

网络出版时间:2025-11-20

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.S.20251120.1046.002

黄淮麦区小麦品种(系)农艺性状差异解析及聚类分析

杨剑,张玉娥,王岩,李梦达,胡卫国,王西成,曹廷杰

(河南省农业科学院小麦研究所,河南郑州 450002)

摘要:为了解黄淮麦区小麦品种(系)农艺性状的差异,以2015—2023年国家黄淮麦区区域试验的626个参试品种(系)为材料,分析了抽穗期、小穗数、穗长、平均穗轴节长、穗粒数、株高、千粒重等7个性状。结果表明,在黄淮南片麦区,抽穗期与穗粒数、小穗数呈正相关,株高与穗长、小穗数呈正相关,而在黄淮麦区(及北片)不相关,说明黄淮南片麦区小麦矮秆大穗的形成协调了降秆与抽穗期的适当推迟,实现穗长和穗粒数稳定增加,以及平均穗轴节变短;穗粒数与千粒重无显著相关,可能二者得到协同改良,而二者在北片小麦品种(系)中呈显著负相关,说明二者在北片存在相互权衡。黄淮麦区小麦品种(系)在穗与植株等农艺性状上存在显著差异,南片品种(系)具有较长的穗长和平均穗轴节、较多的小穗数、较高的千粒重、较早的抽穗期和较低的株高。黄淮麦区不同省份间品种(系)特性也存在差异,河南育种单位选育小麦品种(系)的千粒重最高、小穗数较多,穗长仅次于江苏;陕西育种单位选育品种(系)穗粒数最多;山东小麦品种(系)穗长最短、抽穗期最晚,但株高低于江苏、河北和安徽省小麦品种(系)。江苏省小麦品种(系)穗长最长,但小穗数最少,平均穗轴节最长。基于7个农艺性状将626份品种(系)聚为两大类群4个亚群,亚群划分与育种省份、农艺性状相关,亚群1-2具有较多的穗粒数和小穗数、较高的千粒重,这些优点大多遗传周麦系列品种(系),该亚群小麦品种(系)可用于小麦穗部性状的遗传改良。

关键词:黄淮麦区;农艺性状;不同省份;聚类分析

中图分类号:S512.1;S330

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2026)01-0068-09

Analysis of Agronomic Trait Differences and Cluster Analysis among Wheat Varieties(Lines) in Huang-Huai Wheat Region

YANG Jian, ZHANG Yu'e, WANG Yan, LI Mengda, HU Weiguo, WANG Xicheng, CAO Tingjie

(Institute of Wheat, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: In order to understand the difference of agronomic traits among different wheat varieties (lines) in Huang-Huai wheat region, this study analyzed 626 wheat varieties (lines) participated in the national wheat regional trials in the Huang-Huai wheat region from 2015 to 2023, focusing on seven traits: heading date, spikelet number, spike length, average length of rachis node, kernels per spike, plant height, and thousand-kernel weight. The results showed that in the southern zone of the Huang-Huai Wheat Region, heading date was positively correlated with kernels per spike and spikelet number; plant height was positively correlated with spike length and spikelet number; whereas no such correlations were observed in the northern zone. This indicates that dwarf plants with large spikes coordinated the reduction in plant height with a moderate delay in heading date, possibly achieving stable spike length and increased kernels per spike in the southern zone, ultimately leading to shorter average length of rachis node. There was no significant correlation between kernels per spike and thousand-kernel weight, suggesting possible synergistic improvement of both traits. In contrast,

收稿日期:2025-06-02

修回日期:2025-09-19

基金项目:河南省科技攻关项目(232102111075);河南省农业科学院优青项目(2024YQ01);河南省农业科学院自主创新项目(2025ZC02)

第一作者 E-mail: Yangjian_1988@outlook.com(杨剑)

通讯作者 E-mail: caotingjie893@163.com(曹廷杰)

there is a significant negative correlation between the two traits in the northern zone, indicating a trade-off between two traits. Significant differences were observed between the southern and northern zones in spike and plant-related agronomic traits. Longer spikes and average rachis node length, more spikelets, greater thousand-kernel weights, earlier heading dates, and shorter plant heights were observed in the varieties (lines) from southern zone compared to those in northern zone. Phenotypic differences were also varied across provinces. Varieties (lines) bred by Henan breeding institutions exhibited the highest thousand-kernel weights and more spikelet numbers, with spike lengths only shorter than those from Jiangsu. Varieties bred by Shaanxi breeding institutions showed highest kernels per spike. Shandong varieties exhibited the shortest spikes and latest heading dates but were shorter in plant height than those from Jiangsu, Hebei, and Anhui province. Jiangsu varieties (lines) showed the longest spikes but the fewest spikelets and longest average rachis nodes. Based on the seven agronomic traits, the 626 varieties (lines) were classified into two major groups, which were further divided into four subgroups. Subgroup classification was associated with breeding provinces and agronomic traits. Varieties (lines) in subgroup 1-2 had more spikelet and kernels per spike, and great thousand-kernel weight. These advantages were mostly inherited from Zhoumai series varieties (lines), which can be used for genetic improvement of wheat spike traits.

Keywords: Huang-Huai wheat region; Agronomic traits; Different provinces; Cluster analysis

小麦作为全球约 35% 人口的主粮作物,其产量稳定性与品种多样性对保障粮食安全具有战略意义。中国黄淮麦区小麦种植面积常年在 1 300 万 hm^2 , 占全国小麦总产量 65% 以上,在国家粮食安全保障体系中具有重要作用。

依据地理位置及气候条件,黄淮麦区分为南片和北片,二者大致以郸城渭河为界。两个片区品种物候特性具有显著的差异,北部麦区冬季寒旱、周期长,品种越冬性强、分蘖多、株型紧凑,利于构建高光效群体;南部麦区灌溉条件优越、冬季气温适中,半冬性和弱春性小麦品种均适宜种植,大穗型品种居多,品种表现出茎秆粗壮、叶片较大的特性。

