

网络出版时间:2026-05-29

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.S.20260528.1508.004

490 份小麦种质资源在鲁西南地区的 遗传多样性分析及综合评价

杨本洲, 张玉丹, 陈贵菊, 邵敏敏, 王福玉, 黄玲,
赵凯, 郑兰心, 孙雷明, 翟红梅, 王霖

(济宁市农业科学研究院, 山东济宁 272031)

摘要:为深入了解国内外小麦种质的遗传特征,筛选优异资源进行合理的亲本组配,以490份小麦种质资源为试验材料,对其旗叶长度、株高、可育小穗数、千粒重、产量等22个主要农艺性状,以及籽粒粗蛋白含量、湿面筋含量、沉降值、容重等7个品质性状进行遗传多样性分析及综合评价。结果表明,490份小麦种质资源表型多样性丰富。主要农艺性状的变异系数为1.65%~16.75%,抽穗期最低,穗粒数最高,遗传多样性指数为1.74~2.07,平均1.97;籽粒品质性状的变异系数为1.45%~15.93%,沉降值最高,容重最低,遗传多样性指数为2.01~2.07,平均2.04。经相关性分析,旗叶长度、株高、可育小穗数、穗粒数、千粒重与产量之间呈极显著相关;籽粒粗蛋白含量、湿面筋含量、沉降值与延展性之间两两互呈极显著正相关。通过主成分分析提取到3个主成分,累计贡献率为64.64%,其中第1、第2主成分主要反映产量相关性状信息,第1、第3主成分主要反映品质相关性状信息。通过聚类分析将490份小麦种质分为5个类群,类群I平均产量最高,类群II平均穗粒数最多,类群IV平均生育期最短,类群V粗蛋白含量、湿面筋含量、沉降值、延展性明显高于其他类群。综合来看,类群I、IV产量性状较优异,类群V品质性状表现突出。基于隶属函数值分析的综合评价结果显示,xf19200、西科麦3号、山农71、Flanders等22份小麦种质的综合性状较好,可结合聚类分析所属类群的特征有选择地利用。

关键词:小麦;种质资源;遗传多样性指数;隶属函数值

中图分类号:S512.1;S330

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2026)07-0909-16

Genetic Diversity Analysis and Comprehensive Evaluation of 490 Wheat Germplasm Resources in Southwest Region of Shandong Province

YANG Benzhou, ZHANG Yudan, CHEN Guiju, SHAO Minmin, WANG Fuyu, HUANG Ling,
ZHAO Kai, ZHENG Lanxin, SUN Leiming, ZHAI Hongmei, WANG Lin

(Jining Academy of Agricultural Sciences, Jining, Shandong 272031, China)

Abstract: To gain an deep understanding of the genetic characteristics of domestic and foreign wheat germplasm and to screen superior resources for rational parental combinations, 490 wheat germplasm resources were used as experimental materials. Genetic diversity analysis, correlation analysis, clustering analysis, principal component analysis, subordinate function analysis and comprehensive evaluation were conducted on 22 major agronomic traits (including flag leaf length, plant height, number of fertile spikelets, thousand-kernel weight, kernels per spike, yield and *et al.*) and 7 quality traits (including grain crude protein content, wet gluten content, sedimentation value, volume weight and *et al.*). The results showed that the 490 wheat germplasm resources had abundant phenotypic diver-

收稿日期:2025-12-11 修回日期:2026-03-13

基金项目:山东省现代农业产业技术体系项目(SDAIT-01-18);济宁市重点研发计划项目(2023NYNS014, 2022NYNS027);济宁市农业科学研究院青年科研基金项目(2024JNNKY002);山东省农业良种工程项目(2019LZGC016)

第一作者 E-mail: yangbz96@163.com (杨本洲)

通讯作者 E-mail: cgj1020@163.com (陈贵菊)

sity. The coefficient of variation(CV) for major agronomic traits ranged from 1.65% to 16.75%, being lowest for heading period and highest for kernels per spike. The genetic diversity index ranged from 1.74 to 2.07, with an average of 1.97, being highest for the number of fertile spikelets and lowest for growth period. The CV for grain quality traits ranged from 1.45% to 15.93%, being highest for sedimentation value and lowest for bulk weight. The genetic diversity index of grain quality traits ranged from 2.01 to 2.07, with an average of 2.04. Correlation analysis results indicated that: flag leaf length, plant height, number of fertile spikelets, kernels per spike, and thousand-kernel weight showed highly significant correlations with yield. Grain crude protein content, wet gluten content, and sedimentation value showed highly significantly positive pairwise correlations with extensibility. Principal component analysis(PCA) extracted three principal components, with a cumulative contribution rate of 64.64%. Among these: the first and second principal components mainly reflected information related to yield-related traits, and the first and third principal components mainly reflected information related to quality traits. Through cluster analysis, the 490 wheat germplasm resources were divided into five groups. Group I had the highest average yield; Group II had the highest average kernels per spike; Group IV had the shortest average growth period, and Group V exhibited significantly higher crude protein content, wet gluten content, sedimentation value, and extensibility compared to the other groups. Overall, Groups I and IV demonstrated superior yield-related traits, while Group V showed outstanding quality-related traits. Comprehensive evaluation based on subordinate function analysis indicated that 22 wheat germplasms, including xf19200, Xikemai 3, Shan-nong 71, and Flanders exhibited better comprehensive traits. These can be selectively utilized based on the characteristics of their respective clusters in conjunction with the cluster analysis results.

Keywords: Wheat; Germplasm resources; Genetic diversity index; Subordinative function value

小麦是一种分布广泛的世界性粮食作物,年产7.38亿t,为人类提供约20%的食物热量,其可持续发展为保障中国乃至世界粮食安全、维护社会稳定做出了重大贡献^[1-2]。近年来,随着经济的快速发展和人民生活水平的提高,对小麦的产量和品质提出了更高的要求。小麦产量的增加主要得益于高产品种的推广、施肥量的增加、科学合理的田间管理措施以及机械化程度的提高等,其中,高产品种的培育对产量提高的贡献最大^[3-4]。

小麦种质资源是新品种选育的重要基础,其遗传多样性研究对小麦品种遗传改良具有重要作用^[5-6]。目前,遗传变异分析、相关分析和聚类分析等方法已被广泛应用在小麦种质资源综合评价中。张凡等^[7]对620份小麦种质资源的主要农艺性状进行遗传多样性分析发现,多个性状的变异系数在28%以上,表明供试材料具有丰富的遗传变异;张敏敏等^[8]对近25年中国审定的彩色小麦农艺及品质性状分析发现,产量、生育期与湿面筋含量的变异幅度较大,能够为育种材料的选择提供丰富的遗传背景资源;许娜丽等^[9]对251份小麦种质的主要性状进行相关及聚类分析,结果表

明10个农艺性状存在不同程度的相关性,同时将种质资源分为六大类群,各类群中含有不同的优异性状,可根据育种目标进行亲本组配;金艳等^[10]分析了40份CIMMYT小麦新种质在黄淮海区的遗传多样性特征,对其进行聚类,明确不同类群材料的特点及利用方向,为提升黄淮海区小麦产量与品质提供了资源基础。隶属函数值分析法是作物综合评价的又一重要手段,目前已广泛应用在海棠^[11]、菊花^[12]、辣椒^[13]、番茄^[14]、油梨^[15]等园艺作物中,但利用隶属函数值对小麦种质资源进行综合评价的相关报道较少。

在长期的小麦选择育种过程中,由于所使用的亲本资源多以核心改良品种为主,地方品种和野生品种因农艺性状较差而遭到“排挤”,导致育成品种遗传背景同质化严重,优良抗性基因逐渐丢失^[16-17]。针对此问题,本研究对包括现代品种、农家品种、国外引进资源在内的490份小麦种质进行遗传多样性分析及综合评价,结合育种目标,以期筛选出适宜在鲁西南地区进行亲本组配的材料,为小麦新品种的培育提供理论依据及参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为 490 份小麦种质,其中现代品种(系)447 份,农家品种 26 份,国外种质 17 份,均由山东农业大学农学院作物遗传育种系提供。

1.2 试验设计

试验于 2023—2024 和 2024—2025 连续两个年度在山东省小麦产业技术体系济宁综合试验站试验基地进行。该基地位于鲁西南地区(35.45°N,116.58°E,海拔 31.3 m),年平均气温 13.3~14.1℃,年平均降水 600~820 mm。试验田土壤为壤土,地势平坦,灌排方便,前茬为玉米。每份材料种植 4 行,行长 1.75 m,行距 0.25 m,田间管理同大田生产。

1.3 农艺性状测定

参照《农作物品种区域试验技术规程 小麦》^[18],田间调查记载生育期、抽穗期、抗冻性、抗倒伏性、旗叶长度、分蘖数、穗型、芒长;于自然发病状态下分级记载条锈病、叶锈病、白粉病和赤霉病抗性情况;于成熟期测量株高;收获前选取有代表性的 15 个单穗带回室内考种,测定其穗长、总小穗数、可育小穗数、穗粒数,收获后测定千粒重并对其粒质、粒色、饱满度进行分级记载,同时计算产量。

1.4 品质性状测定

利用近红外分析仪(DA 7250)测定籽粒水分含量、粗蛋白含量、湿面筋含量、吸水率、沉降值、容重、延展性,重复 3 次,取平均值。

1.5 统计分析

利用 Excel 2019 进行基础数据的处理及遗传多样性指数的计算。遗传多样性指数的计算采用 Shannon-Wiener 指数^[7],计算公式: $H' = -\sum P_i \ln P_i$,式中 P_i 为某一性状第 i 个级别出现的频率。计算参试材料各性状平均值 X 和标准差 d ,将性状数据依次从第 1 级 [$X_i < (X - 2d)$] 划分到第 10 级 [$X_i > (X + 2d)$],每级相差 0.5 d ,每一级的频率用于计算遗传多样性指数。

利用隶属函数值分析法^[19]对数据进行标准化处理,计算公式为: $X_{ij} = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$,式中 X_{ij} 为第 i 个品系的 j 指标的隶属函数值, X_{ij} 为第 i 个品系的 j 指标的测定值, X_{jmax} 和 X_{jmin} 分别为 j 指标的最大测定值和最小测定值。

