

DOI: 10.19462/j.cnki.zgzy.20251002001

基于多方法融合的丰产优质氮高效抗倒伏 小麦品种筛选与评价

张斯梅 杨国英 张传辉 顾东祥 黄琨 许博 顾克军
(江苏省农业科学院粮食作物研究所, 南京 210014)

摘要:为筛选兼具丰产、优质、氮高效及抗倒伏性的小麦品种,构建科学合理的综合评价体系,为品种选育与推广应用提供理论依据,以20个小麦品种为材料,通过大田试验系统测定其产量、品质、氮效率及抗倒伏性相关指标,综合运用相关性分析、主成分分析(PCA)、回归分析、熵权法、逼近理想解排序法(TOPSIS)和灰色关联分析法(GRA)进行多维度评价。结果表明,不同品种在有效穗数、产量、氮肥偏生产力、氮肥吸收效率、基部第2节间充实度等指标上存在较大变异。主成分分析提取出5个主成分,累计方差贡献率达81.597%。建立回归方程后筛选出有效穗数、产量、蛋白质含量、湿面筋含量、硬度、氮肥偏生产力、氮素利用效率、氮素收获指数、基部第2节间直径共9个关键评价指标。PCA、TOPSIS和GRA评价结果一致显示,淮麦46、淮麦50、徐麦100和徐麦2023在参试品种中排名靠前,综合表现优良,是兼具丰产、优质、氮高效及抗倒伏性的优良小麦品种,可在后续生产中扩大其种植面积。

关键词:小麦;综合评价;产量;品质;氮效率;抗倒伏

Screening and Evaluation of Wheat Cultivars with High Yield, Good Quality, High Nitrogen Use Efficiency, and Lodging Resistance Characteristics based on the Integration of Multiple Methods

ZHANG Simei, YANG Guoying, ZHANG Chuanhui,
GU Dongxiang, HUANG Kun, XU Bo, GU Kejun

(Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014)

小麦是我国主要粮食作物之一,对于保障国家粮食安全至关重要。江苏是我国小麦生产大省,2023年全省小麦种植面积约240万 hm^2 ,总产量约1374万 $\text{t}^{[1]}$,在我国小麦生产中占据重要地位。以淮河—苏北灌溉总渠为界,江苏省分为淮南和淮北两大麦区。淮北麦区是江苏省的小麦主产区,属北方冬麦区黄淮平原生态型。该地区为暖温带半湿润季风气候,年平均气温 $14\sim 15^\circ\text{C}$,年降水量 $940\sim 1140\text{mm}$,年平均日照时数 $2200\sim 2350\text{h}$,优越的

光热条件为小麦的光合作用和干物质积累提供了有力保障,使其成为规模化发展强筋、中筋等优质专用小麦的理想区域。随着人口持续增长、资源约束日益严峻以及消费需求不断升级,当前小麦生产在追求高产的同时,还需兼顾优良品质、氮肥高效利用等多重目标。实现丰产、优质、氮高效的协同发展,已成为适应绿色农业与可持续发展国家战略的迫切需求。此外,随着农业机械化和智能化水平的不断提高,抗倒伏性已成为影响小麦机械化收获效率及产量稳定性的关键因素。倒伏不仅影响小麦产量和籽粒品质,而且增加了田间机械化收获的难度和成

基金项目:江苏省重点研发计划(BE2022338)

通信作者:顾克军

本^[2]。因此,筛选和培育兼具丰产、优质、氮高效及抗倒伏性的小麦新品种,对于推动绿色农业转型、促进农业可持续发展具有重要意义。然而,这些性状间常存在错综复杂甚至相互制约的关系,这为多性状协同改良带来了巨大挑战。构建科学客观的综合评价体系,以甄别具备多重优良性状的基因型,实现优良品种的高效筛选,已成为小麦育种与栽培研究中亟待解决的关键问题。

前人研究主要涉及小麦产量、品质、氮效率、抗倒伏等单一或少数性状的叠加^[3-8],综合考虑产量、品质、氮效率、抗倒伏性的小麦品种综合评价研究鲜见报道。主成分分析(PCA)^[9]、逼近理想解排序(TOPSIS)^[10]、灰色关联分析(GRA)^[11-12]等多指标评价方法已被逐步应用于作物品种综合评价中,为实现品种性状的量化与排序提供了有效工具。与此同时,逐步回归分析^[13]也被广泛用于关键评价指标的筛选,在保证评价结果准确性的前提下提高了分析效率。尽管已有部分研究借助上述方法对小麦

品种开展了综合评价,并初步构建了若干评价指标体系,但多数研究或侧重于单一性状分析或涉及多指标但缺乏系统性整合。熵权法基于指标变异程度计算权重,具有客观赋权的优势,但将熵权法与TOPSIS、GRA等方法融合用于小麦品种综合评价的研究较为少见。