21 世纪初期,黄淮南片小麦品种大多利用周麦 13、偃师 4 号、豫麦 2 号为亲本之一杂交选育,育种单位以河南地区科研单位居多,兼有少数育种公司,品种多样性较低^[1]。2015 年以来随着市场需求和农业政策的推动(包括小麦联合体、良种攻关试验等),安徽、江苏、山东等省份在黄淮麦区每年参试和审定的小麦品种(系)数量显著增长,品种(系)类型得到极大丰富^[2]。具有较强科研能力的单位通过引入外缘物种优异基因,促进了整体遗传多样性的提升,这一期间小麦产量相关性状、抽穗期等权衡性状得到协同优化^[3-5],多方面推动了品种产量的提升。穗部性状作为育种的重要选择目标,近年来获得了显著的协同改良。以黄淮麦区已审定的 180 个小麦品种为研究群体,

对部分农艺性状进行调查和分析,发现穗粒数与小穗数之间呈极显著正相关,根据农艺性状可将这些小麦聚为 6 个类群^[6]。张婷等^[7]依农艺性状和品质性状将 105 份黄淮麦区的小麦品种(系)划分为 7 个类群,综合穗部等农艺性状和品质性状筛选出一批综合性状较好的材料。

黄淮麦区涵盖了河南省、河北省、山东省、安徽省、江苏省以及陕西省的大部分区域,由于受地区气候环境以及历史种质资源的影响,农艺性状的地理分布规律及区域适应性在不同省份间仍然存在差异,解析不同省份间农艺性状差异,有助于通过引入不同省份种质,微调农艺性状间的权衡,以育成更加高产广适的小麦品种,可进一步丰富区域内品种的遗传多样性。

本研究基于 2015—2023 年黄淮麦区国家小麦区域试验参试小麦品种(系),通过对来源于不同省份小麦品种(系)7 个农艺性状(抽穗期、小穗数、穗长、平均穗轴节长、穗粒数、株高、千粒重)的调查,以解析不同省份选育品种(系)的农艺性状差异,探讨不同省份小麦高产育种的策略,并根据农艺性状聚类分析品种间的关系。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试小麦品种(系)626 个,为 2015—2023 年参加黄淮麦区小麦区域试验的品种(系)。根据试验区域的划分,参加北片区试的品种(系)208 份,

参加南片区试的品种(系)418份,其中半冬性373份、弱春性45份。

1.2 试验设计

2020—2021生长季种植322份南片品种(系)和147份北片品种(系),2021—2022生长季种植377份南片品种和180份北片品种(系),2022—2023生长季种植上述所有626份小麦品种(系)。每个品种(系)种植2行,行长2 m,每行种植20粒。整个生育期按照大田常规管理,对蚜虫、条锈病、白粉病等病虫害进行防治。

1.3 农艺性状测定

分别在2020—2021、2021—2022和2022—2023小麦生长季对试验品种(系)的株高(PH)、穗长(SL)、小穗数(SN)、穗粒数(KS)、平均穗轴节长(LRN)、千粒重(TKW)和抽穗期(HD)进行考察;分别在2022—2023和2023—2024生长季观测小麦品种(系)的抽穗期,以50%穗部顶端小穗露出旗叶的日期为抽穗期,小麦品种(系)均在4月抽穗,以当月抽穗日期作为抽穗期。在完全抽穗后选取10株长势一致的单株测量株高,计算平均值作为最终测量值;同时测量这10株的主穗长度,人工统计小穗数(包括有效小穗和无效小穗),分别取平均值作为穗长和小穗数值;平均穗轴节长度为穗长/小穗数,以反映麦穗小穗间稀密程度。在成熟期选取15个长势均匀的穗子,单穗脱粒,使用扫描仪对每个品种(系)籽粒进行扫描,万深SC-G型自动考种分析及千粒重系统检测总粒数,除以穗数为穗粒数;同时称取这些籽粒的总重量,计算出千粒重。

1.4 数据处理

利用lme4对多年份中表型进行最佳线性无偏估计(best linear unbiased prediction, BLUP),以该数据作为表型,使用SPSS 18.0软件计算性状间的Pearson相关系数及显著性,单因素方差分析(SNK法)评估黄淮麦区南片和北片品种(系)间性状差异。按照参试品种(系)育种单位的试验地所在的省份,统计不同省份参试品种(系)的农艺性状,利用单因素方差(Scheffe法)检测农艺性状间的差异性($P < 0.05$)。基于测量的7个农艺性状,利用R语言计算所有品种(系)间的欧式距离^[8],构建品种(系)进化树。

2 结果与分析

2.1 黄淮麦区小麦农艺性状间的相关性

对626份黄淮麦区小麦品种(系)的株高、穗

长、小穗数、穗粒数、平均穗轴节长、千粒重和抽穗期进行相关性分析,结果表明,穗长与其他6个性状间均显著相关,其中与抽穗期呈显著负相关($r = -0.1, P < 0.05$),与其他性状呈极显著正相关($P < 0.01$)。穗部形态性状间存在极显著拮抗关系:小穗数增加显著促进穗粒数增加($r = 0.49$),但会导致平均穗轴节变短($r = -0.33$);小穗数与千粒重呈极显著正相关($r = 0.21$),在育种中二者可同步改良;与株高呈极显著负相关($r = -0.26$)。平均穗轴节长度与株高呈极显著正相关($r = 0.33$),千粒重与穗粒数之间不存在显著相关性。此外,抽穗期推迟一定程度上关联更密的小穗($r = -0.16$),但与穗粒数、小穗数、株高、千粒重相关不显著(图1A)。

黄淮麦区南片品种(系)不同农艺性状间的相关性与整个黄淮麦区品种(系)农艺性状间相关关系相似,不同的是黄淮南片品种(系)抽穗期显著影响多个农艺性状,如抽穗期推迟后小穗数($r = 0.18$)、千粒重($r = 0.14$)、穗粒数($r = 0.13$)表现同步极显著增加,但与穗长之间不显著(图1B)。黄淮北片品种(系)抽穗期与农艺性状间的相关关系与整个黄淮麦区的相关关系一致,即仅与穗长($r = -0.18$)、平均穗轴节长度呈极显著负相关($r = -0.22$)。此外,千粒重与穗长、小穗数间无显著相关性,但与穗粒数呈极显著负相关($r = -0.15$),与株高极显著正相关($r = 0.18$)(图1C)。

