

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.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.18.016

# 基于14个性状的118份小麦遗传多样性分析及综合评价

张会芳<sup>1</sup>,冯丽丽<sup>1</sup>,段俊枝<sup>1</sup>,刘桂珍<sup>2</sup>,刘海礁<sup>1</sup>,齐学礼<sup>3</sup>,燕照玲<sup>1</sup>,卓文飞<sup>1</sup>,陈海燕<sup>1</sup>,  
齐红志<sup>1</sup>,杨翠苹<sup>1</sup>,王楠<sup>1</sup>

(1.河南省农业科学院农业经济与信息研究所,河南郑州450002;2.河南省种子管理站,河南郑州450003;  
3.河南省作物分子育种研究院,河南郑州450003)

**摘要:**为深入了解和利用河南省新育成小麦品种,以新审定通过的118份小麦品种为材料,基于14个农艺及品质性状进行Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )计算、相关分析、聚类分析和主成分分析,对118份小麦进行聚类分析和综合评价。结果表明,稳定时间、拉伸阻力、拉伸面积等性状在118份小麦品种间存在较大差异,变异系数分别为96.81%、59.79%、58.65%。14个性状的 $H'$ 介于0.40~1.65,平均为0.98。其中产量的 $H'$ 最大,湿面筋含量的 $H'$ 最小。14个性状间存在不同程度的相关性,其中产量与穗数、千粒质量呈极显著正相关,蛋白质含量与湿面筋含量、稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力呈极显著正相关。在平方欧氏距离15.0处,118份小麦被聚成六大类。不同类群小麦品种数量差异较大,类群I中有90个品种,占比76.3%,表明遗传距离较小,未来育种应注意突破。在主成分评价综合得分方面,表现出以下规律:强筋>中强筋>中筋。基于14个性状的小麦聚类结果与主成分评价结果具有一致性与互补性,能客观、全面地评价品种。基于聚类分析、主成分评价,类群IV综合得分较高,囊括了全部3个强筋品种以及除郑麦816以外其余7个中强筋品种,整体表现为优质高产强筋、中强筋,该类群小麦品种发展应用前景好。

**关键词:**河南省;小麦新品种;聚类分析;多样性指数;综合评价;主成分分析

**中图分类号:**S512.102.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)18-0099-10

种业是国家战略性产业,是农业的“芯片”。近几十年来,通过品种改良等手段使小麦单位面积产量平均逐年提高约0.9%<sup>[1-2]</sup>。河南省粮食总产目标,主要应通过提高单位面积产量来实现<sup>[3-4]</sup>,而种子是单位面积产量提高的关键所在。随着品种审

定程序政策的放宽,国家和省级区试扩容、试验进程加速(同步生产试验),新品种数量激增<sup>[5-7]</sup>。仅2019年,国家授予植物新品种权就达2749个,位居世界第一<sup>[5]</sup>。对官方数据进行统计后发现,2000—2009年省审小麦品种121个,平均12个/年;2010—2017年省审小麦品种138个,平均17个/年;2018—2020年省审小麦品种178个,平均59个/年;2021年省审小麦品种数量达到了历史新高,为118个,几乎是2000—2009年10年的总和<sup>[6]</sup>。审定品种数量井喷,显著提升了种业发展的市场竞争力,但也导致了选种用种难的问题<sup>[5,7]</sup>。基于小

收稿日期:2022-04-21

基金项目:河南省软科学研究计划(编号:212400410282);国家小麦产业技术体系专项(编号:CARS-03-7);河南省农业科学院自主创新专项(编号:2021ZC57,2021ZC56)。

作者简介:张会芳(1977—),女,河南临颍人,博士,副研究员,主要从事农业科技信息研究与服务。E-mail:hfh2005@126.com。

[14]陈四龙,程增书,宋亚辉,等. 高产高油花生品种的光合与物质生产特征[J]. 作物学报,2019,45(2):276-288.

[15]赵慧玲,周希萌,张鲲,等. 花生重要农艺性状QTL/基因定位研究进展[J]. 花生学报,2021,50(1):19-32.

[16]薛云云,田跃霞,张鑫,等. 72份山西花生资源主要农艺和品质性状分析[J]. 花生学报,2020,49(4):31-37.

[17]刘华,张新友,韩锁义,等. 花生主茎高、侧枝长的遗传分析及QTL检测[J]. 中国油料作物学报,2013,35(5):508-514.

[18]陈婷婷,王苗苗,黄杨,等. 花生种质农艺、产量和品质性状的综合评价[J]. 花生学报,2020,49(4):38-46.

[19]崔凤高,胡晓辉,苗华荣,等. 花生百果质量和百仁质量性状的QTL定位分析[J]. 中国油料作物学报,2021,43(6):1025-1030.

[20]郭建斌,贾朝阳,荆建国,等. 花生主要品种出仁率和百果重的生态稳定性分析[J]. 中国油料作物学报,2019,41(2):186-191.

[21]孟鑫浩,张靖男,崔顺立,等. 花生荚果与种子相关性状QTL定位及与环境互作分析[J]. 作物学报,2021,47(10):1874-1890.

[22]张新友,韩锁义,徐静,等. 花生蛋白质含量的主基因加多基因遗传分析[J]. 中国油料作物学报,2011,33(2):118-122.

麦性状对其进行多样性分析、有效分类及客观评价,是合理选种用种的前提,也是增强育种目标的关键。但小麦基因组数量庞大,多个性状间紧密关联,给品种的客观评价带来了较大困难。

近年来,基于主成分分析和聚类分析的研究方法将多个初始指标有效整合成新的综合成分,能更好地揭示性状间的关系,在作物耐盐性、抗旱性、抗病性、抗倒性、加工品质、品种评价、品种选育等方面的应用越来越广泛<sup>[8-14]</sup>。如刘彤彤等采用主成分分析和聚类分析相结合的方法,对山西省主推的 40 个小麦品种进行芽期及苗期耐盐性综合评价,筛选出 9 个芽期耐盐型品种<sup>[9]</sup>;陈卫国等利用主成分分析、聚类分析等对 211 份小麦品种资源进行抗旱评价,鉴定出 8 份高度抗旱种质<sup>[10]</sup>;苏亚蕊等利用主成分分析和聚类分析法对 147 份我国育成的主推小麦品种及新育成的小麦品种(系)抗倒性进行综合评价,发现 70 份材料的综合抗倒性优良,其中部分新育成小麦材料抗倒性表现优异,可作为小麦强秆抗倒改良育种资源使用<sup>[11]</sup>;刘孟宜等采用相关性

