的表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2018,19(6):1106-1116.
- [16]胡标林,万勇,李霞,等. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报,2012,38(5):829-839.
- [17]程西永. 不同区域小麦种质资源遗传多样性研究[D]. 郑州:河南农业大学,2010.
- [18]Landjeva S, Korzun V, Ganeva G. Evaluation of genetic diversity among Bulgarian winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties during the period 1925—2003 using microsatellites[J]. Genetic Resources and Crop Evolution,2006,53(8):1605-1614.
- [19]曹廷杰. 河南省小麦新品种(系)遗传解析[D]. 北京:中国农业大学,2015.
- [20]陈晓杰,张建伟,杨保安,等. 中国冬小麦微核心种质遗传多样性分析[J]. 河南农业科学,2015,44(4):14-20.
- [21]蔡瑾,杨继书,翟文玲,等. 长江中下游麦区小麦低多酚氧化酶活性种质的初步鉴定[J]. 江苏农业学报,2021,37(3):545-554.
- [22]丁明亮,林丽萍,李明菊,等. 云南育成小麦品种(系)品质性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 南方农业学报,2020,51(2):255-266.
- [23]丁明亮,赵佳佳,周国雁,等. 云南省普通小麦育成品种(系)高分子量麦谷蛋白亚基组成分析[J]. 麦类作物学报,2018,38(11):1309-1319.
- [24]曹颖妮,余大杰,赵光华,等. 2006—2016 年河南省小麦区域试验品种(系)的品质性状分析[J]. 麦类作物学报,2018,38(8):893-899.
- [25]朱保磊,谢科军,薛辉,等. 河南省小麦品种(系)的品质状况及演变规律[J]. 麦类作物学报,2017,37(5):623-631.