本研究以20个小麦品种为试验材料,通过大田试验系统测定产量、品质、氮效率及抗倒伏性相关指标,利用相关性分析、主成分分析明确各性状间的内在联系并对参试品种进行排序,采用熵权法、TOPSIS和GRA对参试品种进行多维度综合评价,筛选出多性状协同优化的优良品种,运用回归分析进一步甄别出用于小麦品种综合评价的关键指标,以为小麦品种选育与推广应用提供理论依据和决策支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料 参试材料为在江苏省审定或推广种植的20个小麦品种,具体信息见表1。

表1 参试小麦品种信息

| 编号 | 品种名称 | 生态类型 | 审定编号 | 育种单位 |
|----|---------|------|-------------------------|----------------------------|
| 1 | 徐麦 100 | 半冬性 | 苏审麦 20210011 | 江苏三好种业科技有限公司 |
| 2 | 徐麦 2023 | 半冬性 | 国审麦 20200071 | 江苏徐淮地区徐州农业科学研究所、中国种子集团有限公司 |
| 3 | 江麦 816 | 半冬性 | 苏审麦 201306 | 宿迁中江种业有限公司 |
| 4 | 江麦 186 | 半冬性 | 国审麦 20200065 | 宿迁中江种业有限公司 |
| 5 | 江麦 869 | 半冬性 | 苏审麦 20200019 | 宿迁中江种业有限公司 |
| 6 | 徐麦 818 | 半冬性 | 苏审麦 20180008 | 徐州佳禾农业科技有限公司 |
| 7 | 徐麦 185 | 半冬性 | 苏审麦 20210028 | 徐州佳禾农业科技有限公司 |
| 8 | 保麦 158 | 半冬性 | 苏审麦 20190008 | 江苏保丰集团公司 |
| 9 | 淮麦 66 | 半冬性 | 苏审麦 20210024 | 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所、淮阴师范学院 |
| 10 | 瑞华麦 516 | 弱春性 | 国审麦 20180048 | 江苏瑞华农业科技有限公司 |
| 11 | 瑞华麦 506 | 半冬性 | 苏审麦 20190010 | 江苏瑞华农业科技有限公司 |
| 12 | 瑞华麦 563 | 半冬性 | 苏审麦 20210025 | 江苏瑞华农业科技有限公司 |
| 13 | 徐麦 43 | 春性 | 国审麦 20230079 | 江苏徐淮地区徐州农业科学研究所 |
| 14 | 徐麦 35 | 半冬性 | 苏审麦 201502、国审麦 20170007 | 江苏徐淮地区徐州农业科学研究所 |
| 15 | 徐麦 45 | 半冬性 | 国审麦 20230058 | 江苏徐淮地区徐州农业科学研究所 |
| 16 | 连麦 12 | 半冬性 | 苏审麦 20210012 | 连云港市农业科学院 |
| 17 | 郑麦 1860 | 半冬性 | 国审麦 20190027 | 河南省农业科学院小麦研究所 |
| 18 | 淮麦 35 | 半冬性 | 国审麦 2013011 | 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所 |
| 19 | 淮麦 46 | 半冬性 | 国审麦 20190011 | 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所 |
| 20 | 淮麦 50 | 半冬性 | 苏审麦 20200016 | 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所 |

1.2 试验地点 试验于2023–2024年在江苏省农业科学院试验基地(33°36'N, 118°27'E)进行。土壤类型为黏壤土,小麦播种前试验地0~20cm土壤养分状况:有机质含量26.35g/kg、全氮含量1.64g/kg、碱解氮含量116.17mg/kg、有效磷含量34.47mg/kg、速效钾含量81.04mg/kg。前茬作物为水稻,水稻收获后秸秆全量粉碎还田。

1.3 试验设计 采用随机区组设计,3次重复。2023年10月26日播种,2024年6月7日统一收获。氮肥(N)每 hm^2 施用量为225kg,分基肥、分蘖肥和拔节肥施用,比例为5:1:4;磷肥(P_2O_5)和钾肥(K_2O)施用量均为112.5kg,作为基肥一次性施入。基肥于播种前施用,分蘖肥于3~4叶期施用,拔节肥于倒三叶期施用。其他田间管理措施按当地大面积生产规范进行。

1.4 测定项目与方法 于成熟期每小区选取3个长势均匀的 1m^2 样方统计有效穗数,计算折合每 hm^2 有效穗数。每小区随机连续取50穗,统计每穗粒数。各小区实收测产,按12.5%的含水量折算每 hm^2 产量。在测产籽粒中随机取1000粒称重,重复5次,按12.5%的含水量折算千粒重。

小麦收获后晒干籽粒,冷藏3个月,采用瑞典Pertent DA7200近红外分析仪测定籽粒蛋白质含量、

沉降值、湿面筋含量和硬度。

按以下公式计算氮肥利用效率。氮肥偏生产力(kg/kg) = 籽粒产量 / 施氮量;氮肥吸收效率(kg/kg) = 地上部植株氮素积累量 / 施氮量;氮素利用效率(kg/kg) = 籽粒产量 / 地上部植株氮素积累量;氮素收获指数(%) = 籽粒氮素积累量 / 地上部植株氮素积累量 $\times 100$ 。