和主成分分析方法分析小麦品种品质特性对韧性饼干品质的影响,选出中麦 155、婴泊 700 和京花 11 作为最适小麦品种<sup>[13]</sup>;宋晓等利用主成分分析法综合评价不同基因型小麦品种对氮素响应的差异,根据综合评价得分筛选出西农 979、许科 168、中育 1211 等一批氮高效小麦品种<sup>[14]</sup>。鉴于此,对 2021 年河南省审定通过的 118 份小麦新品种基于 14 个性状进行聚类分析及综合评价,以期小麦选种用种、组配亲本、增强育种目标提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

材料为 2019—2020 年度河南省冬水组区试通过审定的 118 份小麦品种(表 1),统计各品种的生育期、株高、穗数、穗粒数、千粒质量、产量、基本苗、蛋白质含量、容重、湿面筋含量、吸水量、稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力共 14 个农艺及品质性状。数据来源于河南省种子管理站编著的《河南省小麦品种统一试验总结》。

表 1 118 份小麦新品种基本信息

编号	品种	亲本组合	类型	编号	品种	亲本组合	类型
1	郑麦 163	偃 9998/矮抗 58//郑麦 366	半冬性	60	郑麦 817	新 9944/矮抗 58	半冬性
2	偃丰 28	周麦 22/偃丰 21	半冬性	61	郑麦 819	偃展 4110/扬麦 13	弱春性
3	富麦 708	豫教 5 号/周麦 16//周麦 22	半冬性	62	森科 266	金丰 3 号/豫麦 18//周麦 22	弱春性
4	温麦 186	兰考 906/周麦 16	半冬性	63	春晓 186	百农 AK58/济麦 22//周麦 16	半冬性
5	周育麦 6 号	开麦 18/周麦 16	半冬性	64	濮兴 11 号	濮兴 5 号/郑麦 366	半冬性
6	中育 1702	周麦 26 号/08 漂 33	半冬性	65	天麦 178	郑麦 366/百农 AK58//周麦 22 号	半冬性
7	农麦 51	郑麦 7698/豫教 5 号//豫教 5 号	半冬性	66	兆丰 18	周麦 22 号//花培 6 号/豫麦 18	半冬性
8	军麦 518	百农 AK58/周麦 22	半冬性	67	百农 1316	周麦 13/yym	半冬性
9	偃丰 29	周麦 22/烟农 19	半冬性	68	许麦 1706	豫研 11/08CA095	半冬性
10	温麦 32	周麦 18/豫展 9914	半冬性	69	许麦 1708	郑麦 1410/周麦 22	半冬性
11	温麦 758	7249/2125	半冬性	70	安麦 13	中育 9307/周麦 22	半冬性
12	偃毫 369	洛麦 21/周麦 16	半冬性	71	安麦 22	汝麦 0319/郑麦 7698	半冬性
13	泰禾 896	周麦 32/华育 198//存麦 2 号	半冬性	72	昌麦 21	浚麦 K8 号/中麦 895	半冬性
14	濮大 1030	豫麦 49/百农 64//濮职麦 1 号	半冬性	73	宛 1390	周麦 16/06A05	半冬性
15	中涡麦 10 号	豫教 5 号//06T68/周麦 22	半冬性	74	新麦 28	新麦 18/陕优 225	半冬性
16	先圣 178	矮败小麦轮选群体	半冬性	75	郑麦 9189	周麦 22/郑麦 0856	半冬性
17	英茂 1 号	周麦 22/西农 979	半冬性	76	周麦 40 号	周麦 22/周麦 19	半冬性
18	温裕 3 号	周麦 22/新麦 16	半冬性	77	存麦 608	周麦 22/南农 01P52	弱春性
19	濮兴 10 号	濮兴 2 号/郑麦 366	半冬性	78	泛农 11	石麦 12/周麦 8//周麦 24	半冬性
20	晨博 3518	周麦 26/周麦 16	半冬性	79	浚麦 8105	浚麦 K8/浚麦 55	半冬性
21	科麦 1609	许科 1 号/矮抗 58//偃展 4110	半冬性	80	来麦 201	矮抗 58/周麦 18//洛麦 21	半冬性
22	偃科 068	周麦 22//偃科 956/温 2540	弱春性	81	来麦 205	花培 6 号/良星 99	弱春性
23	驻麦 256	04 中 36//周 94117/04 中 36	弱春性	82	神舟麦 216	矮抗 58/洛麦 21	半冬性
24	宛麦 1326	宛 110160/开麦 21	弱春性	83	光泰 668	宏展 6818/豫农 982//豫教 5 号	半冬性

表 1(续)