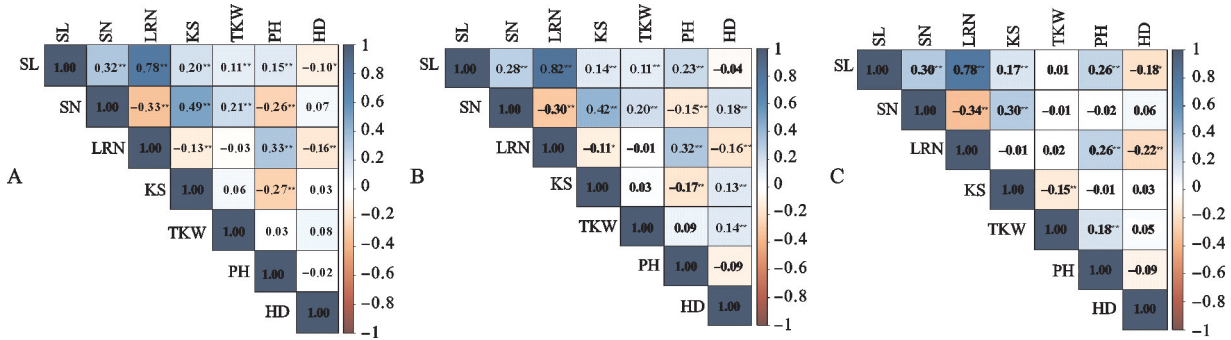
2.2 黄淮麦区南片与北片小麦在农艺性状上的差异

在黄淮麦区南片和北片之间小麦品种(系)的7个性状均检测到极显著差异。与北片参试品种(系)相比,南片参试品种(系)的穗长较长、小穗数和穗粒数较多千粒重较大,小穗较密,抽穗期较早,株高较低(表1)。

2.3 农艺性状分析

2.3.1 黄淮麦区不同省份间农艺性状差异

黄淮麦区6个省份的参试小麦品种(系)中,江苏省育种单位选育的小麦品种(系)穗长最长,依次为河南、安徽、河北、陕西和山东,其中江苏育种单位选育的小麦品种(系)穗长显著高于山东,其他省份小麦品种(系)间穗长均无显著差异。河南和陕西育种单位选育的小麦品种(系)小穗数相近且最多,显著多于其他4个省份;平均穗轴节最长的是江苏小麦品种(系),显著长于山东、河南和陕西,安徽和河北小麦品种(系)显著长于陕西(最短)。根据穗粒数均值高低排序,依次为陕西、河南、安徽、江苏、山东和河北育种单位选育的小



,: $P < 0.01$; *, $P < 0.05$ 。A:黄淮麦区;B:黄淮麦区南片;C:黄淮麦区北片。SL:穗长;SN:小穗数;LRN:平均穗轴节长;KS:穗粒数;TKW:千粒重;PH:株高;HD:抽穗期。
,: $P < 0.01$; *, $P < 0.05$ 。A: Huang-Huai wheat region; B: Southern zone of Huang-Huai wheat region; C: Northern zone of Huang-Huai wheat region. SL: Spike length; SN: Spikelet number; LRN: Average length of rachis node; KS: Kernels per spike; TKW: Thousand-kernel weight; PH: Plant height; HD: Heading date.

图 1 黄淮麦区小麦品种(系)7 个农艺性状间的相关性
Fig. 1 Correlations among seven agronomic traits of wheat varieties(lines) in the Huang-Huai wheat region

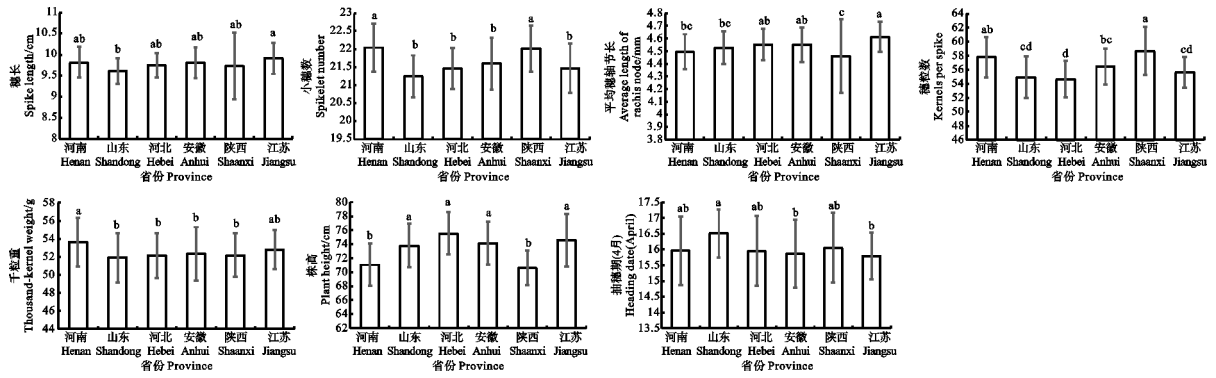
表 1 黄淮麦区南片和北片小麦品种(系)7 个农艺性状的比较
Table 1 Comparison of seven agronomic traits between wheat varieties from southern and northern zones of Huang-Huai wheat region

性状 Trait	平均值±标准差 Average±Standard deviaties		组间方差 Variance between-group	组内方差 Variance within-group	F 值 F value	P 值 P value
	南片 Southern	北片 Northern				
穗长 Spike length/cm	9. 81±0. 43	9. 67±0. 31	2. 70	97. 45	17. 27	3. 69×10 ⁻⁵
小穗数 Spikelet number	21. 95±0. 70	21. 30±0. 57	58. 78	270. 11	135. 80	1. 56×10 ⁻²⁸
平均穗轴节长 Average length of rachis node/mm	4. 50±0. 02	4. 55±0. 01	2. 39×10 ⁻³	0. 14	10. 34	1. 37×10 ⁻³
穗粒数 Kernels per spike	57. 60±2. 90	54. 75±2. 85	1 125. 32	5166. 45	135. 48	1. 82×10 ⁻²⁸
千粒重 Thousand-kernel weight/g	53. 23±2. 71	52. 01±2. 75	205. 65	4 611. 65	27. 69	1. 96×10 ⁻⁷
株高 Plant height/cm	71. 58±3. 28	74. 57±3. 09	1 227. 40	6 313. 00	118. 79	2. 12×10 ⁻²⁵
抽穗期(4 月) Heading date(April)	15. 96±1. 05	16. 30±0. 97	16. 25	652. 12	15. 55	8. 93×10 ⁻⁵

抽穗期值为 4 月的日期,如 15 表示 4 月 15。图 2~图 5 和表 2 同此。
The heading date values are in April, ie. 15 represents April 15. The same in Fig. 2—5 and table 2.