采用 SPSS 27.0 进行主成分分析,利用 Origin 2021 软件进行相关性热图、箱线图的制作和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 小麦种质资源农艺和品质性状表型变异及遗传多样性分析

为了便于统计分析,将 22 个农艺性状划分为 11 个数量性状和 11 个质量性状,表型变异及遗传多样性分析结果如表 1 和表 2 所示。490 份小麦种质资源 11 个数量性状的变异系数为 1.65%~16.75%,除生育期、抽穗期之外,均表现出较高的变异系数,具体表现为穗粒数>产量>千粒重>旗叶长度>穗长>株高>分蘖数>可育小穗数>总小穗数>生育期>抽穗期。11 个数量性状的遗传多样性指数变化范围为 1.74~2.07,平均 1.97,其中可育小穗数(2.07)最高,生育期(1.74)最低。11 个质量性状的频率最高级别分别为抗冻性(叶尖受冻)、抗倒伏性(未倒伏)、条锈病(中感)、叶锈病(中抗)、白粉病(中抗)、赤霉病(高抗)、穗型(纺锤形)、芒(长芒)、饱满度(中等)、粒质(硬质)、粒色(白色)。11 个质量性状的遗传多样性指数变化范围为 0.04~1.00,平均 0.61,具体表现为饱满度>白粉病>条锈病>叶锈病>粒质>穗型>抗冻性>抗倒伏性>粒色>芒>赤霉病,赤霉病最低可能是发病情况整体偏轻所致,11 个质量性状的遗传多样性指数明显低于 11 个数量性状。

490 份小麦种质 7 个籽粒品质性状的表型变异如表 3 所示,变异系数为 1.45%~15.93%,具体表现为沉降值>延展性>粗蛋白含量>湿面筋含量>吸水率>水分含量>容重。7 个籽粒品质性状的遗传多样性指数相差不大,范围为 2.01~2.07,平均 2.04。

综上,490 份种质资源主要农艺性状和籽粒品质性状差异大,遗传背景丰富,可从中选取优异材料进行亲本组配。

2.2 农艺性状及品质性状相关性分析

11 个农艺性状(图 1A)及 7 个籽粒品质性状(图 1B)之间存在不同程度的相关性。生育期与抽穗期、旗叶长度、株高呈极显著正相关($P < 0.01$),与产量呈极显著负相关($P < 0.01$,下同);抽穗期与旗叶长度、株高呈极显著正相关,与产量呈极显著负相关;旗叶长度与株高、穗长呈极显著

表 1 小麦种质资源农艺性状(数量性状)的变异

Table 1 Variation on agronomic traits(quantitative traits) of wheat germplasm resources

项目 Item	生育期 Growth stage/d	抽穗期 Heading stage/d	旗叶长度 Flag leaf length/mm	单株分蘖数 Tiller number per plant	株高 Plant height/cm	穗长 Spike length/cm	每穗总小穗数 Total spikelet number per spike	每穗可育小穗数 Fertile spikelet number per spike	穗粒数 Kernels per spike	千粒重 Thousand-kernel weight/g	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)
最小值 Minimum value	219	181	134.1	8.0	63.3	5.18	15.0	14.4	27.6	23.40	3 595.76
最大值 Maximum value	245	202	303.4	25.1	116.8	12.92	25.0	23.8	85.0	58.45	10 893.67
极差 Range	26	22	169.3	17.1	53.5	7.74	10.0	9.4	57.4	35.05	7 297.91
平均值 Average value	234	189	190.4	16.2	84.1	9.04	19.7	18.5	46.9	42.78	7 573.72
标准差 Standard deviation	4.20	3.12	22.60	1.51	8.17	1.11	1.38	1.48	7.85	5.62	1 160.81
变异系数 Coefficient of variation/%	1.80	1.65	12.39	9.30	9.71	12.29	7.01	7.97	16.75	13.13	15.33
遗传多样性指数 Genetic diversity index	1.74	1.76	2.00	2.01	1.95	2.01	2.04	2.07	1.99	2.06	2.07

表 2 小麦种质资源农艺性状(质量性状)的变异

Table 2 Variation on agronomic traits(qualitative traits) of wheat germplasm resources

项目 Item	遗传多样性指数 Genetic diversity index	频率分布 Frequency distribution				
		1	2	3	4	5
抗冻性 Frost resistance	0.64	0.000 0	0.808 2	0.136 7	0.034 7	0.020 4
抗倒伏性 Lodging resistance	0.56	0.857 1	0.036 7	0.036 7	0.069 4	0.000 0
条锈病抗性 Stripe rust resistance	0.79	0.030 6	0.000 0	0.391 8	0.577 6	0.000 0
叶锈病抗性 Leaf rust resistance	0.77	0.030 6	0.026 5	0.724 5	0.218 4	0.000 0
白粉病抗性 Powdery mildew resistance	0.89	0.008 2	0.042 9	0.708 2	0.055 1	0.185 7
赤霉病抗性 Wheat scab resistance	0.04	0.002 0	0.993 9	0.000 0	0.004 1	0.000 0
穗型 Spike type	0.66	0.795 9	0.149 0	0.032 7	0.022 4	0.000 0
芒 Awn	0.30	0.920 4	0.008 2	0.000 0	0.000 0	0.071 4
籽粒饱满度 Grain fullness	1.00	0.289 8	0.575 5	0.116 3	0.018 4	
粒质 Grain hardness	0.67	0.783 7	0.118 4	0.098 0		
粒色 Grain color	0.35	0.112 2	0.887 8			

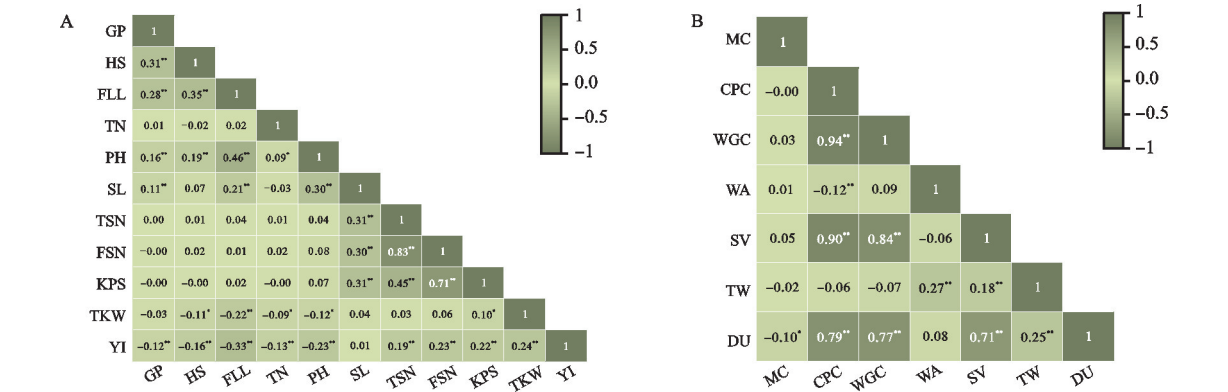
抗冻性 1~5 级依次为无冻害、叶尖受冻、叶片冻死一半、叶片全枯、植株冻死。抗倒伏性 1~5 级依次为未倒伏、倒伏轻微、中等倒伏、倒伏较严重、倒伏严重。病害 1~5 级依次为免疫、高抗、中抗、中感、高感。穗型 1~5 级依次为纺锤形、长方形、圆锥形、棍棒形、椭圆形。芒 1~5 级依次为长芒、短芒、曲芒、顶芒、无芒。饱满度 1~4 级依次为饱满、中等、欠饱、瘪。粒质 1~3 级依次为硬质、半硬质、软(粉)质。粒色 1~2 级依次为红色(包括淡红色)、白色(包括淡黄色)。

Frost resistance levels 1—5 correspond to no freeze damage, leaf tip freezing, half of the leaves dying, all leaves withering, and plant death. Lodging resistance levels 1—5 correspond to no lodging, slight lodging, moderate lodging, severe lodging, and very severe lodging. Disease resistance levels 1—5 correspond to immune, highly resistant, moderately resistant, moderately susceptible, and highly susceptible. Spike type levels 1—5 correspond to spindle-shaped, rectangular, conical, club-shaped, and elliptical. Awn levels 1—5 correspond to long awn, short awn, curved awn, terminal awn, and awnless. Fullness levels 1—4 correspond to full, medium, less full, and shriveled. Grain texture levels 1—3 correspond to hard, semi-hard, and soft(floury). Grain color levels 1—2 correspond to red(including light red) and white(including light yellow).

表 3 小麦种质资源品质性状的变异

Table 3 Variation on quality traits of wheat germplasm resources

项目 Item	水分含量 Moisture content/%	粗蛋白含量 Crude protein content/%	湿面筋含量 Wet gluten content/%	吸水率 Water absorption/%	沉降值 Sedimentation volume/cm ³	容重 Test weight/(g·L ⁻¹)	延展性 Extensibility /mm
最小值 Minimum value	11.98	10.64	21.78	48.80	16.30	765.54	104.40
最大值 Maximum value	14.38	19.36	40.66	65.20	45.20	837.29	193.10
极差 Range	2.40	8.72	18.88	16.40	28.90	71.75	88.70
平均值 Average value	12.93	14.29	30.89	58.16	28.78	798.45	146.45
标准差 Standard deviation	0.35	1.22	2.39	2.86	4.58	11.61	13.42
变异系数 Coefficient of variation/%	2.67	8.53	7.74	4.91	15.93	1.45	9.17
遗传多样性指数 Genetic diversity index	2.04	2.01	2.02	2.04	2.03	2.07	2.06



GP:生育期;HS:抽穗期;FLL:旗叶长度;TN:分蘖数;PH:株高;SL:穗长;TSN:总小穗数;FSN:可育小穗数;KPS:穗粒数;TKW:千粒重;YI:产量;MC:水分含量;CPC:粗蛋白含量;WGC:湿面筋含量;WA:吸水率;SV:沉降值;TW:容重;DU:延展性。表 6 同。*: $P<0.05$; **: $P<0.01$ 。

GP: Growth period; HS: Heading stage; FLL: Flag leaf length; TN: Tiller number; PH: Plant height; SL: Spike length; TSN: Total spikelet number; FSN: Fertile spikelet number; KPS: Kernels per spike; TKW: Thousand kernel weight; YI: Yield; MC: Moisture content; CPC: Crude protein content; WGC: Wet gluten content; WA: Water absorption; SV: Sedimentation value; TW: Test weight; DU: Extensibility. The same in table 6. *: $P<0.05$; **: $P<0.01$.