编号	品种	亲本组合	类型	编号	品种	亲本组合	类型
25	硕麦 895	金丰 3 号/周麦 22	弱春性	84	金黎神华 608	周 16/提葡	半冬性
26	丰皇 619	百农 AK58/周麦 23	半冬性	85	禾麦 35	矮抗 58//洛麦 21/周麦 18	半冬性
27	福满多 1 号	西农 979/偃大 428	弱春性	86	枣乡 208	矮抗 58/周麦 13	半冬性
28	泛麦 37	周麦 18/泛麦 5 号	弱春性	87	阳光 728	漯麦 4 号/周麦 16//漯麦 4 号	半冬性
29	天民 118	扬麦 11/8059(Y18/欧引 008)	弱春性	88	豫园 7 号	周麦 18/03 繁 20-0-12-3-0	半冬性
30	郑农 4108	兰考 21-7/周麦 16	弱春性	89	卓麦 20	周麦 16/豫农 982	弱春性
31	郑麦 103	周 13/D8904-7-1//郑 004	半冬性	90	华冠 1 号	周麦 16/矮抗 58	半冬性
32	宛麦 788	豫麦 54/周麦 16	半冬性	91	滑昌麦 26	济麦 22//中矮 55/周麦 16	半冬性
33	绿源麦 8 号	周麦 20/豫农 010	弱春性	92	颖麦 1 号	1316/百农 64	半冬性
34	洛早 30	百农 AK58/洛早 6 号	半冬性	93	科大 111	淮麦 18 变异株系统选育	半冬性
35	农早 101	周麦 22/TaL//周麦 16/河科大 9612	半冬性	94	平麦 20	中育 01089/豫农 040-3	半冬性
36	温麦 30	周 99343/矮抗 58	半冬性	95	豫农 806	豫农 211/周麦 13	半冬性
37	宇麦 198	濮麦 9 号/周麦 16	半冬性	96	许麦 9 号	花培 3 号//百农 64/98-27//周麦 16	半冬性
38	科兴 3302	新麦 26/1Ax1G330E//新麦 26	半冬性	97	金粒 11	JL501/郑麦 7698	半冬性
39	稷麦 209	西农 979/YH0733	半冬性	98	永优麦 628	烟农 19-1/郑麦 991-2	半冬性
40	豫农 908	DH(新麦 26 号/周麦 23 号)	半冬性	99	永优麦 8838	烟农 19-6/郑麦 991-2	半冬性
41	郑麦 816	周麦 32/SP 郑麦 366//周麦 30	半冬性	100	豫冠 369	郑麦 366/豫农 202	半冬性
42	智优 105	精白麦 1 号/12(420)-2-14B	半冬性	101	轮选 177	矮败小麦轮回选择	半冬性
43	新选 979	西农 979/新麦 26 矮系	半冬性	102	轮选 178	矮败小麦轮回选择	半冬性
44	轮选 49	烟农 19/师栾 02-1	半冬性	103	轮选 121	矮败小麦轮回选择	弱春性
45	中麦 255	豫麦 49/Sunstate	弱春性	104	视察 168	矮败小麦轮回选择	半冬性
46	怀川 709	豫麦 34 号/西农 979	半冬性	105	创星麦 102	周麦 23/周麦 22//周麦 24	半冬性
47	豫农 902	DH(宁麦 13 号/周麦 22 号)F2	弱春性	106	开麦 1606	开麦 26/70583	半冬性
48	郑麦 179	矮抗 58/郑麦 004	半冬性	107	粟丰 5 号	粟丰 0526/西农 4211	半冬性
49	永黑麦 1 号	漯珍一号/周麦 22	半冬性	108	濮麦 1128	中育 9307/周麦 98165	半冬性
50	豫州黑麦 1 号	济麦 22/中普黑麦 1 号//济麦 22	半冬性	109	温麦 169	周麦 16/豫麦 41//小偃 93166	半冬性
51	豫州黑麦 2 号	济麦 22/紫优 21//济麦 22	半冬性	110	豫金麦 017	周麦 16/矮抗 58	半冬性
52	天谷红宝 5 号	旱优 118/野生一粒小麦//黑麦 TGH 8 号	半冬性	111	中育 1628	良星 66/漯 6082	半冬性
53	黑冠 1 号	豫农 202/漯珍 1 号	半冬性	112	周麦 35 号	藁麦 8901/矮抗 58	半冬性
54	盛彩麦 2 号	核质不育-7/星彩-3	半冬性	113	有孚 1 号	浚麦 35/衡观 35	半冬性
55	灵绿麦 2 号	灵绿麦 1 号/中普绿麦 1 号	半冬性	114	新育 178	周麦 16/漯麦 9 号	半冬性
56	灵黑麦 3 号	中普黑麦 1 号/灵黑麦 1 号//中普绿麦 1 号	弱春性	115	豫丰 1618	淮麦 16/周麦 18	半冬性
57	佳黑麦 1 号	周黑麦 1 号/中新 78	半冬性	116	瑞星麦 625	周麦 16/RX989//周麦 22	半冬性
58	灵黑麦 2 号	灵黑麦 1 号/中普黑麦 1 号	半冬性	117	南海 966	偃展 4110/周麦 10	半冬性
59	豫农 901	DH(生选 6 号/石矮 1 号)F2	半冬性	118	南海 969	郑麦 9023/百农 64//郑麦 9023	弱春性

## 1.2 统计分析

利用 Excel 2013 对数据进行初步整理。参照唐如玉等的方法<sup>[15]</sup>计算 Shannon - Wiener 多样性指数 ( $H'$ )。利用 SPSS 26.0 对 14 个性状进行相关性分析,并对原始数据进行标准化,采用组间联结 (between - groups linkage) 法,计算平方欧氏距离 (square euclidean distance),进行系统聚类。参考武松等的主成分分析综合评价 ( $D$ ) 的  $T$  分数转化法<sup>[16]</sup>,将 0.6 作为新的综合评价数据集中数据的均

值对  $D$  值进行转换,改进后的主成分综合评价得分 ( $D'$ ) =  $0.6 + 0.1D$ ,摒弃负值,使  $D'$  介于 0 ~ 1,更符合习惯认知。

## 2 结果与分析

### 2.1 118 份小麦新品种基本情况统计分析

由表 1 可知,118 份小麦中,半冬性小麦 99 个,占比为 83.9%;弱春性小麦 19 个,占比为 16.1%。118 份小麦中,适宜河南省(南部长江中下游麦区除

外)高中水肥地块早中茬地种植的小麦最多,为91个,占比77.1%;适宜河南省高中水肥地块早中茬地种植的小麦1个,占比0.8%;适宜河南省高中水肥地块中晚茬地种植的小麦1个,占比0.8%;适宜河南省南部长江中下游麦区种植的小麦8个,占比6.8%;适宜河南省丘陵及早肥地种植的小麦4个,占比3.4%;适宜作为特殊用途(酿酒)类型品种以订单农业形式在河南省南部长江中下游麦区种植的小麦3个,占比2.5%;适宜作为特殊用途(彩色麦)类型品种以订单农业形式在河南省(南部长江中下游麦区除外)高中水肥地块早中茬地种植的小麦10个,占比8.5%。

## 2.2 118份小麦新品种主要性状多样性分析

由表2可知,118份小麦的14个性状中,稳定

时间、拉伸阻力、拉伸面积3个性状间存在较大差异,稳定时间的变异系数最大,为96.81%;拉伸阻力、拉伸面积2个性状的变异系数紧随其后,分别为59.79%、58.65%。生育期、容重不同品种间差异较小,变异系数分别为2.17%、2.84%。其他9个性状变异系数比较集中,介于4.93%~10.58%。14个性状的多样性指数( $H'$ )介于0.40~1.65,平均为0.98。 $H'$ 大于平均值的性状有6个,分别是产量、拉伸阻力、容重、千粒质量、拉伸面积、株高,表明育成的118份小麦的性状遗传多样性受这6个性状遗传变异的影响较大。其中,产量的 $H'$ 最大,为1.65;其次是拉伸阻力,为1.54;再次为容重和千粒质量,其 $H'$ 分别为1.28、1.23;湿面筋含量的 $H'$ 最小,为0.40。