麦品种(系),其中陕西育种单位选育的小麦品种(系)穗粒数显著多于除河南外的其他省份,河南育种单位选育的小麦品种(系)穗粒数显著高于山东、江苏和河北,安徽育种单位选育的小麦品种(系)穗粒数显著多于河北。河南育种单位选育的小麦品种(系)千粒重最高,显著高于除江苏之外四省小麦千粒重[这 4 个省份小麦品种(系)间无显著差异]。株高最高的省份为河北省,其余依次为江苏、安徽和山东,这 4 个省份间株高无显著差异,但均显著高于河南和陕西。小麦抽穗期最早的省份为江苏,其次为安徽,二省小麦抽穗期显著早于山东品种(系)(最晚),其余省份间均无显著差异(图 2)。

2.3.2 黄淮麦区南片不同省份间农艺性状差异
对参加黄淮麦区南片区试的小麦品种(系)农艺性状进行方差分析,结果表明,穗长、千粒重和抽穗期在 5 个省份参试小麦品种间无显著差异(图 3),其中江苏省小麦品种(系)分别具有相对较长的穗长和较早抽穗期,河南省小麦品种(系)具有较高的千粒重。河南和陕西育种单位选育的小麦品种(系)的小穗数、穗粒数较多、株高较低,其中穗粒数显著多于江苏和山东,小穗数显著多于江苏,株高则显著低于安徽和江苏。江苏育种单位选育的小麦品种(系)平均穗轴节长最长,显著长于陕西和河南,和安徽、山东育种单位选育的小麦品种(系)间无显著差异(图 3)。



柱状图上字母表示不同省份表型间差异显著性。下同。

Letters above the bars at each bar chart indicate significant differences among phenotype values for each province at 0.05 level. The same in tables 3 and 4.

图 2 黄淮麦区不同省份选育的小麦品种(系)农艺性状差异分析
Fig. 2 Analysis of variations in agronomic traits among wheat varieties (lines) from different provinces in the Huang-Huai winter wheat region

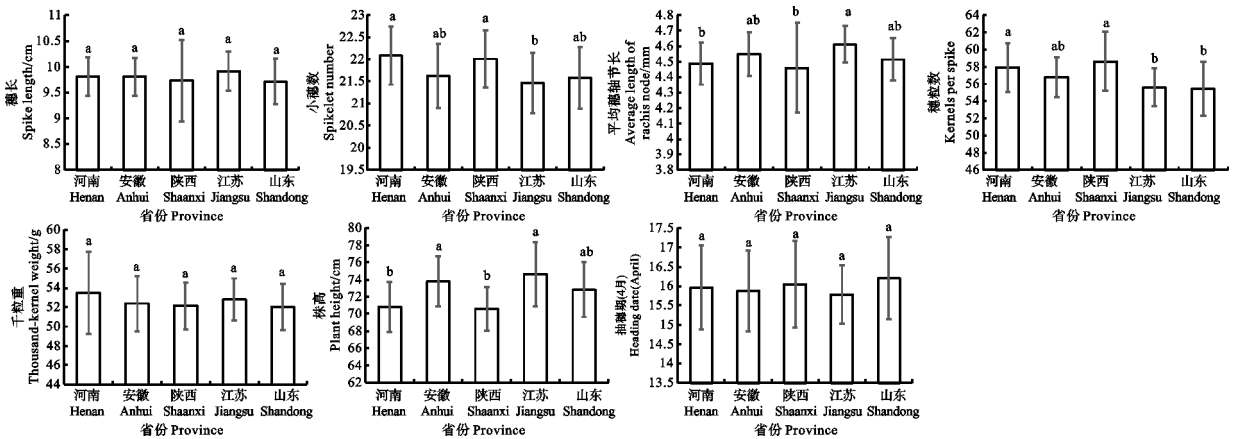


图 3 黄淮麦区南片不同省份选育的小麦品种(系)农艺性状差异分析
Fig. 3 Analysis of variations in agronomic traits among wheat varieties (lines) from different provinces in the southern zone of Huang-Huai wheat region

2.3.3 黄淮麦区北片不同省份间农艺性状差异

穗长、小穗数、平均穗轴节长、穗粒数、千粒重和抽穗期在黄淮麦区(北片)4 个省份参试小麦品种(系)间均不存在显著差异(图 4)。仅株高在不同省份间检测到显著差异,安徽省育种单位选育小麦品种(系)的株高显著高于河南、山东,与河北省育种单位小麦品种(系)之间无显著差异(图 4)。

2.4 不同参试区域中同省份选育小麦品种(系)的农艺性状分析

在所有参加黄淮麦区小麦区域试验的品种(系)中,河南、山东及安徽三省育种单位既有品种(系)参加南片试验,也有参加北片试验。方差分析结果显示,河南育种单位参加黄淮麦区南片试验品种(系)的品种(系)小穗数和穗粒数平均值均极显著高于参加北片区试的品种(系),平均穗轴

节长和株高反之。山东育种单位参加黄淮麦区两个区域试验的品种(系)间在穗长、平均穗轴节长、穗粒数、千粒重、株高和抽穗期上均未检测到显著差异,仅南片区试品种(系)的小穗数显著多于北片区试的品种(系)。安徽育种单位参加黄淮麦区南片区试的品种(系)和参加北片区试的品种(系)在穗粒数和株高存在极显著的差异,其中参加南片区试的品种(系)具有较多的穗粒数和较低的株高,其余性状无显著差异(表 2)。