于成熟期每个小区选取生长状况一致且具有代表性的小麦植株15株,测量株高、主茎基部第2节间长度和直径,计算基部第2节间充实度。株高为茎秆基部到穗顶(不包括麦芒)的长度。剥除主茎基部第2节间叶鞘,用直尺测量基部第2节间长度,用游标卡尺测量基部第2节间直径,将基部第2节间放入75℃烘箱烘干至恒重,用天平称其干重,计算单位长度节间干重,即为基部第2节间充实度。

1.5 数据分析 采用Microsoft Excel 2016进行数据处理,运用R软件进行相关性分析、主成分分析、回归分析、TOPSIS分析和灰色关联分析。

2 结果与分析

2.1 参试小麦品种主要性状分析 从表2可以看出,参试小麦品种每 hm^2 产量变幅为6667.47~9981.00kg,平均值为8250.49kg,产量在9000.00kg以

表2 参试小麦品种主要性状差异分析

| 性状 | 最小值 | 最大值 | 平均值 | 标准差 | 变异系数(%) |
|------------------------------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| 有效穗数(万穗/ hm^2) | 391.00 | 652.33 | 514.93 | 72.68 | 14.12 |
| 每穗粒数 | 31.91 | 41.13 | 36.40 | 2.54 | 6.99 |
| 千粒重(g) | 38.45 | 55.07 | 47.66 | 3.99 | 8.36 |
| 产量(kg/hm^2) | 6667.47 | 9981.00 | 8250.49 | 963.34 | 11.68 |
| 蛋白质含量(%) | 12.55 | 14.53 | 13.22 | 0.51 | 3.88 |
| 沉降值(mL) | 30.05 | 40.99 | 34.46 | 2.79 | 8.08 |
| 湿面筋含量(%) | 24.93 | 31.34 | 28.15 | 1.48 | 5.26 |
| 硬度(%) | 56.13 | 66.69 | 63.12 | 2.80 | 4.43 |
| 氮肥偏生产力(kg/kg) | 26.84 | 38.60 | 31.53 | 3.86 | 12.25 |
| 氮肥吸收效率(kg/kg) | 71.04 | 99.11 | 81.29 | 9.73 | 11.97 |
| 氮素利用效率(kg/kg) | 32.95 | 46.65 | 38.23 | 3.55 | 9.28 |
| 氮素收获指数(%) | 71.53 | 79.75 | 76.31 | 2.02 | 2.65 |
| 株高(cm) | 73.35 | 86.65 | 80.59 | 3.45 | 4.28 |
| 基部第2节间直径(mm) | 3.40 | 4.45 | 3.89 | 0.27 | 7.01 |
| 基部第2节间长度(cm) | 6.51 | 9.35 | 7.71 | 0.76 | 9.85 |
| 基部第2节间充实度(mg/cm) | 43.22 | 81.77 | 64.41 | 10.08 | 15.65 |

上的品种有徐麦 100、徐麦 2023、淮麦 35、淮麦 46 和淮麦 50。产量构成三要素中,有效穗数为 391.00 万~652.33 万穗/hm²,平均值为 514.93 万穗/hm²;每穗粒数为 31.91~41.13 粒,平均值为 36.40 粒;千粒重变化范围为 38.45~55.07g,平均值为 47.66g。在产量及其构成因素中,有效穗数和产量的变异程度较高,每穗粒数的变异系数最小。

在品质性状方面,小麦籽粒蛋白质含量为 12.55%~14.53%,平均值为 13.22%;沉降值为 30.05~40.99mL,平均值为 34.46mL;湿面筋含量为 24.93%~31.34%,平均值为 28.15%;硬度变化范围为 56.13%~66.69%,平均值为 63.12%。从变异程度来看,沉降值的变异系数最大,其次为湿面筋含量,而蛋白质含量和硬度的变异系数均低于 5.00%,表明这 2 个性状指标在不同品种间表现较为一致。

在氮肥利用方面,小麦氮肥偏生产力为 26.84~38.60kg/kg,平均值为 31.53kg/kg;氮肥吸收效率为 71.04~99.11kg/kg,平均值为 81.29kg/kg;氮素利用效率为 32.95~46.65kg/kg,平均值为 38.23kg/kg;氮素收获指数变化范围为 71.53%~79.75%,平均值为

76.31%。从变异程度来看,氮肥偏生产力和氮肥吸收效率的变异系数较高,分别为 12.25% 和 11.97%,氮素收获指数的变异系数最小,仅为 2.65%。

在抗倒伏性方面,株高变化范围为 73.35~86.65cm,平均值为 80.59cm;基部第 2 节间直径为 3.40~4.45mm,平均值为 3.89mm;基部第 2 节间长度为 6.51~9.35cm,平均值为 7.71cm;基部第 2 节间充实度为 43.22~81.77mg/cm,平均值为 64.41mg/cm。其中,基部第 2 节间充实度的变异系数最大,株高的变异系数最小。