图 1 小麦种质资源农艺性状间(A)及品质性状间(B)的相关性

Fig. 1 Correlation among agronomic traits(A) and quality traits(B) of wheat germplasm resources

正相关,与千粒重、产量呈极显著负相关;分蘖数与产量呈极显著负相关;株高与穗长呈极显著正相关,与千粒重、产量呈极显著负相关;穗长、总小穗数、可育小穗数和穗粒数之间两两互呈极显著正相关;总小穗数、可育小穗数、穗粒数、千粒重与产量之间均呈极显著正相关;粗蛋白含量、湿面筋含量、沉降值与延展性之间两两互呈极显著正相关;吸水率与容重呈极显著正相关,与粗蛋白含量呈极显著负相关;容重与沉降值、延展性呈极显著正相关;延展性与水分含量呈显著负相关($P<0.05$)。

2.3 主成分分析

490 份小麦种质由于来源不同,生育期、分蘖

数、株高差异较大,不宜作为主成分分析的因子,而旗叶长度、穗长、可育小穗数、穗粒数、千粒重与产量息息相关,粗蛋白含量、湿面筋含量、沉降值和容重是反映小麦籽粒品质性状的重要指标,因此选择这 10 个性状进行主成分分析。如表 4 所示,KMO 值 >0.600 ,Bartlett 检验显著性表明 10 个性状间具有极显著的相关性($P<0.01$),可以进行主成分分析。10 个成分的特征值及贡献率如表 5 所示,特征值大于 1 的成分共有 3 个。主成分 1 的特征值为 3.39,方差贡献率为 33.85%;主成分 2 的特征值为 2.01,方差贡献率为 20.11%;主成分 3 的特征值为 1.07,方差贡献率为 10.68%,前 3 个主成分累计贡献率达 64.64%,可以反映原始

表 4 KMO 检验和 Bartlett 球形度检验

Table 4 KMO and Bartlett's sphericity test

检验指标 Test index	检验值 Test value
取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量 Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy	0.699
Bartlett 的球形度检验近似卡方 Bartlett's sphericity test approximately chi-square	2 729.963
自由度 Degree of freedom	45
显著性 Significance	0.000

表 5 各成分特征值及贡献率

Table 5 Characteristic value and contribution rate of components

成分 Component	特征值 Characteristic value	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	3.39	33.85	33.85
2	2.01	20.11	53.96
3	1.07	10.68	64.64
4	0.96	9.63	74.27
5	0.85	8.52	82.79
6	0.68	6.80	89.59
7	0.60	5.99	95.58
8	0.28	2.84	98.42
9	0.11	1.12	99.54
10	0.05	0.46	100

表 6 3 个主成分的特征向量

Table 6 Eigenvectors of the three principal components

性状 Trait	主成分 Principal component		
	1	2	3
FLL	0.607	0.109	-0.103
SL	0.207	0.587	0.064
FSN	-0.085	0.865	-0.021
KPS	-0.106	0.870	-0.047
TKW	-0.384	0.159	0.392
YI	-0.518	0.319	0.110
CPC	0.941	0.070	0.018
WGC	0.894	0.087	0.015
SV	0.923	0.067	0.222
TW	0.016	-0.090	0.913

数据的大部分信息。前 3 个主成分的特征向量值如表 6 所示,第 1 主成分中粗蛋白含量、湿面筋含量、沉降值、旗叶长度和产量权重较高,第 2 主成分中穗长、可育小穗数、穗粒数和产量权重较高,第 3 主成分中容重和千粒重权重较高,表明第 1、2 主成分主要反映产量相关性状信息,第 1、第 3 主成分主要反映品质相关性状信息。

2.4 小麦种质资源农艺和品质性状的聚类分析

采用系统聚类分析法对 490 份小麦种质的 11 个农艺性状及 7 个品质性状进行聚类分析,将其分为 5 个类群,结果如图 2 所示。类群 I 包括

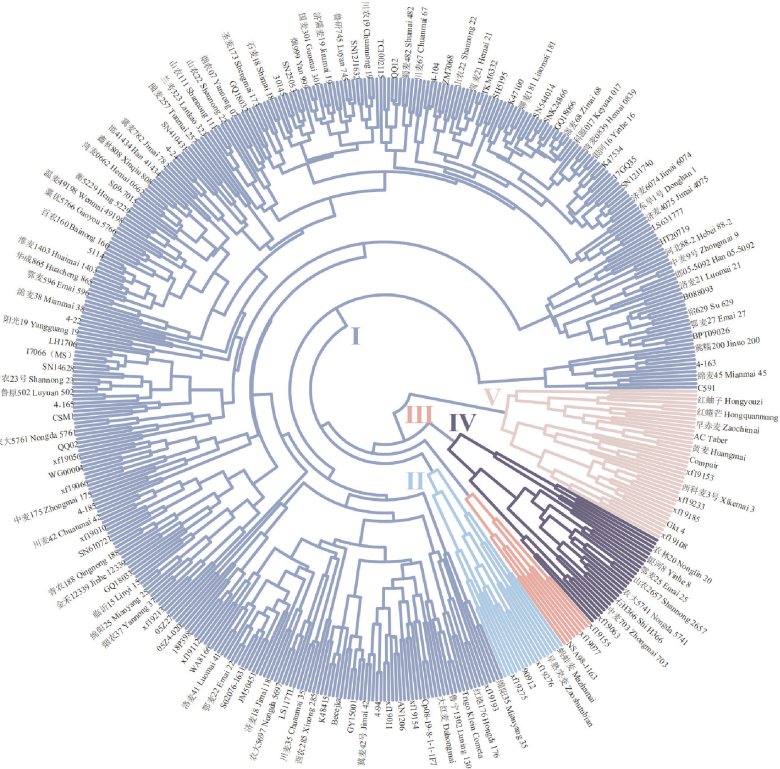


图 2 小麦种质资源的聚类分析结果

Fig. 2 Clustering analysis results of wheat germplasm resources

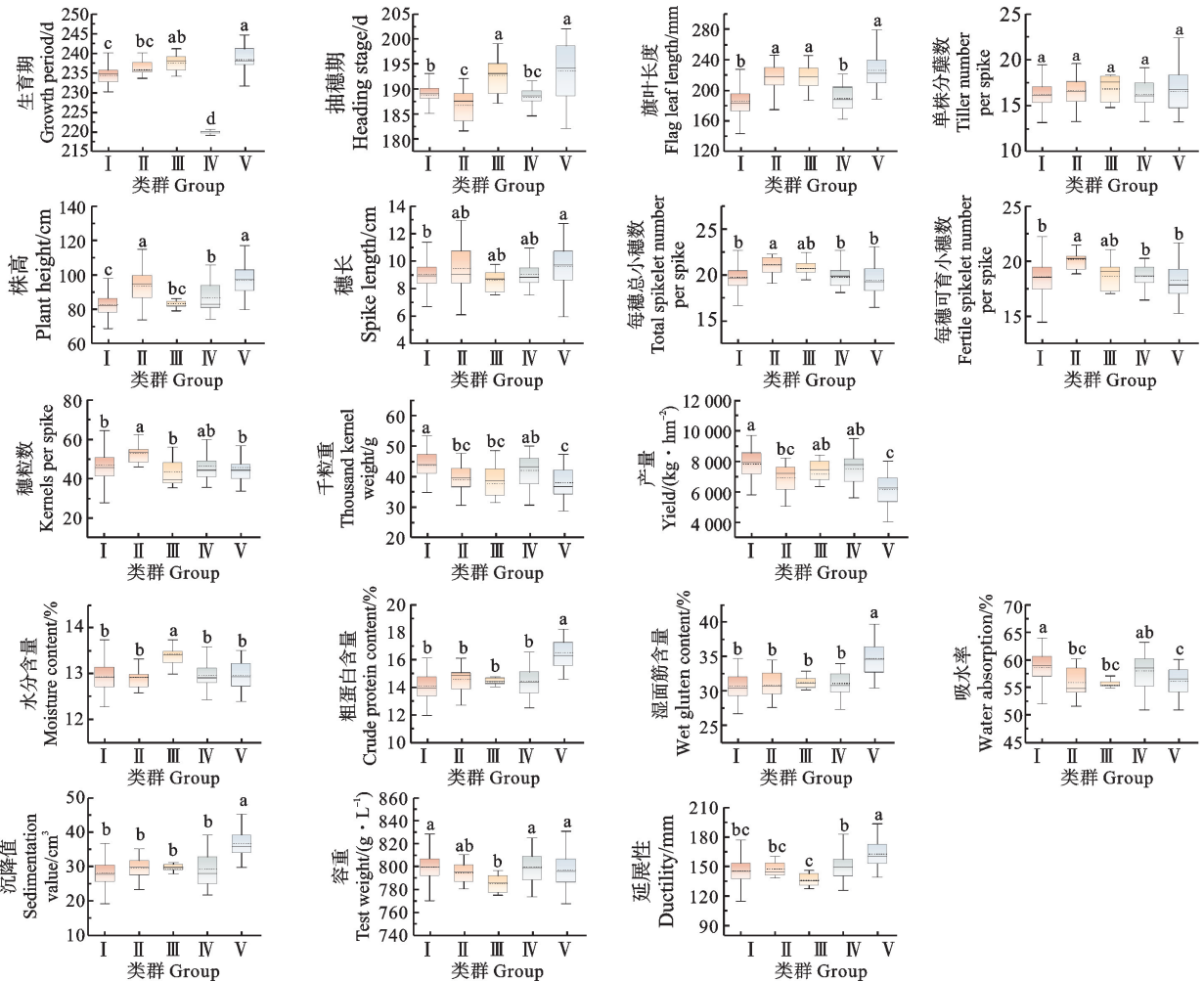
C591、中麦 9 号、济麦 4075 等 398 个品系,占比 81.22%;类群Ⅱ包括 xf19275、xf19276、蚂蚱麦等 17 个品系,占比 3.47%;类群Ⅲ包括 NSA98-1163、xf19077、xf19155 等 9 个品系,占比 1.84%;类群Ⅳ包括中麦 703、农大 5741、农林 20 等 27 个品系,占比 5.51%;类群Ⅴ包括西科麦 3 号、早赤麦、红蚰子等 39 个品系,占比 7.96%。