表2 小麦新品种14个性状的多样性分析

性状	变化范围	均值	标准差	方差	变异系数 (%)	$H'$
生育期(d)	209.2~232.0	224.0	4.869	23.711	2.17	0.75
株高(cm)	68.9~99.2	78.4	4.205	17.681	5.36	1.00
穗数(万个/hm <sup>2</sup> )	32.3~45.5	38.8	2.528	6.391	6.51	0.86
穗粒数(粒/穗)	30.0~49.5	34.6	2.331	5.434	6.74	0.56
千粒质量(g)	34.1~51.8	45.0	3.463	11.991	7.70	1.23
产量(kg/hm <sup>2</sup> )	5 278.5~9 189.0	7 926.4	838.632	703 303.696	10.58	1.65
基本苗(万株/hm <sup>2</sup> )	225.0~345.0	277.8	22.848	522.050	8.23	0.50
蛋白质含量(%)	12.3~16.6	14.5	0.905	0.820	6.24	0.89
容重(g/L)	697.0~839.0	790.0	22.420	502.654	2.84	1.28
湿面筋含量(%)	23.1~35.9	30.5	2.385	5.687	7.81	0.40
吸水量(mL/100 g)	51.4~65.8	59.1	2.913	8.487	4.93	0.95
稳定时间(min)	1.1~29.6	4.9	4.763	22.689	96.81	0.94
拉伸面积(cm <sup>2</sup> )	11.0~175.0	48.4	28.362	804.389	58.65	1.14
拉伸阻力(EU)	67.0~691.0	225.1	134.580	18 111.644	59.79	1.54

## 2.3 118份小麦新品种主要性状的相关性分析

由表3可知,118份小麦新品种14个性状间存在不同程度的相关性。生育期与穗数呈显著正相关,与容重呈极显著正相关。穗数与产量、容重均呈极显著正相关。千粒质量与产量呈极显著正相关。蛋白质含量与吸水量呈显著正相关,与湿面筋含量、稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力均呈极显著正相关。湿面筋含量与吸水量呈极显著正相关。吸水量与稳定时间呈极显著正相关,与拉伸阻力呈正相关。稳定时间与拉伸面积、拉伸阻力均呈极显著正相关。拉伸面积与拉伸阻力呈极显著正相关。较多性状间存在或大或小的相关性,说明不同性状间

存在较大重叠信息。为消除重复信息带来的影响,需要进一步对各性状进行综合分析,以更客观地对小麦品种进行评价。

## 2.4 118份小麦新品种聚类分析

基于14个性状,108份小麦在平方欧氏距离15.0处被聚成六大类(图1)。对六大类小麦的性状值进行梳理,结果见表4。类群I包括科大111、许麦9号、温裕3号、濮兴10号等90个品种(占比76.3%),该类群小麦穗粒数、千粒质量、产量、基本苗较高,其他性状表现居中。类群II包括郑麦816、黑冠1号、盛彩麦2号、存麦608共4个品种(占比3.4%),该类群小麦生育期较长、吸水量较大,株高、

表 3 小麦新品种 14 个性状的相关分析

性状	相关系数													
	GP	PH	SN	GNPS	TGW	Y	BS	PC	BD	WGC	WA	ST	EA	ER
GP	1.000													
PH	0.077	1.000												
SN	0.229*	0.085	1.000											
GNPS	0.000	0.151	-0.105	1.000										
TGW	-0.058	0.067	-0.067	-0.147	1.000									
Y	0.073	0.151	0.291**	-0.008	0.350**	1.000								
BS	-0.101	-0.016	-0.080	0.112	-0.027	-0.115	1.000							
PC	0.065	0.104	0.008	-0.121	0.063	0.110	-0.142	1.000						
BD	0.361**	0.161	0.432**	-0.014	-0.148	0.007	0.012	0.011	1.000					
WGC	0.158	0.110	0.071	0.117	0.054	0.102	-0.096	0.656**	0.116	1.000				
WA	0.055	0.128	0.139	0.061	-0.055	-0.076	0.170	0.221*	0.171	0.295**	1.000			
ST	0.046	0.083	0.082	-0.024	-0.176	0.059	0.042	0.274**	0.182	0.064	0.284**	1.000		
EA	0.072	0.106	0.091	-0.016	-0.164	0.101	-0.130	0.311**	0.154	0.114	0.162	0.793**	1.000	
ER	0.029	0.115	0.120	0.000	-0.124	0.090	-0.075	0.263**	0.176	0.043	0.216*	0.837**	0.964**	1.000

注:GP 为生育期,PH 为株高,SN 为穗数,GNPS 为穗粒数,TGW 为千粒质量,Y 为产量,BS 为基本苗,PC 为蛋白质含量,BD 为容重,WGC 为湿面筋含量,WA 为吸水量,ST 为稳定时间,EA 为拉伸面积,ER 为拉伸阻力,表 4、表 5、表 7 同。\*、\*\* 分别表示显著相关( $P < 0.05$ )、极显著相关( $P < 0.01$ ),表 7 同。

蛋白质含量、容重、湿面筋含量最大。类群 III 包括温麦 30、宇麦 198、洛早 30、农早 101、灵黑麦 3 号、灵黑麦 2 号、佳黑麦 1 号、灵绿麦 2 号共 8 个品种(占比 6.8%),该类群小麦生育期最长,蛋白质含量、湿面筋含量较高,株高、穗数、产量最低,吸水量、稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力较低。类群 IV 包括轮选 49、中麦 255、怀川 709、科兴 3302、豫农 908、新选 979、智优 105、稷麦 209、新麦 28、天麦 178 共 10 个品种(占比 8.5%),该类群小麦生育期较长,穗数、基本苗、蛋白质含量、容重、湿面筋含量较高,产量、稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力最高。类群 V 只有天谷红宝 5 号 1 个品种(占比 0.8%),其穗数、穗粒数、千粒质量、基本苗、吸水量均为最高,稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力较高,蛋白质含量、容重、湿面筋含量较低。类群 VI 包括郑麦 103、宛麦 788、天民 118、郑农 4108、绿源麦 8 号共 5 个品种(占比 4.2%),该类群小麦生育期最短;千粒质量、蛋白质含量、容重、湿面筋含量、吸水量、稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力均最低。

## 2.5 118 份小麦新品种主成分评价

2.5.1 主成分分析 基于 14 个性状进行主成分分析,结果(表 5)显示,前 8 个主成分累计贡献率达 89.42%,能反映 118 份小麦 14 个性状的绝大部分信息。第 1 主成分特征值为 3.95,贡献率为 28.22%,主要反映拉伸阻力、拉伸面积、稳定时间的