2.5 不同小麦品种(系)的聚类分析

基于上述 7 个农艺性状,可将本研究中 626 份小麦品种(系)分为两大类群 4 个亚群(图 5)。类群 1 主要涵盖黄淮麦区南片中来自河南和陕西的小麦品种(系);类群 2 则主要包括黄淮麦区北片的小麦品种(系)以及来自江苏和安徽的小麦品种(系)。

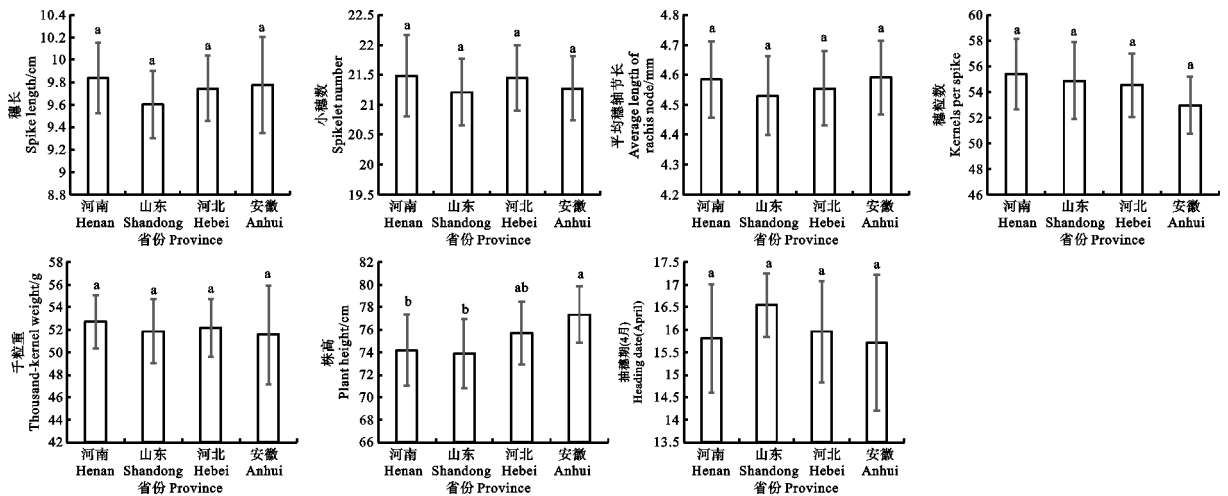


图 4 黄淮麦区北片不同省份选育的小麦品种(系)农艺性状差异分析

Fig. 4 Analysis of variations in agronomic traits among wheat varieties(lines) from different provinces in the northern zone of Huang-Huai wheat region

表 2 不同省份参加黄淮麦区南片和北片区域试验小麦品种(系)间 7 个农艺性状的差异

Table 2 Differences in seven agronomic traits between wheat varieties(lines) bred by breeding institutions from difference provinces in the trials of the southern and northern zones of the Huang-Huai wheat region

省份 Province	性状 Trait	平均值±标准差 Average±Standard deviates		组间方差 Variance between-group	组内方差 Variance within-group	F 值 F value	P 值 P value
		南片 Southern	北片 Northern				
河南	穗长 Spike length/cm	9.81±0.37	9.84±0.31	0.01	38.24	0.07	0.79
	小穗数 Spikelet number	22.09±0.65	21.48±0.67	6.75	121.44	15.78	9.04×10 ⁻⁵
	平均穗轴节长度 Average length of rachis node/mm	4.48±0.14	4.58±0.12	0	0.05	9.30	2.5×10 ⁻³
	穗粒数 Kernels per spike	57.94±2.83	55.36±2.75	123.59	2 256.82	15.50	1.04×10 ⁻⁴
	千粒重 Thousand-kernel weight/g	53.70±2.71	52.70±2.35	18.38	2 042.00	2.55	0.11
	株高 Plant height/cm	70.82±2.92	74.17±3.15	207.78	2 349.49	24.14	1.54×10 ⁻⁶
	抽穗期(4月) Heading date(April)	15.97±1.08	15.80±1.20	0.50	335.56	0.43	0.52
山东	穗长 Spike length/cm	9.72±0.44	9.60±0.30	0.15	12.92	1.55	0.22
	小穗数 Spikelet number	21.58±0.70	21.21±0.56	1.62	43.11	4.97	0.03
	平均穗轴节长度 Average length of rachis node/mm	4.51±0.01	0.45±0.01	0	0.09	0.02	0.70
	穗粒数 Kernels per spike	55.44±3.17	54.86±3.01	3.86	1 201.21	0.42	0.52
	千粒重 Thousand-kernel weight/g	52.07±2.39	51.87±2.84	0.48	1 031.13	0.06	0.80
	株高 Plant height/cm	72.83±3.18	73.89±3.08	13.27	1 246.82	1.39	0.24
	抽穗期(4月) Heading date(April)	16.21±1.06	16.54±0.71	1.31	73.62	2.35	0.13
安徽	穗长 Spike length/cm	9.81±0.37	9.78±0.43	0	8.78	0.04	0.84
	小穗数 Spikelet number	21.63±0.73	21.27±0.53	0.69	32.43	1.36	0.25
	平均穗轴节长度 Average length of rachis node/mm	4.54±0.14	4.59±0.12	0	0.01	0.57	0.46
	穗粒数 Kernels per spike	56.79±2.29	52.97±2.23	79.56	334.92	15.20	2.34×10 ⁻⁴
	千粒重 Thousand-kernel weight/g	52.38±2.83	51.55±4.37	3.79	55.35	0.43	0.52
	株高 Plant height/cm	73.81±2.92	77.33±2.5	67.67	532.68	8.13	5.85×10 ⁻³
	抽穗期(4月) Heading date(April)	15.88±1.04	15.71±1.51	0.15	75.27	0.13	0.72