对 5 个类群的 18 个主要农艺和品质性状数据进行分析,结果(图 3)显示,类群Ⅰ平均产量最高,平均千粒重最大,株高 82 cm 左右,平均旗叶长度最小,平均生育期 234 d,适合作为高产尤其是高粒重种质进行亲本组配;类群Ⅱ平均可育小穗数、平均穗粒数最大,属于大穗型材料,但植株偏高,抗倒伏性差,平均产量偏低,使用时注意控制株高;类群Ⅲ水分含量显著高于其他类群,平均容重最低,延展性最差,其他性状适中;类群Ⅳ平

均产量仅次于类群Ⅰ,平均生育期最短,属于早熟高产种质;类群Ⅴ多为农家品种及国外引进种质,其粗蛋白含量、湿面筋含量、沉降值、延展性显著高于其他类群,平均旗叶长度最大,株高偏高且偏晚熟,可作为品质育种的亲本材料。综上,5 个类群种质资源各具特点,可根据育种目标有选择性地利用。

2.5 基于隶属函数值分析的小麦种质资源综合评价

根据隶属函数值公式对数据进行标准化处理,计算 490 份小麦种质农艺及品质性状的隶属函数值,再结合主成分分析结果,计算 3 个主成分的隶属函数值及综合得分,结果见表 7。综合得分范围为 0.248 8~2.259 7,当综合得分大于 1.5 时,共筛选出 22 份综合性状表现优异的种质(表 8),分别是 xf19200、xf19185、西科麦 3 号、Garant、黄塘麦、黄麦、xf19168、xf19237、红蜷芒、PR660111、



不同小写字母表示 0.05 水平显著差异性。
Different letters indicate significant difference at 0.05 level.

图 3 5 个类群小麦种质资源农艺及品质性状比较
Fig. 3 Comparison of agronomic and quality traits among five major groups of wheat germplasm resources

表 7 490 份小麦种质基本信息、所属类群及综合得分
Table 7 Basic information, group and comprehensive score of the 490 wheat germplasms

编号 Code	名称 Name	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank	类群 Group	编号 Code	名称 Name	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank	类群 Group
1001	C591	0.917 6	241	I	1049	15B7	0.639 7	436	I
1002	德抗 6756 Dekang 6756	0.929 5	233	Ⅲ	1050	K47070	0.497 3	478	I
1003	泰山 079 Taishan 079	0.939 7	226	I	1051	GQ18053	0.607 5	453	I
1004	4-183	0.782 1	348	I	1052	31715	0.918 0	240	I
1005	4-41	1.324 1	52	I	1053	K46932	0.658 8	422	I
1006	xf19140	1.514 6	22	V	1054	山农 32 Shannong 32	0.543 2	470	I
1007	xf19077	1.036 9	159	Ⅲ	1055	05Z4-020	1.340 1	49	I
1008	LS631777	0.758 5	362	I	1056	HT20719	1.036 3	160	I
1009	临农 11 Linnong 11	0.894 0	264	I	1057	CD0161446-9	1.284 9	67	I
1010	西农 501 Xinong 501	0.641 8	432	I	1058	中麦 9 号 Zhongmai 9	1.000 7	182	I
1011	xf19053	1.111 1	124	I	1059	东麦 1 号 Dongmai 1	0.991 7	191	Ⅳ
1012	K47211	0.754 6	367	I	1060	08RH95A	0.650 1	426	I
1013	轮选 45 Lunxuan 45	1.090 5	132	I	1061	4-17	0.917 6	242	Ⅳ
1014	航麦 3290 Hangmai 3290	0.791 8	339	I	1062	GQ18062	0.876 9	286	I
1015	石 CG061 Shi CG061	0.869 1	291	I	1063	SN2723	0.931 5	231	I
1016	济麦 58 Jimai 58	1.333 8	50	Ⅳ	1064	17GQ35	0.768 3	360	I
1017	温麦 4 号 Wenmai 4	0.800 9	336	Ⅲ	1065	洛旱 11 Luohan 11	0.636 5	439	I
1018	白丝瓜头 Baisiguatou	1.458 1	27	V	1066	4-161	0.731 1	379	I
1019	LH1706	0.487 9	479	I	1067	冀麦 42 号 Jimai 42	1.011 3	177	I
1020	晋麦 92 Jinmai 92	1.027 0	166	Ⅱ	1068	华 1341 Hua 1341	1.289 4	65	I
1021	德优 06-1 Deyou 06-1	0.825 3	319	I	1069	xf19114	1.322 7	54	V
1022	早赤麦 Zaochimai	1.285 3	66	V	1070	石新 828 Shixin 828	1.293 1	63	I
1023	cau45	1.140 9	109	I	1071	川麦 48 Chuanmai 48	1.118 6	121	I
1024	LS43223	0.711 7	392	I	1072	WG00004	0.714 2	388	I
1025	中麦 703 Zhongmai 703	0.758 7	361	Ⅳ	1073	29767	0.637 5	437	Ⅳ
1026	12J1679	0.911 0	251	I	1074	临 1808 Lin 1808	0.594 3	457	I
1027	ACGuvie	1.456 5	28	I	1075	华麦 8 号 Huamai 8	0.921 4	238	I
1028	LS2371	0.690 6	407	I	1076	鄂麦 27 Emai 27	0.961 3	214	I
1029	xf19265	0.505 2	477	I	1077	川麦 67 Chuanmai 67	0.908 3	252	I
1030	龙麦 1 号 Longmai 1	1.424 9	32	I	1078	衡 5229 Heng 5229	1.291 7	64	I
1031	银河 14 Yinhe 14	0.798 6	338	I	1079	济麦 18 Jimai 18	1.330 2	51	I
1032	中科 1707 Zhongke 1707	0.825 9	317	I	1080	29113	0.947 4	223	I
1033	FC022	0.855 3	302	I	1081	xf19052	1.069 5	138	I
1034	河北 88-2 Hebei 88-2	1.101 0	128	I	1082	AC Taber	1.040 7	157	V
1035	田晚 Tianwan	1.104 1	127	I	1083	GQ18021	0.906 1	254	I
1036	LS631444	0.825 1	320	I	1084	SN410431	0.861 5	296	I
1037	鄂麦 18 Emai 18	1.177 8	92	I	1085	银河 16 Yinhe 16	0.743 1	373	I
1038	岱麦 2417 Daimai 2417	0.705 3	396	I	1086	轮选 182 Lunxuan 182	0.911 7	250	I
1039	17066(MS)	0.862 6	295	I	1087	xf19055	0.981 0	200	I
1040	囤麦 257 Tunmai 257	1.132 5	112	I	1088	HH164019	0.801 3	335	I
1041	4-24	0.706 9	395	I	1089	xf19200	2.259 7	1	V
1042	烟农 136 Yannong 136	0.821 6	324	I	1090	洛麦 41 Luomai 41	1.253 0	73	I
1043	山农 23 号 Shannong 23	0.544 1	469	I	1091	百农 416 Bainong 416	0.620 3	448	I
1044	4-119	0.713 4	390	I	1101	4-113	0.896 2	262	I
1045	冀优 9618 Gaoyou 9618	0.888 4	271	Ⅲ	1102	4-23	0.834 5	314	I
1046	鄂麦 9 号 Emai 9	1.181 4	89	I	1103	xf19108	1.682 7	11	V
1047	xf19056	0.808 7	329	I	1104	SN25053	0.780 7	349	I
1048	许农 16 号 Xunong 16	0.846 7	306	I	1105	早熟突变 Zaoshutubian	0.895 6	263	Ⅱ