信息,这与相关分析结果(拉伸阻力、拉伸面积、稳定时间之间存在极显著相关)相一致;第 2 主成分特征值为 2.25,贡献率为 16.09%,主要代表湿面筋含量的信息;第 3 主成分特征值为 1.64,贡献率为 11.73%,主要反映产量及产量相关指标千粒质量、穗粒数、穗数的信息;第 4 主成分特征值为 1.40,贡献率为 9.99%,主要反映基本苗、蛋白质含量信息;第 5 主成分特征值为 1.08,贡献率为 7.69%,主要代表穗粒数、容重的信息;第 6 主成分特征值为 0.98,贡献率为 7.01%,主要反映千粒质量、基本苗的信息;第 7 主成分特征值为 0.71,贡献率为 5.07%,主要代表株高的信息;第 8 主成分特征值为 0.51,贡献率为 3.60%,主要代表生育期的信息。

2.5.2 主成分评价 前 8 个主成分能反映 118 份小麦 14 个性状的绝大部分信息,将 118 份小麦的 14 个性状的数值进行标准化,代入上述 8 个主成分中,获取各性状的 8 个主成分得分。根据各性状主成分得分及其权重,计算改进后小麦的综合得分( $D'$ 值)。其中,第 1 主成分的线性方程为  $y_1 = 0.30x_1' + 0.09x_2' + 0.33x_3' - 0.01x_4' - 0.05x_5' + 0.17x_6' - 0.09x_7' + 0.26x_8' + 0.25x_9' + 0.24x_{10}' + 0.25x_{11}' + 0.40x_{12}' + 0.42x_{13}' + 0.41x_{14}'$ 。式中: $y_1$  指第 1 主成分得分; $x_1'$ 、 $x_2'$ 、 $x_3'$ 、 $x_4'$ 、 $x_5'$ 、 $x_6'$ 、 $x_7'$ 、 $x_8'$ 、 $x_9'$ 、 $x_{10}'$ 、 $x_{11}'$ 、 $x_{12}'$ 、 $x_{13}'$ 、 $x_{14}'$  分别指生育期、株高、穗数、穗粒数、千粒质量、产量、基本苗、蛋白质含量、

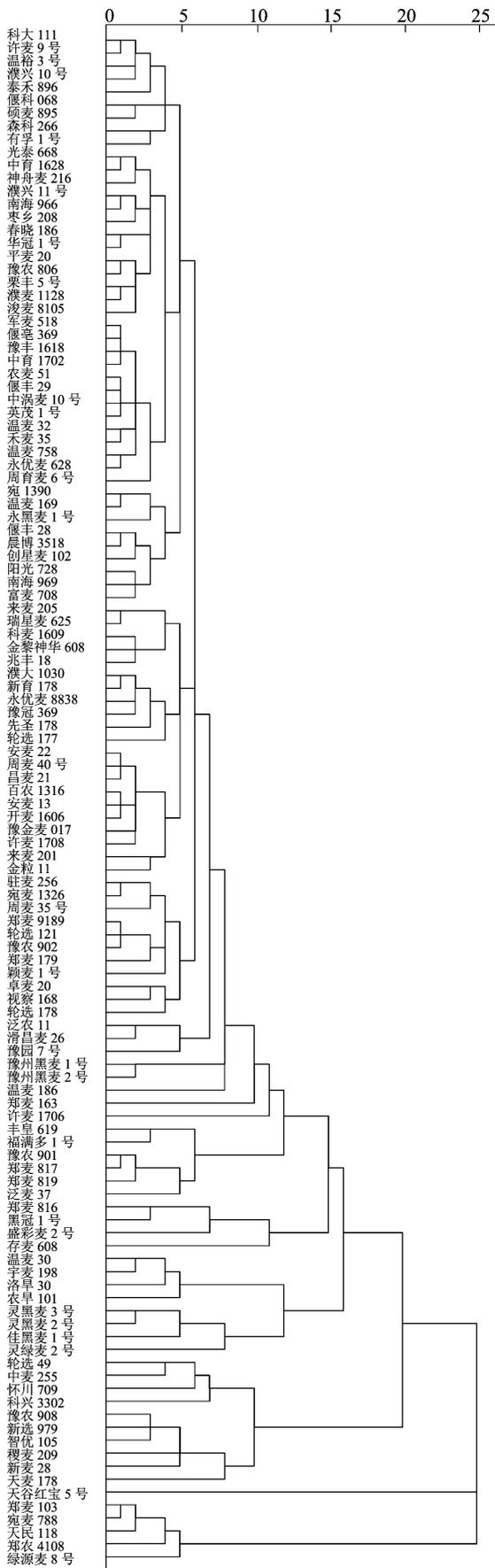


图1 基于 14 个性状的小麦品种聚类分析

容重、湿面筋含量、吸水量、稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力的标准化值。基于 14 个性状矫正后的  $D'$ ，对 118 份小麦进行排名，结果见表 6。118 份小麦中，强筋小麦 3 个、中强筋小麦 8 个、特殊用途小麦 13 个(酿酒小麦 3 个，彩色小麦 10 个)，合计专用小麦 24 个，占比 20.3%。基于主成分综合评价得分的排名中，3 个强筋品种(科兴 3302、天麦 178、新麦 28)分别排在第 2、3、5 位；8 个中强筋品种(中麦 255、轮选 49、郑麦 816、稷麦 209、豫农 908、智优 105、怀川 709、新选 979)分别排在第 4、7、8、9、12、13、17、25 位；中筋品种排名居中或靠后。由此可见，小麦筋度与其主成分评价综合得分高低密切相关，排名位次上表现为强筋 > 中强筋 > 中筋。特殊用途小麦 13 个，其位次比较分散，具体排名位次与其用途有关，如豫农 901、郑麦 819、郑麦 817 为酿酒小麦，分别排 109、110、112 位。

2.5.3 14 个性状与  $D'$  的相关性分析 由表 7 可知，除千粒质量、基本苗外， $D'$  与穗粒数呈显著正相关，与其他 4 个农艺性状(生育期、株高、穗数、产量)及全部 7 个品质性状(蛋白质含量、容重、湿面筋含量、吸水量、稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力)均呈极显著正相关。极显著正相关指标中， $D'$  与产量、株高、容重的相关系数分别为 0.303、0.452、0.487， $D'$  与其他 8 个性状的相关系数均在 0.5 以上，与拉伸面积、拉伸阻力、湿面筋含量、吸水量、生育期的相关系数更是分别达到了 0.625、0.628、0.645、0.660、0.706。上述结果再次印证了提取的主成分能反映 14 个性状的绝大部分信息，可以应用综合得分对品种进行评价。