2.2 相关性分析 由表 3 可知,产量三要素间均为负相关关系,产量与有效穗数呈极显著正相关,有效穗数与千粒重呈显著负相关。品质性状方面,各指标间存在正相关关系,其中沉降值与蛋白质含量、湿面筋含量呈显著正相关,蛋白质含量与湿面筋含量呈极显著正相关。抗倒伏指标中,基部第 2 节间长度与基部第 2 节间充实度呈极显著正相关。氮肥利用相关指标中,氮肥偏生产力与氮肥吸收效率呈极显著正相关,与氮素收获指数呈极显著负相关;氮肥吸收效率与氮素利用效率、氮素收获指数均呈极显

表 3 参试小麦品种主要性状相关性分析

| 指标 | 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 | X ₁₅ | X ₁₆ |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| X ₁ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| X ₂ | -0.418 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| X ₃ | -0.504* | -0.043 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| X ₄ | 0.668** | 0.067 | 0.036 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| X ₅ | 0.557* | -0.160 | -0.053 | 0.519* | 1 | | | | | | | | | | | |
| X ₆ | -0.161 | 0.137 | 0.225 | -0.053 | 0.522* | 1 | | | | | | | | | | |
| X ₇ | 0.348 | -0.059 | -0.036 | 0.331 | 0.869** | 0.538* | 1 | | | | | | | | | |
| X ₈ | -0.221 | -0.249 | 0.139 | -0.391 | 0.168 | 0.365 | 0.178 | 1 | | | | | | | | |
| X ₉ | 0.760** | 0.027 | -0.127 | 0.958** | 0.533* | -0.156 | 0.316 | -0.447* | 1 | | | | | | | |
| X ₁₀ | 0.748** | -0.052 | -0.142 | 0.856** | 0.473* | -0.232 | 0.341 | -0.396 | 0.908** | 1 | | | | | | |
| X ₁₁ | -0.518* | 0.170 | 0.265 | -0.306 | -0.383 | 0.058 | -0.369 | 0.061 | -0.390 | -0.685** | 1 | | | | | |
| X ₁₂ | -0.713** | 0.257 | 0.396 | -0.498* | -0.244 | 0.247 | -0.054 | 0.274 | -0.585** | -0.641** | 0.549* | 1 | | | | |
| X ₁₃ | -0.084 | -0.060 | 0.317 | 0.086 | -0.115 | -0.158 | -0.336 | 0.273 | 0.022 | -0.105 | 0.225 | 0.161 | 1 | | | |
| X ₁₄ | -0.377 | 0.168 | 0.484* | -0.136 | -0.052 | 0.195 | -0.077 | 0.017 | -0.141 | -0.132 | 0.027 | 0.211 | 0.381 | 1 | | |
| X ₁₅ | 0.215 | 0.090 | 0.037 | 0.408 | 0.263 | 0.153 | 0.366 | -0.114 | 0.301 | 0.254 | 0.009 | -0.045 | -0.175 | -0.234 | 1 | |
| X ₁₆ | -0.478* | 0.261 | 0.305 | -0.203 | -0.102 | 0.210 | 0.182 | -0.074 | -0.333 | -0.355 | 0.305 | 0.458* | -0.212 | -0.026 | 0.591** | 1 |

*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上存在显著、极显著相关性;X₁:有效穗数;X₂:每穗粒数;X₃:千粒重;X₄:产量;X₅:蛋白质含量;X₆:沉降值;X₇:湿面筋含量;X₈:硬度;X₉:氮肥偏生产力;X₁₀:氮肥吸收效率;X₁₁:氮素利用效率;X₁₂:氮素收获指数;X₁₃:株高;X₁₄:基部第 2 节间直径;X₁₅:基部第 2 节间长度;X₁₆:基部第 2 节间充实度;下同

显著负相关;氮素利用效率与氮素收获指数则呈显著正相关。

产量性状指标与品质性状指标的相关性分析显示,有效穗数、产量与蛋白质含量均呈显著正相关,产量与沉降值、硬度呈负相关。产量性状指标与氮肥利用指标关系密切,表现为有效穗数和产量均与氮肥偏生产力、氮肥吸收效率呈极显著正相关,与氮素收获指数呈显著或极显著负相关,有效穗数与氮素利用效率呈显著负相关。此外,蛋白质含量与氮肥偏生产力、氮肥吸收效率呈显著正相关,硬度与氮肥偏生产力呈显著负相关。抗倒伏指标与产量、品质指标间无显著相关性,但基部第2节间充实度与氮素收获指数呈显著正相关。

2.3 主成分分析 对参试小麦品种的16个性状指标进行主成分分析,以特征值大于1为标准,共提取出5个主成分(表4)。这5个主成分的累计贡献率达81.597%,表明所提取的主成分能够较好地代表原始性状指标包含的主要信息。具体来看,第1主成分的特征值为5.407,贡献率为33.791%,其中有效穗数、产量、氮肥偏生产力和氮肥吸收效率的