(续表 7 Continued table 7)									
编号 Code	名称 Name	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank	类群 Group	编号 Code	名称 Name	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank	类群 Group
1106	洛 36 Luo 36	1.019 0	172	I	1155	SN2684	0.893 2	265	I
1107	xf19110	1.239 5	75	V	1156	鄂麦 596 Emai 596	0.929 3	234	I
1108	15GQ32	0.714 2	389	I	1157	5114	0.890 2	267	I
1109	保丰 1082 Baofeng 1082	0.778 5	351	I	1158	SN14628	1.024 7	170	I
1110	仓蒲子 Cangpuzi	1.415 2	35	V	1159	鲁原 502 Luyuan 502	0.517 6	476	I
1111	烟 134 Yan 134	1.044 1	155	I	1160	鄂麦 22 Emai 22	1.348 2	47	I
1112	4-185	0.900 8	258	I	1161	4-16	0.986 1	197	I
1113	邯 05-5092 Han 05-5092	1.128 1	118	I	1162	WA8166	1.517 2	21	I
1114	九太石 Jiutaishi	1.148 6	105	Ⅳ	1163	GY2018	1.040 6	158	I
1115	荷麦 0666 Hemai 0666	1.345 0	48	I	1164	济麦 22 Jimai 22	0.996 2	188	I
1116	冀麦 479 Jimai 479	0.712 1	391	I	1165	兰考 323 Lankao 323	0.772 6	355	I
1117	冀麦 782 Jimai 782	0.782 4	347	I	1166	90912	1.153 5	102	Ⅱ
1118	科源 017 Keyuan 017	0.518 5	474	I	1167	GY5218	1.026 0	168	I
1119	BC16YTJ209	0.729 6	381	I	1168	31836-38	1.138 9	110	I
1120	淄麦 12 号 Zimai 12	0.968 0	212	I	1169	4-172	0.673 6	417	Ⅳ
1121	3637-1	0.584 4	462	I	1170	PR660115	1.384 1	39	V
1122	K48415	0.831 0	316	I	1171	ZHM31	1.248 9	74	I
1123	先圣 368 Xiansheng 368	0.850 1	305	I	1172	GQ18032	0.529 7	472	I
1124	xf19010	0.808 2	330	I	1173	xf19191	0.959 2	215	I
1125	蚂蚱麦 Mazhamai	1.193 0	86	Ⅱ	1174	糯麦 116 Nuomai 116	0.775 1	353	I
1126	K47335	0.589 8	458	I	1175	Trigo Klein Cometa	1.178 8	91	I
1127	洛麦 21 Luomai 21	0.789 9	342	I	1176	xf19275	1.190 2	88	Ⅱ
1128	Cp08-19-8-1-1-1F7	1.379 7	42	I	1177	济麦 4075 Jimai 4075	0.677 4	416	I
1129	蔷薇麦 Qiangweimai	1.487 8	24	V	1178	石 040278 Shi 040278	0.636 1	440	I
1130	宿 9833 Su 9833	1.031 8	162	I	1179	BC1330895	1.062 5	143	I
1131	山农 22 Shannong 22	0.755 2	365	I	1180	益科麦 3 号 Yikemai 3	1.300 3	60	I
1132	华 2749 Hua 2749	1.415 8	34	I	1181	Parsee	1.105 8	126	V
1133	PI127	0.972 7	205	I	1182	矮秆早 Aiganzao	1.017 6	173	I
1134	Rivadeneira	0.999 2	185	I	1183	宛麦 19 Wanmai 19	0.877 3	284	I
1135	GQ18066	0.784 1	346	I	1184	临沂 15 Linyi 15	0.613 0	450	I
1136	CP13-32-2 F5	0.905 7	255	I	1185	红螭芒 Hongquanmang	1.730 7	9	V
1137	藏冬 1 号 Zangdong 1	1.072 7	136	Ⅲ	1186	4-22	1.095 1	131	I
1138	4-163	0.926 6	235	I	1187	川麦 62 Chuanmai 62	0.681 7	413	I
1139	XY6253	0.901 4	257	I	1188	SN12J0925	1.098 2	129	I
1140	TKM6332	0.691 7	406	I	1189	K47981	0.687 6	408	I
1141	济儒麦 19 Jirumai 19	0.648 1	429	I	1190	GQ18041	0.732 8	378	I
1142	鲁原 143 Luyuan 143	0.724 9	385	I	1191	宿 9904 Su 9904	0.834 7	312	I
1143	SNK24866	0.658 6	423	I	1192	百农 160 Bainong 160	1.200 6	85	I
1144	新麦 29 Xinmai 29	0.633 6	442	I	1193	xf19237	1.765 7	8	V
1145	登海 216 Denghai 216	0.248 8	490	I	1194	封麦 6 号 Fengmai 6	0.622 8	447	I
1146	SNP4447	0.755 2	364	I	1195	襄麦 35 Xiangmai 35	0.757 1	363	I
1147	GQ18001	0.696 1	405	I	1196	泡子麦 Paozimai	1.235 4	78	V
1148	GQ18042	0.641 2	433	I	1197	紫优 6 号 Ziyou 6	1.179 4	90	Ⅳ
1149	绵阳 25 Mianyang 25	0.875 0	288	I	1198	鑫瑞麦 38 Xinruimai 38	0.566 1	466	I
1150	SN543842	0.774 5	354	I	1199	科成麦 4 号 Kechengmai 4	0.866 1	292	I
1151	西农 519 Xinong 519	1.064 8	142	I	1200	国麦 301 Guomai 301	0.584 5	461	I
1152	TTM118	0.784 6	345	I	1201	冀 5385 Ji 5385	1.026 6	167	I
1153	4-94	0.870 1	289	I	1202	周麦 25 Zhoumai 25	0.977 8	202	I
1154	轮选 181 Lunxuan 181	1.065 3	140	I	1203	GQ18059	0.468 3	481	I

(续表 7 Continued table 7)

编号 Code	名称 Name	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank	类群 Group	编号 Code	名称 Name	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank	类群 Group
1204	宁 11133 Ning 11133	0.954 8	221	I	1253	鲁宁 1302 Luning 1302	1.310 5	57	I
1205	SN544014	0.890 0	268	I	1254	SN610721	0.921 5	237	I
1206	农大 5697 Nongda 5697	1.171 0	95	I	1255	05Z27	1.000 2	183	I
1207	华 1315 Hua 1315	0.913 9	248	I	1256	SN055387	1.021 2	171	I
1208	聊麦 182 Liaomai 182	0.752 8	368	I	1257	GQ18075	0.915 3	244	I
1209	GQ18054	0.545 1	467	IV	1258	日喀则 17 号 Rikaze 17	1.150 5	104	III
1210	SN044	0.707 2	394	I	1259	陕 150 Shaan 150	1.323 1	53	I
1211	Becejka	1.270 7	69	I	1260	扬麦 10 号 Yangmai 10	0.883 5	274	I
1212	GQ18071	0.604 4	454	I	1261	xf19252	1.676 8	12	V
1213	xf19285	0.658 0	425	I	1262	4-96-2	0.477 1	480	I
1214	GY15001	0.922 4	236	I	1263	农大 5761 Nongda 5761	0.659 8	421	I
1215	烟农 07 Yannong 07	0.824 4	322	I	1264	xf19093	1.430 0	30	I
1216	4-148	1.051 7	149	I	1265	NSA98-1163	0.917 6	243	III
1217	青春 533 Qingchun 533	1.156 5	99	I	1266	SN1126	0.770 4	357	I
1218	西科麦 3 号 Xikemai 3	1.881 0	3	V	1267	17J287	0.855 6	301	I
1219	西辐 13 Xifu 13	0.995 3	190	I	1268	10RH95A	0.824 9	321	II
1220	4-31	0.897 0	261	I	1269	红地 176 Hongdi 176	1.172 6	93	I
1221	科农 2011 Kenong 2011	0.959 0	217	I	1270	SN410308	1.143 7	106	I
1222	K47100	0.634 0	441	I	1271	济麦 19 Jimai 19	0.869 9	290	IV
1223	18P398	0.940 1	225	I	1272	xf19229	1.354 4	46	I
1224	4-62	0.889 4	270	I	1273	CD0161526-1	1.064 8	141	I
1225	烟 1212 Yan 1212	0.632 7	443	I	1274	xf19153	1.238 2	77	V
1226	Compair	1.428 5	31	V	1275	xf19042	0.989 8	194	I
1227	中麦 29 Zhongmai 29	0.986 8	195	I	1276	30395	0.572 7	464	I
1228	65(EM1693)	1.012 8	176	V	1277	荆麦 103 Jingmai 103	0.933 1	228	I
1229	LS434618	1.408 1	36	I	1278	xf19155	1.155 8	100	III
1230	GY15065	1.051 4	150	I	1279	JM899	0.703 3	399	I
1231	H95G26	0.822 5	323	I	1280	CP12-8-4-1 F6	0.999 5	184	I
1232	川农 19 Chuannong 19	0.600 7	456	I	1281	冀麦 665 Jimai 665	0.685 2	410	I
1233	黄麦 Huangmai	1.786 8	6	V	1282	GQ18031	0.879 4	281	I
1234	东早 1 号 Donghan 1	0.746 6	371	I	1283	17P74	1.088 5	133	I
1235	05Z6-014	0.957 5	218	I	1284	TCI002115	1.054 7	148	I
1236	漯麦 163 Luomai 163	0.611 7	451	I	1285	31899-900	0.885 7	272	I
1237	阳光 808 Yangguang 808	0.897 1	260	I	1286	临早 6 号 Linhan 6	0.914 8	245	I
1238	石 14-5061 Shi 14-5061	0.741 5	374	I	1287	鑫星 169 Xinxing 169	0.722 6	386	I
1239	邯 154335 Han 154335	0.577 2	463	I	1288	4-165	0.802 9	333	I
1240	4-54	0.627 0	444	I	1289	西农 285 Xinong 285	0.959 1	216	I
1241	SY13	0.708 6	393	I	1290	绵麦 43 Mianmai 43	0.861 1	297	I
1242	武农 148 Wunong 148	0.970 2	210	I	1291	荷麦 21 Hemai 21	0.835 2	311	I
1243	Y15-211	0.625 2	445	I	1292	SN42301	0.666 8	419	I
1244	安南麦 Annanmai	1.220 8	82	V	1293	QQ02	0.990 5	193	I
1245	扬麦 4 号 Yangmai 4	1.261 0	71	I	1294	xf19149	0.913 6	249	I
1246	4-178	1.128 1	117	I	1295	LS117TL	0.996 1	189	I
1247	xf19154	1.071 5	137	I	1296	银河 8 Yinhe 8	0.914 8	246	IV
1248	冀麦 239 Jimai 239	0.859 2	299	I	1297	CSM1	0.788 6	343	I
1249	品育 8176 Pinyu 8176	0.787 6	344	IV	1298	CM5973	0.884 4	273	I
1250	SN543872	1.222 7	80	I	1299	山农 111 Shannong 111	0.643 4	431	I
1251	FG-1	1.080 9	134	II	1300	ZM7068	0.833 1	315	I
1252	Granizo	0.640 9	434	I	1301	xf19185	2.056 5	2	V