### 3 讨论

#### 3.1 118 份小麦的品种选育及其利用特点

2021 年河南省审小麦品种类型由过去的单纯产量型向高产、优质、广适方向发展。118 份小麦中，半冬性、弱春性小麦分别为 99、19 个，占比分别为 83.9%、16.1%。就适宜种植区域来看，栽培地类型多样化：118 份小麦分属河南省(南部长江中下游麦区除外)高中水肥地块早中茬地、河南省高中水肥地块早中茬地、河南省高中水肥地块中晚茬地、河南省南部长江中下游麦区、河南省丘陵及早肥地、作为酿酒小麦类型品种以订单农业形式在河南省南部长江中下游麦区、作为特殊用途类型品种以订单农业形式在河南省(南部长江中下游麦区除

表 4 118 份小麦新品种不同类群性状统计

性状	类群					
	I	II	III	IV	V	VI
GP(d)	224.2	226.4	227.2	227.1	225.1	209.8
PH(cm)	78.7	84.5	73.4	76.7	76.5	74.9
SN(万个/hm <sup>2</sup> )	39.0	40.4	32.5	42.1	42.2	34.1
GNPS(粒/穗)	34.5	34.7	33.6	33.3	49.5	34.3
TGW(g)	45.6	40.6	42.7	42.3	47.7	40.6
Y(kg/hm <sup>2</sup> )	8 093.6	7 645.1	5 389.1	8 291.0	7 156.5	6 621.0
BS(万株/hm <sup>2</sup> )	278.2	251.3	258.8	276.3	300.0	282.0
PC(%)	14.4	16.0	15.6	15.7	14.1	13.0
BD(g/L)	791.4	814.0	784.4	800.7	747.5	742.1
WGC(%)	30.5	35.3	33.1	31.1	25.8	24.8
WA(mL/100 g)	59.2	62.9	59.3	60.6	64.0	52.7
ST(min)	4.0	5.5	2.5	21.4	10.3	1.7
EA(cm <sup>2</sup> )	43.3	70.1	27.9	133.8	109.5	23.3
ER(EU)	202.6	300.3	122.0	637.5	554.5	108.0

表 5 118 份小麦新品种前 8 个主成分的特征向量、特征值、贡献率及累计贡献率

项目	性状	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5	主成分 6	主成分 7	主成分 8
特征向量	GP	0.30	0.30	0.09	0.07	0.12	-0.10	-0.27	0.73
	PH	0.09	0.34	0.11	0.25	0.38	-0.16	0.72	-0.14
	SN	0.33	0.03	-0.32	0.32	-0.11	-0.19	0.07	-0.09
	GNPS	-0.01	-0.05	0.35	0.38	0.62	0.00	-0.41	-0.09
	TGW	-0.05	0.28	-0.46	0.03	0.06	0.54	-0.07	0.00
	Y	0.17	0.24	-0.55	0.16	0.17	0.02	-0.15	-0.06
	BS	-0.09	-0.17	0.18	0.49	-0.23	0.50	0.32	0.40
	PC	0.26	0.22	0.18	-0.49	0.08	0.29	0.11	0.07
	BD	0.25	0.21	0.10	0.19	-0.49	-0.39	-0.05	0.04
	WGC	0.24	0.40	0.30	-0.22	-0.05	0.15	0.03	-0.12
	WA	0.25	0.13	0.27	0.30	-0.28	0.33	-0.27	-0.48
	ST	0.40	-0.34	-0.06	-0.06	0.01	0.10	0.10	0.06
	EA	0.42	-0.33	-0.05	-0.09	0.13	0.04	0.07	-0.05
	ER	0.41	-0.35	-0.03	-0.02	0.11	0.06	0.05	-0.02
	特征值		3.95	2.25	1.64	1.40	1.08	0.98	0.71
贡献率(%)		28.22	16.09	11.73	9.99	7.69	7.01	5.07	3.60
累计贡献率(%)		28.22	44.32	56.05	66.04	73.73	80.75	85.81	89.42
权重		0.32	0.18	0.13	0.11	0.09	0.08	0.06	0.04

外)高中水肥地块早中茬地等不同区域种植。农业供给侧结构性改革以市场需求为前提,因此有特殊用途的专用小麦品种越来越受欢迎。杜晓宇等统计 2017—2018 和 2018—2019 年度国家黄淮南片区试冬水组的 39 份冬小麦品种(系)后发现,专用小麦有强筋和中强筋品种,占比 15.4%<sup>[17]</sup>;丁明亮等对

云南省 171 份小麦品种(系)统计后发现,专用小麦有强筋、中强筋和弱筋品种,占比 19.79%<sup>[18]</sup>。比较而言,河南省审定的 118 份小麦中,专用小麦种类丰富,包括强筋、中强筋、酿酒、彩色小麦等,合计 24 个,且占比相对较高,为 20.3%,这与近些年来河南省积极鼓励特殊用途和特色专用品种选育密切相关<sup>[19]</sup>。