特征向量值较大,表明该主成分主要反映了产量与氮效率的综合信息;第2主成分的特征值为2.674,贡献率为16.715%,沉降值和湿面筋含量的特征向量值较为突出,说明该主成分主要反映了品质性状的信息;第3主成分的特征值为1.956,贡献率为12.222%,其中每穗粒数和基部第2节间充实度的特征向量值较大,该主成分主要反映了每穗粒数和茎秆充实度信息;第4主成分的特征值为1.851,贡献率为11.566%,株高和基部第2节间直径的特征向量值较大,该主成分主要反映了株高和茎粗信息;第5主成分的特征值为1.168,贡献率为7.303%,基部第2节间长度和株高的特征向量值较大,该主成分主要反映了植株基部节间长度及株高信息。

在主成分分析的基础上,进一步计算了各品种在5个主成分上的得分,并以方差贡献率为权重计算综合得分 Y ,最终根据 Y 值大小对各品种进行排序(表5)。 Y 值越高,代表品种的综合性状表现越优。结果显示,淮麦46的 Y 值最高,淮麦50次之,再次是徐麦100和徐麦2023,说明这4个品种的综合性状较好。

表4 参试小麦品种主要性状主成分分析

| 指标 | 第1主成分 | 第2主成分 | 第3主成分 | 第4主成分 | 第5主成分 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 有效穗数 | 0.914 | -0.132 | -0.164 | -0.127 | 0.199 |
| 每穗粒数 | -0.184 | 0.156 | 0.559 | 0.157 | -0.556 |
| 千粒重 | -0.356 | 0.323 | 0.027 | 0.666 | 0.180 |
| 产量 | 0.827 | 0.108 | 0.264 | 0.402 | 0.132 |
| 蛋白质含量 | 0.630 | 0.627 | -0.348 | 0.057 | -0.026 |
| 沉降值 | -0.109 | 0.790 | -0.289 | 0.012 | -0.232 |
| 湿面筋含量 | 0.464 | 0.780 | -0.207 | -0.133 | -0.104 |
| 硬度 | -0.330 | 0.293 | -0.707 | -0.070 | 0.256 |
| 氮肥偏生产力 | 0.898 | -0.016 | 0.207 | 0.322 | 0.038 |
| 氮肥吸收效率 | 0.924 | -0.065 | 0.122 | 0.220 | -0.080 |
| 氮素利用效率 | -0.647 | 0.033 | 0.264 | 0.090 | 0.352 |
| 氮素收获指数 | -0.749 | 0.345 | 0.081 | 0.099 | 0.049 |
| 株高 | -0.190 | -0.227 | -0.242 | 0.702 | 0.370 |
| 基部第2节间直径 | -0.297 | 0.084 | -0.158 | 0.695 | -0.399 |
| 基部第2节间长度 | 0.289 | 0.540 | 0.518 | -0.089 | 0.420 |
| 基部第2节间充实度 | -0.383 | 0.575 | 0.560 | -0.154 | 0.181 |
| 特征值 | 5.407 | 2.674 | 1.956 | 1.851 | 1.168 |
| 贡献率(%) | 33.791 | 16.715 | 12.222 | 11.566 | 7.303 |
| 累计贡献率(%) | 33.791 | 50.506 | 62.728 | 74.294 | 81.597 |

表5 参试小麦品种主成分得分及排序

| 品种 | Y值 | 排序 | 品种 | Y值 | 排序 |
|---------|--------|----|---------|--------|----|
| 徐麦 100 | 3.411 | 3 | 瑞华麦 506 | -1.791 | 16 |
| 徐麦 2023 | 2.594 | 4 | 瑞华麦 563 | -1.142 | 12 |
| 江麦 816 | -0.429 | 11 | 徐麦 43 | -1.763 | 15 |
| 江麦 186 | 0.311 | 9 | 徐麦 35 | -1.973 | 17 |
| 江麦 869 | -3.776 | 20 | 徐麦 45 | 0.951 | 8 |
| 徐麦 818 | 1.054 | 7 | 连麦 12 | -1.688 | 14 |
| 徐麦 185 | -1.557 | 13 | 郑麦 1860 | 0.137 | 10 |
| 保麦 158 | -2.525 | 18 | 淮麦 35 | 1.634 | 5 |
| 淮麦 66 | 1.566 | 6 | 淮麦 46 | 4.409 | 1 |
| 瑞华麦 516 | -2.972 | 19 | 淮麦 50 | 3.550 | 2 |