亚群 1-1 中包括 49 份南片半冬性、16 份弱春性和 4 份北片小麦品种(系),该亚群中部分品种具有早熟或优质的特性,如西农 20、泛麦 26 等优质品种(系),以及豫农 905、丰德存麦 23、郑麦 20 等熟期较早的小麦品种(系),另外有 4 个小麦品种(系)(秋乐 2122、景阳 670、濮兴 25 号和中科 19021)参加了北片区域试验,但均以河南小麦品种(如新麦 18、丰德存麦 21 等)作为亲本育成,品种(系)偏向南片类型。亚群 1-2 中小麦品种(系)多数为周麦系列品种或含有周麦血缘的小麦品种(系)作为亲本之一育成的,包括周麦 36 号、郑麦 33、郑麦 1860 等,该亚群小麦丰产性突出,穗粒数、小穗数以及千粒重在 4 个亚群中均最高,株高最低,平均穗轴节最短,抽穗期最晚。亚群 1-2 还包含了 12 份来自黄淮麦区北片的小麦品种(系),包含少量济麦、山农系小麦品种(系)(如济麦

5029、济麦 6266、LS1888、山农 534421 等)。

亚群 2-1 包含 79 份南片小麦品种(系)和 72 份北片小麦品种(系),南片小麦品种(系)主要是由周麦系列等南片品种与北片小麦品种杂交选育的后代,如中麦 247(济麦 22/04 中 36)、郑麦 132(矮抗 58/济麦 22)等;北片小麦品种(系)主要由良星 99、济麦 22 等与其他北片材料杂交选育,这些品种(系)在本研究中调查的农艺性状表现不突出,推测可能群体较大,综合性状均衡。亚群 2-2 包含了 97 份南片小麦品种(系)和 100 份北片小麦品种(系),南片小麦品种(系)以济麦 22、良星 66 等北片小麦品种作为亲本,与南片小麦品种杂交选育,如郑麦 136、民研 186、郑麦 23 等;另一部分北片品种(系)主要包含了河北、山东、江苏、安徽育种单位育成的小麦品种(系),该亚群小麦株高较高、穗长较长、平均穗轴节最长。

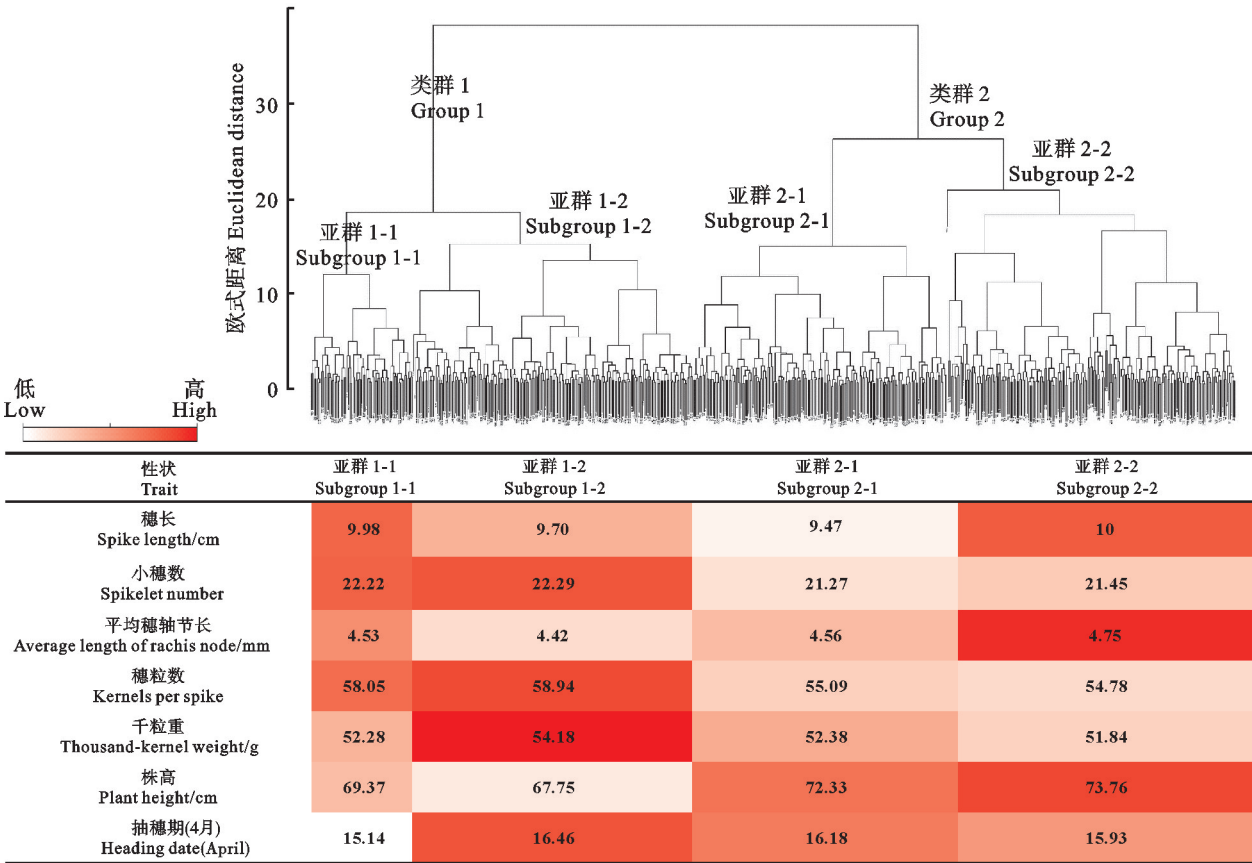


图 5 626 份黄淮麦区小麦品种(系)农艺性状聚类分析和亚群农艺性状热图

Fig. 5 Cluster analysis and heatmap of agronomic traits of 626 wheat varieties(lines) in Huang-Huai wheat region

3 讨论

黄淮麦区作为中国小麦的主产区,品种的丰产性、适应性以及整体遗传多样性对于保障国家

粮食安全具有重要的战略意义。本研究通过系统分析 626 个黄淮麦区小麦品种(系)的 7 个关键农艺性状,揭示了多数性状间存在显著的相关性。其中,穗粒数与穗长、小穗数呈显著正相关,与平