表 6 小麦新品种前 8 个主成分的综合得分及小麦品质类别

编号	$D'$	位次	品质分类	编号	$D'$	位次	品质分类	编号	$D'$	位次	品质分类
1	0.565	84	中筋	41	0.724	8	中强筋	81	0.583	73	中筋
2	0.578	74	中筋	42	0.698	13	中强筋	82	0.600	55	中筋
3	0.604	52	中筋	43	0.651	25	中强筋	83	0.559	90	中筋
4	0.601	53	中筋	44	0.741	7	中强筋	84	0.614	46	中筋
5	0.692	14	中筋	45	0.750	4	中强筋	85	0.644	29	中筋
6	0.623	40	中筋	46	0.677	17	中强筋	86	0.594	60	中筋
7	0.631	36	中筋	47	0.566	83	中筋	87	0.617	43	中筋
8	0.613	47	中筋	48	0.546	99	中筋	88	0.542	101	中筋
9	0.661	20	中筋	49	0.587	68	特殊用途	89	0.577	76	中筋
10	0.649	26	中筋	50	0.645	28	特殊用途	90	0.550	96	中筋
11	0.632	35	中筋	51	0.598	56	特殊用途	91	0.594	61	中筋
12	0.618	42	中筋	52	0.715	11	特殊用途	92	0.593	64	中筋
13	0.640	31	中筋	53	0.718	10	特殊用途	93	0.594	62	中筋
14	0.654	23	中筋	54	0.796	1	特殊用途	94	0.545	100	中筋
15	0.626	38	中筋	55	0.742	6	特殊用途	95	0.523	108	中筋
16	0.636	32	中筋	56	0.654	24	特殊用途	96	0.601	54	中筋
17	0.656	22	中筋	57	0.558	92	特殊用途	97	0.596	57	中筋
18	0.615	45	中筋	58	0.605	50	特殊用途	98	0.673	18	中筋
19	0.568	80	中筋	59	0.518	109	特殊用途	99	0.646	27	中筋
20	0.551	95	中筋	60	0.510	112	特殊用途	100	0.625	39	中筋
21	0.660	21	中筋	61	0.516	110	特殊用途	101	0.634	34	中筋
22	0.577	75	中筋	62	0.605	51	中筋	102	0.567	82	中筋
23	0.538	103	中筋	63	0.576	78	中筋	103	0.559	91	中筋
24	0.585	70	中筋	64	0.564	85	中筋	104	0.529	105	中筋
25	0.523	107	中筋	65	0.780	3	强筋	105	0.529	106	中筋
26	0.546	98	中筋	66	0.684	16	中筋	106	0.592	65	中筋
27	0.559	88	中筋	67	0.594	59	中筋	107	0.577	77	中筋
28	0.583	71	中筋	68	0.549	97	中筋	108	0.557	93	中筋
29	0.354	116	中筋	69	0.643	30	中筋	109	0.540	102	中筋
30	0.348	118	中筋	70	0.608	49	中筋	110	0.553	94	中筋
31	0.350	117	中筋	71	0.628	37	中筋	111	0.531	104	中筋
32	0.378	115	中筋	72	0.623	41	中筋	112	0.513	111	中筋
33	0.416	114	中筋	73	0.570	79	中筋	113	0.596	58	中筋
34	0.509	113	中筋	74	0.746	5	强筋	114	0.636	33	中筋
35	0.562	86	中筋	75	0.568	81	中筋	115	0.594	63	中筋
36	0.583	72	中筋	76	0.609	48	中筋	116	0.617	44	中筋
37	0.559	89	中筋	77	0.690	15	中筋	117	0.592	66	中筋
38	0.792	2	强筋	78	0.663	19	中筋	118	0.590	67	中筋
39	0.720	9	中强筋	79	0.586	69	中筋				
40	0.707	12	中强筋	80	0.560	87	中筋				

### 3.2 118 份小麦不同性状的遗传多样性及相关性

小麦种质资源的遗传多样性是遗传改良的基础,影响小麦的育种进程,对小麦品种改良及优异亲本选择具有指导意义<sup>[18,20]</sup>。生育期、株高、穗数、

穗粒数、千粒质量、产量、基本苗、蛋白质含量、容重、湿面筋含量、吸水量、稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力 14 个性状中,变异系数较小的是生育期、容重,分别为 2.17%、2.84%;其他 12 个性状变异系数均

表 7 118 份小麦新品种 14 个性状与  $D'$  相关性

性状	相关系数	性状	相关系数
GP	0.706 **	PC	0.561 **
PH	0.452 **	BD	0.487 **
SN	0.552 **	WGC	0.645 **
GNPS	0.186 *	WA	0.660 **
TGW	-0.310	ST	0.571 **
Y	0.303 **	EA	0.625 **
BS	-0.056	ER	0.628 **

在 4.93% 及以上,最大的为稳定时间,达 96.81%。表明 118 份小麦的大部分性状均存在明显差异。14 个性状多样性指数 ( $H'$ ) 平均为 0.98,多样性指数大于平均值的性状有产量、拉伸阻力、容重、千粒质量、拉伸面积、株高,表明 118 份小麦的性状遗传多样性受这 6 个性状遗传变异的影响较大。以上结果也表明,性状的变异系数和多样性指数不完全相关,不能通过性状的变异系数来判断其遗传多样性指数的大小,这与李晓荣等的研究结果<sup>[21]</sup>一致。14 个性状间存在不同程度的相关性。产量与穗数、千粒质量呈极显著正相关,选育高产小麦品种时,应较多关注其穗数、千粒质量。蛋白质含量与吸水量呈显著正相关,与湿面筋含量、稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力均呈极显著正相关。小麦蛋白质含量与营养价值及加工品质密切相关,选育蛋白质含量高的小麦品种时,湿面筋含量、稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力、吸水量具有重要的参考价值。

### 3.3 聚类分析与主成分评价结果一致性、相辅相成性

本研究中,118 份小麦新品种 14 个性状间存在着不同程度的相关性。存在相关性的数据有较大的重叠信息,不能按某种属性作简单归类<sup>[22]</sup>。而聚类分析是基于数据之间的距离对材料进行聚类分组的常用方法,能揭示类群特征及关系,可获取对不同类群固有结构的认识。本研究中,在平方欧氏距离 15.0 处,不同小麦品种被聚为六大类群,不同类群小麦性状存在明显差异,大部分小麦与其筋度等专用特性聚在一起。不同类群小麦品种数量差异较大,其中类群 I 包含了 90 个品种,占比 76.3%,遗传距离较小,这与云南小麦遗传多样性分析结果<sup>[18]</sup>一致,未来育种应给予较多关注。主成分分析可将多个有一定相关性的指标转化为少数彼此不相关并尽可能多地保留原始变量信息的综合

指标(主成分),以主成分来解释多变量。本研究中,小麦主成分评价综合得分整体上表现为强筋 > 中强筋 > 中筋,这与丁明亮等的研究结果<sup>[18]</sup>一致。

本研究还发现,基于平方欧氏距离进行聚类分析的结果与主成分综合评价得分排名结果具有一致性和相辅相成性。如类群 II 有 4 个品种,基于主成分综合评价得分,介于 1~15,分别排在第 1、8、10、15 位;类群 IV 有 10 个品种,基于主成分综合评价得分排名位次介于 2~25,分别排在第 2、3、4、5、7、9、12、13、17、25 位;类群 VI 有 5 个品种,基于主成分综合评价得分排名位次介于 114~118,分别排在第 114、115、116、117、118 位。以上数据均说明,同一类群的小麦,其主成分评价得分排名亦比较集中,表明聚类分析和主成分评价结果在将具有内在联系的材料归为一类方面具有一致性,其结果可以相互印证。前人较多基于主成分<sup>[12-14,23-24]</sup>或聚类<sup>[25-26]</sup>对品种进行评价,也有将聚类 and 主成分结合使用对品种综合评价的研究<sup>[9-12]</sup>,但对二者分析结果之间关系的关注较少。本研究表明,聚类分析和主成分评价都有降维的作用,但侧重点不同,在评价小麦品种方面可以相辅相成,二者结合使用,能更深入地剖析性状间的关联,客观、全面地评价品种。