2.4 回归分析 利用Y值和主要性状指标构建回归方程,筛选小麦品种综合评价指标。以Y值为因变量,以16个性状指标为自变量,采用逐步回归分析方法,得到回归方程: $y=0.133x_1+0.263x_4+0.107x_5+0.169x_7-0.079x_8+0.264x_9-0.144x_{11}-0.090x_{12}+0.159x_{14}$ 。式中, x_1 代表有效穗数, x_4 代表产量, x_5 代表蛋白质含量, x_7 代表湿面筋含量, x_8 代表硬度, x_9 代表氮肥偏生产力, x_{11} 代表氮素利用效率, x_{12} 代表氮素收获指数, x_{14} 代表基部第2节间直径。该回归方程的决定系数 R^2 为0.998,表明上述9个自变量共同解释了Y值总变异的99.8%,能够准确反映各性状指标与小麦品种综合表现之间的关系。从回归方程可以看出,有效穗数、产量、蛋白质含量、湿面筋含量、硬度、氮肥偏生产力、氮素利用效率、氮素收获指数和基部第2节间直径是影响小麦品种综合表现的主要因素,可作为小麦品种综合评价的关键指标。

2.5 TOPSIS分析 TOPSIS法是多目标决策常用的分析手段,通过计算评价对象与理想目标的接近度,来综合评价品种的相对优劣程度^[14]。首先,采用熵权法确定各指标的权重,以反映不同性状指标在综合评价中的相对重要性。在此基础上,构建加权标准化矩阵,进一步确定正理想解 S_i^+ 与负理想解 S_i^- ,计算各品种与正、负理想解的欧氏距离,并据此得出各品种与理想解的相对接近度 C_i ,依据 C_i 值对参试品种进行排序。 C_i 值越接近于1,代表该品种的综合性状越优。从表6可以看出, C_i 值排序前5位的品种依次为徐麦100、淮麦46、淮麦50、徐麦2023和淮麦35,表明这5个品种在多项性状指标上表现较好,综合性状优于其他参试品种。

表6 TOPSIS分析结果

| 品种 | S_i^+ | S_i^- | C_i | 排序 |
|---------|---------|---------|--------|----|
| 徐麦 100 | 0.1184 | 0.2016 | 0.6300 | 1 |
| 徐麦 2023 | 0.1203 | 0.1820 | 0.6021 | 4 |
| 江麦 816 | 0.1981 | 0.0991 | 0.3335 | 15 |
| 江麦 186 | 0.1575 | 0.1584 | 0.5014 | 6 |
| 江麦 869 | 0.2390 | 0.0893 | 0.2720 | 19 |
| 徐麦 818 | 0.1449 | 0.1413 | 0.4937 | 8 |
| 徐麦 185 | 0.1800 | 0.1464 | 0.4485 | 11 |
| 保麦 158 | 0.2163 | 0.0872 | 0.2873 | 17 |
| 淮麦 66 | 0.1549 | 0.1511 | 0.4938 | 7 |
| 瑞华麦 516 | 0.2250 | 0.0910 | 0.2880 | 16 |
| 瑞华麦 506 | 0.2212 | 0.0833 | 0.2736 | 18 |
| 瑞华麦 563 | 0.2014 | 0.1082 | 0.3495 | 14 |
| 徐麦 43 | 0.1934 | 0.1209 | 0.3847 | 12 |
| 徐麦 35 | 0.2157 | 0.1208 | 0.3589 | 13 |
| 徐麦 45 | 0.1581 | 0.1320 | 0.4550 | 9 |
| 连麦 12 | 0.2240 | 0.0812 | 0.2660 | 20 |
| 郑麦 1860 | 0.1612 | 0.1317 | 0.4496 | 10 |
| 淮麦 35 | 0.1521 | 0.1587 | 0.5107 | 5 |
| 淮麦 46 | 0.1303 | 0.2145 | 0.6222 | 2 |
| 淮麦 50 | 0.1310 | 0.2032 | 0.6080 | 3 |

2.6 灰色关联分析 灰色关联分析是一种用于多因素综合评价的系统分析方法,近年来已被广泛应用于小麦、水稻、玉米等多种作物的品种综合评价中^[11]。本研究将各性状指标的最优值设定为参考序列,依次计算各参试品种的性状序列与参考序列在各性状上的关联系数,进而求得关联度,并最终得到灰色评判值 G_i ,依据 G_i 值大小对所有参试品种进行排序。根据灰色关联分析原理, G_i 值越大,表示该品种的性状序列与参考序列的关联程度越高,综合性状表现越优。由表7可知, G_i 值排名前5位的品种依次为淮麦46、徐麦100、淮麦50、徐麦2023和徐麦185,表明这些品种的综合性状表现较优。淮麦46的 G_i 值最高,说明其性状序列与参考序列的关联程度最高,综合性状表现最为突出。

3 讨论

对20个小麦品种产量性状和品质性状的分析表明,产量和有效穗数的变异系数较大,每穗粒数的变异系数相对较小,说明不同品种在有效穗数方面具有较大的改良潜力,产量具备进一步提升的空间;