均穗轴节长呈显著负相关,表明通过增加穗长和小穗数(加密),均可使小麦穗粒数增多。大量研究认为,穗粒数与千粒重之间存在相互权衡效应^[3,9-12],而本研究中这种关系未在黄淮南片小麦品种(系)中检测到,暗示这两个性状在黄淮麦区南片的小麦育种过程中可能得到了协同改良。

株高是重要的育种目标,植株较高容易导致倒伏^[13],黄淮南片生产中注重选育矮秆大穗型品种。前期研究表明黄淮麦区大部分小麦品种(系)聚合了*Rht1*、*Rht2*、*Rht8*等半矮秆基因^[14],实现矮秆较容易,但是植株较低会制约产量^[15]。在本研究中,黄淮麦区南片小麦株高与穗长、平均穗轴节长呈显著正相关、与小穗数呈显著负相关,该结果与前人研究相似^[16],但株高与穗粒数无显著相关性。另一方面,穗粒数、小穗数与抽穗期呈显著正相关,目前已报道的小麦抽穗期基因大多与光敏性相关,这些基因也参与影响小麦穗形成^[17-18]。推测黄淮南片麦区矮秆大穗的形成需要通过适当延迟抽穗期以获得充分的营养生长时间。黄淮北片小麦抽穗期仅显著影响穗长和平均穗轴节长,不影响穗粒数,说明通过调控抽穗期对小麦穗部性状进行遗传改良时,南片与北片品种(系)表现出显著的遗传效应差异。

张会芳等^[19]通过国家黄淮麦区区试调查数据比较了南北片小麦品种的农艺性状差异,发现黄淮麦区南片品种穗粒数和千粒重较高,这与本研究一致。王亚飞等^[20]研究了黄淮麦区南片、北片和长江中下游麦区小麦品种的农艺性状差异,结果表明,3个麦区小麦品种穗粒数、穗长、小穗数均不存在差异,与本研究结果不同,推测可能是选用品种数目较少、代表型不足的原因。河南作为黄淮麦区小麦种植面积最大的省份,其参试品种(系)数量最多,表现出千粒重较高、穗长中等、穗粒数和小穗数较多、小穗较密和植株偏低的特点,这与张会芳等^[19]部分研究结果相似,聚类分析发现具有这些优点的品种(系)大多聚为一个亚群,并具有周麦系列品种背景,这与周麦系列品种大穗特性相吻合^[21-22],该亚群小麦品种(系)可用于小麦穗部性状的遗传改良。

陕西省小麦以西农系列品种为主导,在 21 世纪初,西农系列小麦品种具有落黄和抗病性好的优点,但千粒重和穗粒数低于河南小麦品种^[1,15]。本研究发现,陕西省选育小麦品种(系)千粒重低于河南省小麦品种(系),但穗长、穗粒数、小穗数

和株高差异不显著,推测可能与近年来陕西品种广泛使用周麦系列等河南小麦作为亲本有关。

黄淮麦区北片小麦品种具有较强的抗寒性^[23],近些年以济麦 22 等山东品种为代表被引入黄淮麦区南片的育种中,拓展了品种的适应性。在本研究中这些品种大多被聚为一类,河南种植的山东小麦品种植株低于河北等省选育的小麦品种(系),降低株高与农艺性状尤其是穗部性状有负效应,考虑山东小麦较好的抗寒性和较高的成穗率,引入山东省育种单位选育的小麦品种(系)至黄淮麦区南片具有重要的价值。但山东省小麦抽穗期显著晚于其它区域小麦品种,较短的灌浆期容易受干热风影响,显著影响籽粒饱满度^[24],在利用中应选择抽穗适中的后代。

江苏、安徽地跨黄淮麦区和长江中下游麦区,北部紧邻山东省,部分山东育成的小麦品种在这些地区有较好的应用表现。本研究中这些省份选育的小麦品种(系)性状相近,尤其小穗数、穗粒数、千粒重和株高,推测可能具有相似的遗传基础。安徽、江苏小麦抽穗期显著早于山东小麦,推测与该地区大量种植弱春性品种相关,可以更好地适应麦稻轮作模式,但弱春性品种冬季分蘖期短,易受冬季冻害影响,且会减少单位面积穗数,未来可引入北方品种进一步改良单位面积穗数。

基于聚类分析,本研究还发现较高比例优质小麦和弱春性品种聚为一类,具有抽穗早的特点,推测这与优质小麦易早衰特性相关^[25]。前人研究表明优质小麦产量构成最低的因素是千粒重^[26],这与本研究中该亚群千粒重较低的结果相一致。未来可通过拓展优质小麦种质资源的遗传多样性,优化配套栽培措施,对小麦品种(系)千粒重进行提升,实现品质产量协同改善。

参考文献:

- [1]曹廷杰,谢菁忠,吴秋红,等.河南省近年审定小麦品种基于系谱和 SNP 标记的遗传多样性分析[J].作物学报,2015,41(2):197.
CAO T J, XIE J Z, WU Q H, et al. Genetic diversity of registered wheat varieties in Henan Province based on pedigree and single-nucleotide polymorphism [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2015, 41(2):197.
- [2]张会芳,张建红,刘海礁,等.近 20 年黄淮冬麦区南片小麦种质性状演变及其育种价值评价[J].中国农业科技导报,2023,25(11):28.
ZHANG H F, ZHANG J H, LIU H J, et al. Evolution of wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm traits and evaluation of breeding value in southern Huang-Huai winter wheat