### 3.4 小麦新品种的选用策略

14 个性状中生育期、容重等在六大小麦类群中差别较小,稳定时间、拉伸阻力、拉伸面积差别较大。类群 I 包括科大 111、许麦 9 号、温裕 3 号、濮兴 10 号等 90 个品种(占比 76.3%),其穗粒数、千粒质量、产量等处于中等偏上水平,从该类群中选用种尤其是选用中筋品种时应结合品种特征特性、适宜种植区域、抗病鉴定等综合考量。类群 II 包括郑麦 816、黑冠 1 号、盛彩麦 2 号、存麦 608 共 4 个品种(占比 3.4%),蛋白质含量高、品质优、产量居中。类群 III 包括温麦 30、宇麦 198、洛早 30 等 8 个品种(占比 6.8%),蛋白质含量较高、产量较低。对蛋白含量要求高及有特殊用途时可考虑类群类群 II、类群 III 中的小麦。类群 IV 包括轮选 49、中麦 255、怀川 709、科兴 3302、新麦 28、豫农 908、新选 979、智优 105、稷麦 209、天麦 178 共 10 个品种(占比 8.5%),囊括了除郑麦 816 以外其余 7 个中强筋品种及全部强筋品种(科兴 3302、天麦 178、新麦 28)。该类群小麦蛋白质含量、容重较高,稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力最高,产量也最高,且籽粒

饱满,整体表现为优质高产,发展前景好,未来市场具有较强竞争力。类群V只有天谷红宝5号1个品种(占比0.8%),为特殊用途小麦。类群VI包括郑麦103、宛麦788、天民118、郑农4108、绿源麦8号共5个品种(占比4.2%),该类群小麦产量较一般、生育期短,抢种补种时可考虑结合当地生态条件、品种抗性等选用该类群品种。

#### 4 结论

118份小麦新品种中,特殊用途小麦种类丰富,占比较高(20.3%)。14个农艺及品质性状间存在不同程度的相关性,选育高产小麦品种时,应较多关注穗数、千粒质量;选育高蛋白小麦品种时,湿面筋含量、稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力、吸水量具有重要的参考价值。产量、拉伸阻力、容重、千粒质量等性状的多样性指数较大,小麦遗传多样性受其遗传变异影响较大。在平方欧氏距离15.0处,118份小麦被聚为六大类,不同类群小麦性状及品种数量存在明显差异,其中类群I包括了76.3%的小麦品种,遗传距离较小,未来育种应注意突破。聚类分析和主成分评价相辅相成,能客观、全面地评价品种。类群IV中的小麦品种主成分评价综合得分较高,表现为优质高产强筋(包括中强筋),发展应用前景好。

#### 参考文献:

- [1] Manès Y, Gomez H F, Puhl L, et al. Genetic yield gains of the CIMMYT international semi-arid wheat yield trials from 1994 to 2010[J]. *Crop Science*, 2012, 52(4): 1543-1552.
- [2] Crespo-Herrera L A, Crossa J, Huerta-Espino J, et al. Genetic gains for grain yield in CIMMYT's semi-arid wheat yield trials grown in suboptimal environments[J]. *Crop Science*, 2018, 58(5): 1890-1898.
- [3] 张会芳,尹海燕,冀保毅,等. 1980—2013年河南省粮食生产特点及安全保障机制研究[J]. *浙江农业学报*, 2017, 29(1): 1-7.
- [4] 杨建波,王莉,张萍丽,等. 河南省粮食主产区中低产田分区综合整治研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2015, 36(1): 79-85.
- [5] 谭淑豪. 我国种业健康发展需系统创新[J]. *人民论坛*, 2021(22): 75-79.
- [6] 河南省农业农村厅,河南省农业农村信息中心. 河南省农作物品种审定公告[EB/OL]. (2021-06-15)[2022-02-15]. <http://nynct.henan.gov.cn/gggs/>.
- [7] 王平. 我国种业发展的主要问题及对策探析[J]. *中国农业科技导报*, 2021, 23(11): 7-16.
- [8] 张帅,庞玉辉,王征宏,等. 小麦种质资源农艺性状变异及其遗传多样性分析[J]. *作物杂志*, 2018(2): 44-51.
- [9] 刘彤彤,李宁,魏良迪,等. 山西省主推小麦品种芽期及苗期耐盐性的综合评价[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(2): 22-33.
- [10] 陈卫国,张政,史雨刚,等. 211份小麦种质资源抗旱性的评价[J]. *作物杂志*, 2020(4): 53-63.
- [11] 苏亚蕊,孙少光,刘浩婷,等. 不同小麦品种(系)抗倒伏性状多样性分析[J]. *麦类作物学报*, 2021, 41(10): 1238-1246.
- [12] 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*, 2020, 36(3): 16-22.
- [13] 刘孟宜,田博宇,王滢颖,等. 基于主成分分析的不同小麦品种制作的韧性饼干品质评价[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(10): 44-53.
- [14] 宋晓,张珂珂,黄晨晨,等. 基于主成分分析的氮高效小麦品种的筛选[J]. *河南农业科学*, 2020, 49(12): 10-16.
- [15] 唐如玉,徐鹏,余迪求. 水稻轮回选择群体XTBG-HP1表型遗传多样性分析[J]. *广西植物*, 2020, 40(2): 159-172.
- [16] 武松,潘发明. SPSS统计分析大全[M]. 北京:清华大学出版社, 2014: 320.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 马运粮. 河南省品种试验审定改革措施和思路[J]. *种子*, 2020, 39(1): 163-166.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 盖钧镒. 试验统计方法[M]. 4版. 北京:中国农业出版社, 2013: 204.
- [23] 沈吉成,李亚鑫,赵彩霞,等. 52份波兰小麦种子性状分析[J]. *麦类作物学报*, 2021, 41(7): 834-841.
- [24] 赵佳佳,乔玲,武棒棒,等. 山西省小麦苗期根系性状及抗旱特性分析[J]. *作物学报*, 2021, 47(4): 714-727.
- [25] 祝旋,钱登坤,汤婷,等. 35个小麦品种农艺性状的相关及聚类分析[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(29): 8-13.
- [26] 王吐虹,郭青云,蔺瑞明,等. 中国40个小麦农家品种和甘肃南部40个生产品种抗条锈病基因推导[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(19): 3834-3847.