表7 灰色关联分析结果

| 品种 | G_i | 排序 | 品种 | G_i | 排序 |
|---------|--------|----|---------|--------|----|
| 徐麦 100 | 0.6290 | 2 | 瑞华麦 506 | 0.4370 | 17 |
| 徐麦 2023 | 0.5800 | 4 | 瑞华麦 563 | 0.4846 | 14 |
| 江麦 816 | 0.4541 | 15 | 徐麦 43 | 0.5232 | 11 |
| 江麦 186 | 0.5402 | 7 | 徐麦 35 | 0.4979 | 13 |
| 江麦 869 | 0.4333 | 19 | 徐麦 45 | 0.5274 | 10 |
| 徐麦 818 | 0.5354 | 8 | 连麦 12 | 0.4241 | 20 |
| 徐麦 185 | 0.5685 | 5 | 郑麦 1860 | 0.5275 | 9 |
| 保麦 158 | 0.4342 | 18 | 淮麦 35 | 0.5101 | 12 |
| 淮麦 66 | 0.5676 | 6 | 淮麦 46 | 0.6675 | 1 |
| 瑞华麦 516 | 0.4448 | 16 | 淮麦 50 | 0.6214 | 3 |

不同品种间沉降值差异最大,湿面筋含量次之,说明参试品种在加工品质方面具有明显分化,为选育优质专用型小麦品种提供了选择空间。在氮肥利用方面,氮肥偏生产力与氮肥吸收效率的变异系数较大,氮肥偏生产力是反映作物产量和氮肥投入综合效益的关键指标,其变异较大揭示了不同品种在氮肥综合利用能力上存在基因型差异;氮肥吸收效率的变异则体现了品种从土壤和肥料中吸收并同化氮素能力的差异,这通常与根系形态、生理特性及解剖结构相关。相比之下,氮素收获指数较为稳定,说明参试品种将吸收的氮素向籽粒转移和分配的能力相对保守。在抗倒伏性状方面,基部第2节间充实度的变异最为突出,基部第2节间直径和长度的变异幅度也较大,说明通过遗传改良提升茎秆质量以增强抗倒伏性具有较大潜力。株高变异系数最小,符合现代小麦育种中株高趋于一致的变化方向,也说明在相近株高背景下茎秆质量与结构是决定抗倒伏能力差异的主要因素。

本研究将丰产性、优质性、氮肥高效利用及抗倒伏能力整合于统一框架进行系统评价,采用PCA、TOPSIS、GRA等多方法融合的研究思路,对不同小麦品种的综合性状进行了交叉验证与综合评价。结果显示,不同评价方法所得品种排序高度一致,增强了评价结论的可靠性和稳健性。该研究策略不仅提升了作物品种综合评价的科学性与全面性,也为类似研究提供了方法学借鉴。淮麦46、淮麦50、徐麦100和徐麦2023在不同排序方法下表现突出、位次均居前列,产量均超过 $9000\text{kg}/\text{hm}^2$,蛋白质含量均高于13%,湿面筋含量均大于28%,沉

降值均超过32mL,氮肥偏生产力均高于 $35\text{kg}/\text{kg}$,氮肥吸收效率均大于 $90\text{kg}/\text{kg}$,株高均低于77cm,基部第2节间直径均大于3.70mm,因此被筛选为兼具丰产、优质、氮高效及抗倒伏性的优良品种。进一步分析其共性特征发现,这些品种均实现了主要性状的优异协同,可能蕴含不同的优良基因组合,可作为今后小麦育种的重要亲本材料,通过深入解析其主要性状的遗传机制,有望培育出更为优良的小麦新品种。

通过逐步回归分析,本研究筛选出有效穗数、产量、蛋白质含量、湿面筋含量、硬度、氮肥偏生产力、氮素利用效率、氮素收获指数及基部第2节间直径等作为综合评价的关键指标。所构建的评价体系覆盖丰产、优质、氮高效、抗倒伏性等多个方面,体现了多性状协同改良的现代育种理念,不仅适用于科研领域的品种选育与评价,也可为农业技术推广部门的品种推介及种植户的品种选择提供理论依据与实践支持。

综上所述,本研究筛选出淮麦46、淮麦50、徐麦100、徐麦2023等综合性状优良的小麦品种,并构建了多性状综合评价体系。该体系将通常独立考察的多个性状整合于统一分析框架,通过测定关键性状指标,实现对小麦新品种或主栽品种的高效、系统性评价。为进一步提升该体系的普适性与可靠性,后续需扩大参试品种规模,并在不同生态区进行多环境验证。未来还可开发专用软件或在线平台,推动评价过程向智能化、便捷化方向发展,从而为我国小麦产业从育种到生产的全链条提供更精准、高效的技术支撑,助力产业实现提质增效与可持续发展。

参考文献

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴-2024. 北京: 中国统计出版社, 2024
- [2] 万华雄. 浙优21茎秆抗倒伏性状的相关性及通径分析. 中国种业, 2021(10): 70-74
- [3] 孔欣欣, 韩雪, 杨丹丹, 赵国轩, 苏亚中, 金建猛, 赵鹏飞, 于俊杰, 邱学领, 赵国建. 103份小麦高代品系品质性状的综合分析. 中国种业, 2025(4): 99-106
- [4] 崔文礼, 王军, 汪辉, 陈瑞瑞, 宋贺, 郑文寅. 黄淮麦区35份小麦种质资源品质性状比较分析. 安徽农业大学学报, 2020, 47(4): 606-611
- [5] 宋艳玲, 谢焕鑫, 杨梦想, 王英鹏, 肖婷, 李俊一, 陈庆. 不同筋型小麦品种对氮素的吸收特征研究. 中国种业, 2025(3): 93-97
- [6] 张子豪, 李想成, 吴昊天, 付鹏浩, 高春保, 张运波, 邹娟. 基于主成