- region in recent 20 years [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2023, 25(11): 28.
- [3] XIE Q, SPARKES D L. Dissecting the trade-off of grain number and size in wheat [J]. *Planta*, 2021, 254(1): 3.
- [4] ERRUM A, REHMAN N, UZAIR M, *et al.* CRISPR/Cas9 editing of wheat *Ppd-1* gene homoeologs alters spike architecture and grain morphometric traits [J]. *Functional & Integrative Genomics*, 2023, 23(1): 66.
- [5] NING S Z, ZHAO L B, LI S J, *et al.* Delays in heading and improvements in both spikelet number and spike length are associated with the *Aegilops tauschii* photoperiod-sensitive *Ppd-D1b* allele [J]. *Cereal Research Communications*, 2023, 51(3): 593.
- [6] 田顺顺, 王冲, 郭凤芝, 等. 黄淮麦区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.
- TIAN S S, WANG C, GUO F Z, *et al.* Genetic diversity analysis of six agronomic traits of 180 wheat varieties in Huang-Huai wheat region [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2024, 28(1): 86.
- [7] 张婷, 袁凯, 史晓芳, 等. 黄淮麦区105份冬小麦农艺及品质性状的分析与评价[J]. 陕西农业科学, 2023, 69(5): 85.
- ZHANG T, YUAN K, SHI X F, *et al.* Analysis and evaluation of agronomic and quality traits of 105 wheat varieties in Huanghuai wheat region [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 69(5): 85.
- [8] DANIELSSON P E. Euclidean distance mapping [J]. *Computer Graphics and Image Processing*, 1980, 14(3): 227.
- [9] ALEJANDRO Q, GEMMA M, MATTHEW P. R, *et al.* Trade-off between grain weight and grain number in wheat depends on G×E interaction: A case study of an elite CIMMYT panel (CIMCOG) [J]. *European Journal of Agronomy*, 2018, 92: 17.
- [10] HALDER J, GILL H S, ZHANG J F, *et al.* Genome-wide association analysis of spike and kernel traits in the U. S. hard winter wheat [J]. *The Plant Genome*, 2023, 16: e20300.
- [11] VICENTIN L, CANALES J, CALDERINI D F. The trade-off between grain weight and grain number in wheat is explained by the overlapping of the key phases determining these major yield components [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2024, 15: 1380429.
- [12] SUKUMARAN S, LOPES M, DREISIGACKER S, *et al.* Genetic analysis of multi-environmental spring wheat trials identifies genomic regions for locus-specific trade-offs for grain weight and grain number [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2018, 131(4): 985.
- [13] 刘晓宇, 禹海龙, 裴星旭, 等. 黄淮南部地区小麦品种矮秆基因的组成及其对茎秆特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(8): 985.
- LIU X Y, YU H L, PEI X X, *et al.* Composition of dwarfing genes and their effects on stem characteristics of wheat varieties in the southern area of Huang-Huai wheat region [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(8): 985.
- [14] 曹廷杰, 张玉娥, 胡卫国, 等. 黄淮南片麦区新育成品种(系)中3个矮秆基因分子标记检测及其与农艺性状的关系[J]. 作物杂志, 2019(6): 14.
- CAO T J, ZHANG Y E, HU W G, *et al.* Detection of three dwarfing genes in the new wheat cultivars(lines) developed in south Huang-Huai valley and its association with agronomic traits [J]. *Crops*, 2019(6): 14.
- [15] YANG J, ZHOU Y J, HU W G, *et al.* Unlocking the relationships among population structure, plant architecture, growing season, and environmental adaptation in Henan wheat cultivars [J]. *BMC Plant Biology*, 2020, 20(1): 469.
- [16] CHAI L L, XIN M M, DONG C Q, *et al.* A natural variation in ribonuclease H-like gene underlies *Rht8* to confer “Green Revolution” trait in wheat [J]. *Molecular Plant*, 2022, 15(3): 377.
- [17] PÉREZ-GIANMARCO T I, SLAFER G A, GONZÁLEZ F G. Photoperiod-sensitivity genes shape floret development in wheat [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2019, 70(4): 1339.
- [18] HYLES J, BLOOMFIELD M T, HUNT J R, *et al.* Phenology and related traits for wheat adaptation [J]. *Heredity*, 2020, 125(6): 417.
- [19] 张会芳, 齐红志, 孙岩, 等. 黄淮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.
- ZHANG H F, QI H Z, SUN Y, *et al.* Character diversity analysis of new wheat varieties from different origins in Huang-Huai winter wheat region [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(3): 719.
- [20] 王亚飞, 李世景, 徐萍, 等. 黄淮和长江中下游冬麦区小麦品种(系)农艺性状及其聚类分析[J]. 中国生态农业学报, 2020, 28(3): 395.
- WANG Y F, LI S J, XU P, *et al.* Agronomic traits and cluster analysis of winter wheat varieties(lines) in the Huang-Huai and the middle/lower reaches of the Yangtze River wheat areas [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(3): 395.
- [21] 唐建卫, 高艳, 胡润雨, 等. 近十年基于重要小麦亲本周麦22的遗传改良[J]. 麦类作物学报, 2021, 41(3): 263.
- TANG J W, GAO Y, HU R Y, *et al.* Genetic improvement based on important wheat parent Zhoumai 22 in recent ten years [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(3): 263.
- [22] LI G W, REN Y, YANG Y X, *et al.* Genomic analysis of Zhou 8425B, a key founder parent, reveals its genetic contributions to elite agronomic traits in wheat breeding [J]. *Plant Communications*, 2025, 6: 3.
- [23] JIAO C Z, XIE X M, HAO C Y, *et al.* Pan-genome bridges wheat structural variations with habitat and breeding [J]. *Nature*, 2025, 637(8045): 384.
- [24] TALUKDER A S M H M, MCDONALD G K, GILL G S. Effect of short-term heat stress prior to flowering and early grain set on the grain yield of wheat [J]. *Field Crops Research*, 2014, 160: 54.
- [25] GREGERSEN P. L, HOLM P. B, KRUPINSKAK. Leaf senescence and nutrient remobilisation in barley and wheat [J]. *Plant Biology*, 2008, 10: 37.
- [26] 杨海峰, 朱坤, 屈涛, 等. 优质强筋小麦新品种新麦45特性及产量构成因素分析[J]. 农业科技通讯, 2022(4): 80.
- YANG H F, ZHU K, QU T, *et al.* Analysis of the characteristics and yield components of the new high-quality strong-gluten wheat variety Xinmai 45 [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2022(4): 80.