(续表 7 Continued table 7)									
编号 Code	名称 Name	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank	类群 Group	编号 Code	名称 Name	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank	类群 Group
1302	GQ18045	0.865 6	293	I	1352	冀糯 200 Jinuo 200	0.791 4	340	I
1303	RWG34	0.603 4	455	I	1353	汶农 19 Wennong 19	0.942 5	224	I
1304	冀麦 19 号 Jimai 19	0.879 1	282	I	1354	冀丰 703 Jifeng 703	0.997 8	186	I
1305	11J86	1.120 2	120	I	1355	鲁研 745 Luyan 745	0.725 8	384	I
1306	CJ8809	1.213 1	84	II	1356	农大 5741 Nongda 5741	0.727 6	383	IV
1307	农林 20 Nonglin 20	0.997 5	187	IV	1357	济麦 6074 Jimai 6074	0.772 0	356	I
1308	12H164	1.016 0	175	I	1358	xf19291	0.806 8	332	I
1309	xf19297	1.049 7	151	I	1359	同舟 16 Tongzhou 16	0.920 8	239	I
1310	冠麦 11 Guanmai 11	0.975 2	203	I	1360	绵阳 35 Mianyang 35	1.381 2	41	I
1311	90921	0.949 3	222	II	1361	大红麦 Dahongmai	1.221 8	81	I
1312	xf19248	0.880 2	280	I	1362	绵麦 45 Mianmai 45	0.740 6	375	I
1313	YG609	0.985 3	198	I	1363	4-106	0.882 1	277	I
1314	XMY	1.130 4	115	V	1364	红蚰子 Hongyouzi	1.357 1	45	V
1315	K47534	0.702 0	400	I	1365	4-169	0.442 2	486	I
1316	济麦 36 Jimai 36	1.163 7	97	I	1366	豫麦 34 Yumai 34	1.142 8	107	I
1317	圣麦 173 Shengmai 173	0.667 5	418	I	1367	xf19150	0.749 8	370	I
1318	631777	0.649 7	427	I	1368	温麦 49198 Wenmai 49198	0.972 3	206	I
1319	鲁研 1403 Luyan 1403	1.381 7	40	I	1369	川麦 53 Chuanmai 53	0.934 3	227	I
1320	红须 Hongxu	0.875 6	287	I	1370	川麦 42 Chuanmai 42	0.466 7	482	I
1321	31177	0.754 8	366	I	1371	BPT08139	1.003 7	181	I
1322	临旱 5078 Linhan 5078	0.818 9	326	I	1372	134393	0.686 3	409	I
1323	山农 22 Shannong 22	0.883 1	276	I	1373	LS2497	0.700 5	402	I
1324	xf19008	1.358 7	44	V	1374	SN12J1740	0.839 1	308	I
1325	GQ19055	0.735 4	377	I	1375	金来 32 Jinlai 32	0.769 1	359	I
1326	MM1403	0.973 1	204	III	1376	宿 629 Su 629	0.859 3	298	I
1327	石麦 25 Shimai 25	0.587 5	460	I	1377	LW15-B141	0.971 9	207	I
1328	Gkt 4	1.447 3	29	V	1378	淄麦 68 Zimai 68	0.699 1	403	I
1329	安农 179 Annong 179	0.684 1	411	I	1379	xf19233	1.600 8	16	V
1330	LX3158	0.801 7	334	I	1380	渝麦 11 号 Yumai 11	1.301 3	59	I
1331	晋麦 85 号 Jinmai 85	0.914 1	247	II	1381	31129	0.807 8	331	I
1332	JM50451	1.162 2	98	I	1382	BQ26	0.728 3	382	I
1333	永丰 103 Yongfeng 103	1.009 4	179	I	1383	29691	0.750 4	369	I
1334	黑芒麦 Heimangmai	1.131 2	113	I	1384	xf19269	0.991 1	192	V
1335	xf19171	0.956 8	219	IV	1385	川育 18 Chuanyu 18	1.029 5	163	I
1336	金禾 12339 Jinhe 12339	0.438 5	487	I	1386	B088093	1.133 2	111	I
1337	K48378	0.636 8	438	I	1387	圆堆小麦 Durum wheat	1.368 0	43	II
1338	阳光 19 Yangguang 19	1.043 6	156	I	1388	济麦 4 号 Jimai 4	1.079 6	135	I
1339	临麦 4 号 Linmai 4	0.821 4	325	I	1389	xf19192	1.306 8	58	I
1341	xf19196	1.483 9	25	I	1390	花 521 Hua 521	1.057 7	146	I
1342	鲁研 615 Luyan 615	0.865 2	294	I	1391	xf19130	1.061 4	144	I
1343	陕麦 139 Shaanmai 139	1.059 8	145	I	1392	PI660086	0.769 7	358	I
1344	xf19123	0.970 2	209	I	1393	莱州 953 Laizhou 953	1.297 1	61	I
1345	xf19274	0.809 6	328	I	1394	泰农 9236 Tainong 9236	0.649 3	428	I
1346	xf19011	0.905 4	256	I	1395	川农 18 Chuannong 18	1.155 4	101	II
1347	Flanders	1.616 6	15	V	1396	CD016J166	1.112 5	123	I
1348	鸟麦 Niaomai	1.638 7	14	V	1397	xf19213	1.168 1	96	I
1349	川麦 35 Chuanmai 35	1.213 3	83	I	1398	洛早 3 号 Luohan 3	0.835 8	309	I
1350	藁优 5766 Gaoyou 5766	1.262 3	70	I	1399	良星 619 Liangxing 619	0.646 6	430	I
1351	荷麦 0662 Hemai 0662	1.046 2	153	I	1400	红麦 Hongmai	1.129 6	116	IV

(续表 7 Continued table 7)

编号 Code	名称 Name	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank	类群 Group	编号 Code	名称 Name	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank	类群 Group
1401	鑫秋 808 Xinqiu 808	0.986 5	196	I	1451	闫麦 8911 Yanmai 8911	1.028 4	165	I
1402	xf19141	0.962 9	213	I	1452	08139-9	0.327 0	489	I
1403	烟 999 Yan 999	0.825 5	318	I	1453	青农 188 Qingnong 188	0.852 6	303	I
1404	QQ12	0.680 5	415	I	1454	xf19112	1.403 8	37	I
1405	Hoffman	1.318 8	55	I	1455	中麦 175 Zhongmai 175	0.892 5	266	I
1406	Fenice	1.067 9	139	I	1456	xf19066	1.192 2	87	I
1407	淮麦 1403 Huaimai 1403	1.006 3	180	I	1457	山农 Z08 Shannong Z08	1.033 8	161	I
1408	绵麦 38 Mianmai 38	0.818 4	327	I	1458	4-104	0.779 6	350	I
1409	小白头 Xiaobaitou	1.643 7	13	V	1459	师栾 02-1 Shiluan 02-1	1.106 1	125	I
1410	宿 1264 Su 1264	0.835 6	310	Ⅳ	1460	18P232	0.658 2	424	I
1411	洋拉子 Yanglazi	1.392 7	38	Ⅱ	1461	4-112	0.971 8	208	I
1412	烟 99102 Yan 99102	0.717 0	387	I	1462	邯 41434 Han 41434	1.097 7	130	I
1413	鄂麦 25 Emai 25	1.278 1	68	Ⅳ	1463	SN12J1632	0.738 1	376	I
1414	金禾 330 Jinhe 330	0.451 4	484	I	1464	临麦 2 号 Linmai 2	0.881 0	279	I
1415	徐麦 0023 Xumai 0023	0.623 1	446	Ⅳ	1465	儒 Q-1 Ru Q-1	0.834 6	313	I
1416	xf19061	1.544 2	19	V	1466	金禾 15174 Jinhe 15174	0.701 2	401	I
1417	GQ18033	0.790 2	341	I	1467	荷麦 0839 Hemai 0839	0.776 7	352	I
1418	山农 29 Shannong 29	0.587 8	459	I	1468	蜀麦 482 Shumai 482	0.978 8	201	I
1419	花培 1 号 Huapei 1	1.017 1	174	I	1469	BPT08058	1.045 3	154	I
1420	xf19235	0.704 0	398	I	1470	SN734	1.171 1	94	I
1421	石麦 18 Shimai 18	0.681 1	414	I	1471	聊麦 181 Liaomai 181	0.850 5	304	I
1422	xf19063	1.521 5	20	Ⅳ	1472	农大 5728 Nongda 5728	1.048 2	152	I
1423	洋四柱 Yangsizhu	1.294 0	62	Ⅱ	1473	苏州 8332 Suzhou 8332	1.009 6	178	I
1424	西农 529 Xinong 529	1.130 7	114	I	1474	xf19193	1.255 8	72	I
1425	华成 865 Huacheng 865	0.744 6	372	I	1475	PI660095	1.311 6	56	V
1426	LS4651	0.524 2	473	I	1476	SI3-2	0.883 4	275	I
1427	Turbo	1.581 0	17	V	1477	扬麦 15 Yangmai 15	0.445 5	485	I
1428	XM310	0.683 1	412	I	1478	xf19168	1.774 7	7	I
1429	TKM6215	0.907 2	253	I	1479	Garant	1.880 2	4	V
1430	xf19033	1.151 3	103	I	1480	11J73	0.929 9	232	I
1431	黄塘麦 Huangtangmai	1.817 8	5	V	1481	石 H366 Shi H366	1.028 7	164	Ⅳ
1432	GQ18006	0.956 8	220	I	1482	XM313	0.899 8	259	Ⅳ
1433	xf19113	1.229 4	79	I	1483	丰强 4 号 Fengqiang 4	1.467 4	26	Ⅳ
1434	K48108	0.662 0	420	I	1484	BPT08029	0.881 5	278	Ⅳ
1435	Anza	0.456 2	483	I	1485	中植 9 号 Zhongzhi 9	0.571 3	465	I
1436	GQ18014	0.729 7	380	I	1486	4-29	0.983 2	199	I
1437	中颖 8 号 Zhongying 8	0.609 6	452	I	1487	xf19276	1.057 4	147	Ⅱ
1438	川育 20 Chuanyu 20	1.127 4	119	I	1488	30145	0.517 6	475	I
1439	BPT09026	0.640 4	435	I	1489	4-95-2	0.843 1	307	I
1440	山农 2657 Shannong 2657	0.705 2	397	Ⅳ	1490	潍麦 1816 Weimai 1816	0.544 3	468	I
1441	D9921	0.889 6	269	I	1491	PR660111	1.719 7	10	V
1442	xf19072	1.495 3	23	Ⅱ	1492	鄂麦 26 Emai 26	0.933 0	229	I
1443	华麦 2668 Huamai 2668	1.025 5	169	Ⅳ	1493	17GQ12	0.614 9	449	I
1444	烟农 37 Yannong 37	0.332 1	488	I	1494	xf19099	1.141 8	108	I
1445	Yrinde bragilia	1.238 8	76	V	1495	AN1206	0.876 9	285	I
1446	S02076-1631	0.932 6	230	I	1496	HT153005	0.800 7	337	I
1447	LS4830	0.855 8	300	I	1497	蝉不吱 Chanbuzi	0.969 9	211	Ⅱ
1448	山农 71 Shannong 71	1.562 9	18	I	1498	LW15-B2471	1.418 4	33	Ⅳ
1449	冀麦 691 Jimai 691	0.536 8	471	I	1499	S09-7015	1.114 5	122	I
1450	SH5195	0.698 9	404	I	1500	K46990	0.878 5	283	I