DOI:10.19462/j.cnki.zgzy.20251022007

22 个大豆新品系比较试验

陈 维 王 涛 陈红艳 饶蔷薇 卢 平 卢丽娜

(贵州省安顺市农业科学院, 安顺 561000)

摘要:为进一步鉴定 22 个新育成大豆品系的主要特征特性及产量表现,明确品系下一步利用方向,对其农艺性状进行变异系数分析、相关性分析及主成分分析。结果表明:产量居前 3 位的品系为 9609、安 1270-1 和 9628,每 667m²产量分别为 188.7kg、185.3kg、183.2kg;参试品系主要农艺性状变异系数在 1.55%~25.52% 之间,有效分枝数变异系数最大,生育日数变异系数最小;产量与底荚高度呈极显著正相关,主茎节数与单株荚数、单株粒重呈极显著正相关,单株荚数与单株粒数、单株粒重呈极显著正相关;主成分分析在 13 个性状中提取出 4 个主成分,基本包含了大豆品系的全部信息,累计贡献率为 77.285%;综合得分结果表明,94012、94014-1、15 杂-34 综合得分较高,性状优良,可以作为育种骨干材料进一步使用,安 1270-1、单 II-8-1 建议进入品种审定前生态适应性鉴定试验,其他品系可根据自身品质特点作为育种中间材料使用。

关键词:大豆;新品系;农艺性状;品质性状;相关性;主成分分析

Comparative Experiment of 22 New Soybean Lines

CHEN Wei, WANG Tao, CHEN Hongyan, RAO Qianwei, LU Ping, LU Lina

(Anshun Academy of Agricultural Sciences, Anshun 561000, Guizhou)

大豆是我国第四大粮食作物、第一大油料作物、第二大饲料作物,大豆安全生产关乎我国粮食安

全,是我国重要的战略物资^[1],2023 年我国大豆年消费总量约 1.17 亿 t,其中,压榨消费为 9778 万 t,占比为 83.63%^[2]。近年来,国家大力发展大豆生产,提高大豆产能,但仍有 85% 需要依赖进口^[3]。2023 年国内进口粮食总量 16196.4 万 t,其中大豆约 10171 万 t^[4],占比在 60% 以上,大豆仍是目前我国

基金项目:安顺市科技计划项目(安市科农[2023]04号);贵州省财政种业发展项目(黔财农[2023]2号);安顺市科技计划项目(安市科平[2025]04号)

通信作者:王涛

分和聚类分析筛选氮高效小麦品种. 湖南农业大学学报:自然科学版,2022,48(5):513-519

[7] 高洪儒,赵北平,肖明纲,孙中义,张擘. 利用“2+1+1”水稻后代材料鉴定模式选育抗倒伏、高食味品质的水稻新种质. 中国种业,2024(8):86-90,96

[8] 李嘉豪,刘昊东,王伟伟,徐渴,张树华,赵勇,杨学举. 中国小麦主推品种和育成成品系的抗倒伏性评价. 植物遗传资源学报,2021,22(1):50-56

[9] 张会芳,张建红,刘海礁,孙岩,齐红志,王楠,段俊枝,郭燕,尹海燕. 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. 中国农业科技导报,2023,25(11):28-41

[10] 吕娇艳,王芳,邢晓宁,王海莉,王艳,朱艳芳,张少聪,路坤,华福平,沈希华. 基于 GGE 双标图和 TOPSIS 法对麦套花生品种的综合评价. 干旱地区农业研究,2025,43(4):1-10,52

[11] 张子豪,李想成,吴昊天,付鹏浩,高春保,张运波,邹娟. 基于灰色关联度分析和聚类分析的丰产高效小麦品种综合评价与筛选. 江苏农业科学,2022,50(10):194-200

[12] 张凡,薛鑫,刘国涛,周其军,董军红,杨春玲. 基于灰色关联度分析法和聚类分析法筛选小麦高产优质新品种(系)的研究. 中国农学通报,2020,36(27):6-13

[13] 王平,徐加利,闫保罗,李平海,宗燕,李芳,刘翔攀. 基于主成分-聚类-逐步回归分析的夏玉米品种光温利用能力综合评价. 山东农业科学,2020,52(10):71-77

[14] 陈国立,徐超峰,许卫猛,魏常敏,宋万友,李伟房,邢永锋,周文伟. 河南省玉米新品种产量与主要农艺性状综合分析及评价. 种子,2024,43(9):53-58,77

(收稿日期:2025-10-02)