表 8 22 份优异种质的主要性状
Table 8 Main traits of the 22 excellent germplasms

名称 Name	穗长 Spike length/cm	每穗可育小穗数 Fertile spikelet number per spike	穗粒数 Kernels per spike	千粒重 Thousand- kernel weight/g	产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)	粗蛋白含量 Crude protein content/%	湿面筋含量 Wet gluten content/%	沉降值 Sedimentation volume/cm ³	条锈病 Stripe rust resistance	叶锈病 Leaf rust resistance	白粉病 Powdery mildew resistance
xf19200	12.66	20.8	55.2	39.1	6 489.39	18.93	39.66	43.8	3	2	5
xf19185	11.50	16.8	46.6	44.9	5 957.48	19.36	40.66	41.0	3	4	5
西科麦 3 号 Xikemai 3	9.78	19.0	44.2	32.3	4 808.53	18.21	38.69	45.2	3	3	3
Garant	10.00	18.6	41.8	34.9	6 308.54	17.84	37.19	42.3	3	3	2
黄塘麦 Huangtangmai	11.48	17.8	42.6	42.0	4 106.40	17.67	36.36	41.9	3	3	3
黄麦 Huangmai	11.64	19.4	44.6	36.7	5 319.18	17.19	35.47	41.5	3	3	3
xf19168	11.52	21.0	63.4	42.6	8 319.19	16.61	36.09	40.2	3	1	3
xf19237	10.82	20.2	67.6	41.9	6 914.93	16.54	34.86	41.0	3	3	5
红蜚芒 Hongquanmang	9.80	20.2	67.4	34.8	6 723.44	16.30	34.49	39.5	3	3	4
PR660111	12.36	19.2	46.6	41.5	6 063.86	16.16	34.41	35.3	1	1	5
xf19108	10.10	21.4	61.4	28.6	6 468.12	16.90	35.47	37.1	3	1	2
xf19252	8.66	19.4	35.6	36.4	5 553.22	17.43	37.72	36.8	3	3	3
小白头 Xiaobaitou	9.42	20.2	58.8	33.7	4 021.30	16.69	34.74	37.1	3	3	4
鸟麦 Niaomai	8.58	17.8	40.8	34.5	6 659.61	17.62	36.70	42.4	1	1	4
Flanders	10.68	18.4	39.8	35.7	6 234.07	17.23	34.60	38.8	3	1	1
xf19233	11.77	18.3	39.7	32.1	6 702.16	17.11	36.34	34.0	3	1	3
Turbo	10.00	19.0	49.8	34.0	6 127.69	16.83	35.33	39.1	3	3	3
山农 71 Shannong 71	11.30	20.8	66.8	46.0	8 446.85	16.31	35.43	36.2	3	1	3
xf19061	6.98	18.4	39.6	47.0	7 659.61	17.91	37.87	38.6	1	3	5
xf19063	9.20	19.0	36.2	47.4	5 574.50	16.53	35.27	39.1	4	3	5
WA8166	9.40	18.4	47.6	42.6	6 446.84	16.58	35.81	40.7	1	3	5
xf19140	9.48	20.0	40.0	38.9	8 000.04	16.59	36.14	35.6	3	3	5

xf19108、xf19252、小白头、鸟麦、Flanders、xf19233、Turbo、山农71、xf19061、xf19063、WA8166、xf19140,主要分布在I、IV、V类群。其中xf19200、PR660111和xf19233属于大穗型材料,xf19237、红蜷芒、山农71、xf19168和xf19108属于高穗粒数材料,山农71、xf19168和xf19140属于高产材料,xf19185、xf19200、西科麦3号、xf19061、Garant、黄塘麦和鸟麦属于高粗蛋白含量材料,PR660111、鸟麦和Flanders属于抗病材料(自然发病状态下,对小麦条锈病、叶锈病和白粉病的抗性有两个达到1级),可根据育种目标有选择性地地进行遗传改良。

3 讨论

种质资源是作物遗传改良的基础,对其进行遗传多样性分析是提高育种效率的重要途径^[20]。种质资源的遗传背景越丰富,进行亲本组配选育优良品种的潜力就越大^[21]。上世纪的农业绿色革命大幅度提高了小麦的产量,但也导致了后续的人工选择方向过于单一^[22],尤其是近几年随着品种审定渠道的拓宽,品种数激增,但大多使用相似或亲缘关系较近的材料作为亲本,导致优质基因的丢失和育成品种遗传多样性的下降^[23],因此需要对现有种质资源进行充分挖掘,以应对气候变化和极端环境带来的挑战。本研究结果表明,除生育期和抽穗期较低外,490份小麦种质主要农艺性状的变异系数为7.01%~16.75%,表现出丰富的多样性,其中穗粒数(16.75%)、千粒重(13.13%)、穗长(12.29%)、分蘖数(9.30%)的变异系数大于总小穗数(7.01%)、可育小穗数(7.97%),这与前人^[24-25]研究结果大致相同,说明穗粒数、千粒重、穗长、分蘖数的遗传背景比总小穗数、可育小穗数更丰富,改良的空间更大。本研究中,490份小麦种质籽粒品质性状遗传变异分析结果表明,除沉降值(15.93%)的变异系数较大外,其他性状的变异系数均低于10%,容重最低,仅为1.45%,这与丁明亮等^[26]、金艳等^[27]研究结果一致,说明沉降值的改良潜力大,其他品质性状尤其是容重的改良潜力较小。本研究相关分析结果表明,490份小麦种质资源的可育小穗数、穗粒数、千粒重与产量之间均呈极显著正相关,符合生产实际,表明可以通过增加可育小穗数、穗粒数和千粒重,来达到提高产量的目的;此外,粗蛋白含量、湿面筋含量、沉降值之间呈极显著正相关,这与前

人^[9]研究结果高度吻合,表明在品质育种中可对这三个性状进行协同选择,提高育种效率。

主成分分析采用降维的方式,将多个原始变量转化为少数几个互相独立的新变量,使其尽可能多地反映原始变量的信息量^[28]。该方法目前已在小麦种质耐盐性鉴定^[29]、光效率筛选^[30]、氮效率评价^[31]等方面得到广泛应用。本研究以小麦种质的10个主要农艺与品质性状进行主成分分析,前3个主成分累计贡献率达64.64%,第1和第3主成分主要反映籽粒品质性状(湿面筋含量、粗蛋白含量、沉降值、容重等),第1和第2主成分主要反映产量相关性状(可育小穗数、穗粒数、穗长、旗叶长度等)。陈志豪等^[32]通过对24个小麦新品系的主成分分析得到了相似的研究结果。现代品种的选育通常是以产量结果为导向的,需经过多年的田间比较试验,导致选择方向较单一。而隶属函数值评价是针对所有表型性状进行综合分析,可以反映种质的综合特性^[33]。本研究采用主成分分析和隶属函数值分析相结合的方式对种质资源进行综合评价,克服了单一性状(如产量结果)评价种质资源所带来的局限性,使得结果可信度更高。本研究筛选出的优异材料多为地方品种(系),在穗部性状、品质性状、抗病性等方面表现突出,可根据育种目标有选择性地利用。

聚类分析法是进行作物种质资源遗传多样性研究的有力手段。张知等^[34]通过聚类分析将102份燕麦种质资源分为3个类群,分别具有矮秆、高籽粒产量、高秆高产饲用的特征;汪强等^[35]将257份小麦种质分为10类,其中第1类群种质农艺性状较好,蛋白质含量较低,可用于优质弱筋小麦新品种的选育。本研究通过系统聚类分析法将490份小麦种质分为5个类群,其中类群I的千粒重和产量最高,类群IV的生育期最短,平均产量排名第二,表明这2个类群种质高产潜力大;类群V的粗蛋白含量、湿面筋含量、沉降值、延展性明显高于其他类群,可用于小麦品质育种;但类群V仅包含39份种质资源,说明籽粒品质性状优异的种质资源相对匮乏,今后应重视搜集、利用国外优质强筋品种,以满足育种目标的变化。需要指出的是,由于490份种质资源来源不同,个别材料因光温环境差异过大可能出现发育变化,难以正常成熟,导致品质数据的可靠性降低,且近红外分析法对小麦种质品质性状的检测存在一定误差,因此后续还需开展多点鉴定试验对其品质性状进行

更加准确地测量。另外,本研究仅对小麦种质的表型性状进行分析,未对其基因型数据进行探讨,因此接下来需要针对不同类群种质的优异性状进行分子水平的鉴定,为小麦品种改良提供宝贵的新基因资源。

4 结论

在本研究条件下,490份小麦种质资源的农艺性状中,穗粒数的变异系数最大,可育小穗数的遗传多样性指数最高,旗叶长度、株高、可育小穗数、穗粒数、千粒重与产量之间存在极显著相关关系;籽粒品质性状中,沉降值的变异系数最大,容重的遗传多样性指数最高,粗蛋白含量、湿面筋含量、沉降值、延展性两两之间均存在极显著正相关关系;采用系统聚类分析法,将490份小麦种质分为5个类群,类群I、IV产量相关性状较优异,类群V籽粒品质性状表现突出;通过隶属函数值分析、主成分分析进行种质资源综合评价,筛选出22份优异种质,可根据育种目标有选择性地亲本组配。

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].农学学报,2018,8(1):107.
HE Z H,ZHUANG Q S,CHENG S H,*et al.* Wheat production and technology improvement in China [J]. *Journal of Agriculture*,2018,8(1):107.
- [2]赵广才,常旭虹,王德梅,等.中国小麦生产发展潜力研究报告[J].作物杂志,2012(3):1.
ZHAO G C,CHANG X H,WANG D M,*et al.* Research report on development of China's wheat production potential [J]. *Crops*,2012(3):1.
- [3]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.
GAO Y M,JING M Y,CHEN W W,*et al.* Analysis of yield and quality traits of wheat cultivars over the past 20 years in China [J]. *Journal of Triticeae Crops*,2024,44(9):1152.
- [4]孙果忠.我国小麦种业发展现状及未来建议[J].农业科技通讯,2021(7):4.
SUN G Z. Development status and future suggestions of wheat seed industry in China [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*,2021(7):4.
- [5]马国江,马靖福,张沛沛,等.128份抗旱冬小麦新品系农艺性状遗传多样性分析[J].甘肃农业大学学报,2021,56(3):37.
MA G J,MA J F,ZHANG P P,*et al.* Genetic diversity analysis of agronomic characters of 128 new drought-resistant winter wheat strains [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*,2021,56(3):37.
- [6]宋全昊,曹燕威,金艳,等.50份ICARDA新引进小麦种质资源的综合评价[J].作物杂志,2024(4):54.
SONG Q H,CAO Y W,JIN Y,*et al.* Comprehensive evaluation of 50 wheat germplasm resources derived from ICARDA [J]. *Crops*,2024(4):54.
- [7]张凡,刘国涛,杨春玲.620份小麦种质资源农艺性状调查及其遗传多样性分析[J].山东农业科学,2022,54(3):15.
ZHANG F,LIU G T,YANG C L. Agronomic characters and genetic diversity of 620 wheat germplasms [J]. *Shandong Agricultural Sciences*,2022,54(3):15.
- [8]张敏敏,闫秋艳,董飞,等.近25年我国审定的彩色小麦农艺性状及品质特征分析[J].植物遗传资源学报,2023,24(2):458.
ZHANG M M,YAN Q Y,DONG F,*et al.* Analysis of agronomic and quality characters of color-grained wheat in China in the past 25 years [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*,2023,24(2):458.
- [9]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.
XU N L,WANG X H,MA D H,*et al.* Genetic diversity analysis of main agronomic and quality traits of 251 wheat germplasm resources [J]. *Journal of Southern Agriculture*,2021,52(9):2404.
- [10]金艳,马红珍,宋全昊,等.CIMMYT小麦种质资源在黄淮海区引种的遗传多样性综合评价[J].江苏农业科学,2024,52(2):46.
JIN Y,MA H Z,SONG Q H,*et al.* Comprehensive evaluation of genetic diversity of CIMMYT wheat germplasm resources introduced into Huang-Huai wheat region [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*,2024,52(2):46.
- [11]刘桂英,张锦梅,满丽婷,等.基于主成分和隶属函数值法的海棠表型分析与观赏性综合评价[J].经济林研究,2024,42(4):195.
LIU G Y,ZHANG J M,MAN L T,*et al.* Phenotypic analysis and ornamental comprehensive evaluation of *Malus* spp. based on principal component and membership function method [J]. *Non-wood Forest Research*,2024,42(4):195.
- [12]施旭丽,朱安超,陈发棣,等.17个菊花品种幼苗的耐镉性评价[J].植物资源与环境学报,2015,24(3):50.
SHI X L,ZHU A C,CHEN F D,*et al.* Evaluation on Cd resistance of seedlings of 17 cultivars of *Dendranthema morifolium* [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*,2015,24(3):50.
- [13]张哲,张红肖,严立斌,等.鸡泽辣椒果实品质评价研究[J].河北农业科学,2023,27(6):54.
ZHANG Z,ZHANG H X,YAN L B,*et al.* Study on the fruit quality evaluation of Jize pepper [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*,2023,27(6):54.
- [14]张焕焕,张宗杰,苏晓梅,等.45份番茄材料萌芽期耐盐碱性综合评价[J].中国蔬菜,2025(7):70.
ZHANG H H,ZHANG Z J,SU X M,*et al.* Comprehensive evaluation of saline-alkaline tolerance of 45 tomato materials during seed germination [J]. *China Vegetables*,2025(7):70.
- [15]王安娜,秦健,汤秀华,等.27个油梨品种果实品质分析与综合评价[J].果树学报,2026,43(1):65.
WANG A N,QIN J,TANG X H,*et al.* Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of 27 avocado varieties [J]. *Journal of Fruit Science*,2026,43(1):65.
- [16]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.
WANG P. The main problems and countermeasures of seed

- industry development in China [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2021, 23(11): 7.
- [17] 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.
- [18] 中华人民共和国农业农村部. 农作物品种区域试验技术规程小麦: NY/T 1301—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the peoples Republic of China. Technical procedures for wheat variety regional trials [S]. Beijing: China Standard Press, 2007.
- [19] 李小康, 吴崇宁, 王 维, 等. 人工合成六倍体小麦耐盐种质资源的筛选及评价[J]. 麦类作物学报, 2021, 41(12): 1487.
- LI X K, WU C N, WANG W, *et al.* Screening and evaluation of salt-tolerant germplasm of synthetic hexaploid wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(12): 1487.
- [20] 咎香存, 常莹莹, 董海滨, 等. 河南省小麦种质资源品质特性多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2025, 26(1): 67.
- ZAN X C, CHANG Y Y, DONG H B, *et al.* Quality characteristics diversity of wheat germplasm resources in Henan Province [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2025, 26(1): 67.
- [21] 郭鹏燕, 任杰成, 赵吉平, 等. 不同基因型冬小麦种质资源的遗传多样性研究[J]. 种子, 2021, 40(8): 25.
- GUO P Y, REN J C, ZHAO J P, *et al.* Study on genetic diversity of winter wheat germplasm resources with different genotypes [J]. *Seed*, 2021, 40(8): 25.
- [22] 王永红, 桂松涛, 李家洋. 古麦今用: 小麦种质资源的育种应用与展望[J]. 中国科学: 生命科学, 2024, 54(7): 1310.
- WANG Y H, GUI S T, LI J Y. Historic wheat for modern breeding: The breeding application and prospect of wheat germplasm resources [J]. *Scientia Sinica (Vitae)*, 2024, 54(7): 1310.
- [23] 李海泳, 殷贵鸿. 从国家粮食安全角度探讨我国小麦育种发展趋势[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(18): 36.
- LI H Y, YIN G H. On development trend of China's wheat breeding from perspective of national grain security [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(18): 36.
- [24] 颜群翔, 庞玉辉, 洪壮壮, 等. 141 份国内外小麦种质资源主要性状遗传多样性分析与特异性评价[J]. 作物杂志, 2025(1): 26.
- YAN Q X, PANG Y H, HONG Z Z, *et al.* Genetic diversity analysis and specificity evaluation of main traits of 141 wheat germplasm resources at domestic and foreign [J]. *Crops*, 2025(1): 26.
- [25] 郭鹏燕, 权宝全, 赵吉平, 等. 冬小麦种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(19): 109.
- GUO P Y, QUAN B Q, ZHAO J P, *et al.* Genetic diversity analysis of main agronomic traits of winter wheat germplasm resources [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2024, 52(19): 109.
- [26] 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.
- DING M L, LIN L P, LI M J, *et al.* Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of quality traits of wheat varieties (lines) bred in Yunnan [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2020, 51(2): 255.
- [27] 金 艳, 宋全昊, 宋佳静, 等. 69 份小麦种质资源的综合性评价[J]. 中国农业科技导报, 2024, 26(2): 33.
- JIN Y, SONG Q H, SONG J J, *et al.* Comprehensive evaluation of 69 wheat germplasm resources [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2024, 26(2): 33.
- [28] 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.
- NI Y J, JIANG X J, LU Z Q, *et al.* 30 worldwide wheat germplasm resources: Analysis and evaluation of main agronomic traits [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(3): 16.
- [29] 王宏凯, 赵靖怡, 郭宏娜, 等. 小麦种质资源耐盐性鉴定[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(2): 253.
- WANG H K, ZHAO J Y, GUO H N, *et al.* Identification of salt tolerance of wheat germplasm resources [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(2): 253.
- [30] 王颜玉, 尹奥杰, 王文定, 等. 基于主成分分析对 128 份小麦品种(系)光效率的综合评价[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(7): 80.
- WANG Y Y, YIN A J, WANG W D, *et al.* Comprehensive evaluation of light efficiency of 128 wheat varieties (lines) based on principal component analysis [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2025, 53(7): 80.
- [31] 赵 瑞, 张旭辉, 张程炆, 等. 小麦种质资源成株期氮效率评价及筛选[J]. 中国农业科学, 2021, 54(18): 3818.
- ZHAO R, ZHANG X H, ZHANG C Y, *et al.* Evaluation and screening of nitrogen efficiency of wheat germplasm resources at mature stage [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(18): 3818.
- [32] 陈志豪, 王 婷, 常旭虹, 等. 黄淮冬麦区北片冬小麦产量和品质性状的综合分析[J]. 作物杂志, 2025(6): 148.
- CHEN Z H, WANG T, CHANG X H, *et al.* Comprehensive analysis of yield and quality traits of wheat lines in the northern Huang-Huai winter wheat region [J]. *Crops*, 2025(6): 148.
- [33] 李悦婧, 黄雪琦, 白小明, 等. 329 份冰草材料种子表型性状遗传多样性分析与综合评价[J]. 中国草地学报, 2025, 47(5): 34.
- LI Y X, HUANG X Q, BAI X M, *et al.* Genetic diversity and phenotypic traits evaluation of 329 *Agropyron cristatum* germplasm resources [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2025, 47(5): 34.
- [34] 张 知, 邹璨阳, 梁秀芝, 等. 102 份燕麦种质资源遗传多样性及农艺性状综合评价[J]. 麦类作物学报, 2025, 45(6): 847.
- ZHANG Z, ZOU C Y, LIANG X Z, *et al.* Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of 102 oat germplasm resources based on main agronomic traits [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2025, 45(6): 847.
- [35] 汪 强, 沈会权, 徐 肖, 等. 小麦种质资源性状分析及遗传多样性评价[J]. 大麦与谷类科学, 2024, 41(3): 8.
- WANG Q, SHEN H Q, XU X, *et al.* Trait analysis and genetic diversity evaluation of wheat germplasm resources [J]. *Barley and Cereal Sciences*, 2024, 41(3): 8.