

朱毅莹,段瑞华,曹颖,等. 江苏高产高效抗逆绿色小麦品种筛选与评价[J]. 江苏农业科学,2023,51(15):56-65.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.15.009

# 江苏高产高效抗逆绿色小麦品种筛选与评价

朱毅莹<sup>1,2</sup>, 张雨婷<sup>1</sup>, 段瑞华<sup>3</sup>, 曹颖<sup>1</sup>, 刘畅<sup>1</sup>, 赵灿<sup>1</sup>, 王维领<sup>1</sup>, 霍中洋<sup>1</sup>

(1. 扬州大学农学院/江苏省作物栽培生理重点实验室/江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心, 江苏扬州 225009;

2. 河北农业大学农学院, 河北保定 071000; 3. 连云港市植物保护植物检疫站, 江苏连云港 222000)

**摘要:**筛选高产高效抗逆的绿色品种是实现农业绿色发展的重要保障。本研究以 24 个小麦品种为供试材料, 在不同施氮量处理下调查品种的产量、氮肥农学效率、赤霉病及白粉病抗性指标, 并进行综合评价, 筛选适宜江苏省种植的绿色小麦品种。结果表明, 同一品种在不同施氮水平下的产量优势表现不一致, 扬麦 25、淮麦 33、洛麦 24 等品种的平均产量较高; 随着施氮量的增加, 品种的氮肥农学效率整体上呈降低趋势, 扬麦 29、淮麦 33、扬麦 25 等品种的平均氮肥利用效率较高; 各品种赤霉病抗性和白粉病抗性间存在极显著的负相关关系, 扬麦 15、宁麦 13、扬麦 20 等品种具有较高的赤霉病抗性, 而扬麦 29、镇麦 9 号、镇麦 10 等品种具有较强的白粉病抗性; 增加施氮量降低了小麦植株的抗倒伏能力, 扬麦 25、宁麦 126、国红 6 号等品种的抗倒性较好; 半冬性和弱春性品种的越冬期抗寒性整体上优于春性品种, 但部分春性品种如宁麦 13、宁麦 26 和扬麦 29 同样具有较强的越冬期抗寒性。利用主成分分析法和熵值法对各品种的综合性状进行评价, 提出扬麦 25、扬麦 29、宁麦 13、镇麦 18 为适宜在江苏淮南推广种植的绿色小麦品种; 淮麦 33 和洛麦 24 为适宜在江苏淮北种植的绿色小麦品种。

**关键词:**小麦; 绿色品种; 高产; 高效; 抗逆; 综合评价

**中图分类号:**S512.103.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)15-0056-09

在人口增长、气候变化等因素影响下, 稳住粮食基本盘是我国的长期战略需求, 但减少农药和化肥的投入亦是我国农业实现绿色发展的重要保障。因此, 如何在减少农药和化肥用量的前提下稳住粮食产量是我国农业生产中面临的重要科学问题。培育和筛选高产高效抗逆的优良品种是解决以上科学问题的重要途径。小麦是我国主要的粮食作物, 其高产稳产对保障我国经济发展和民生稳定具有重要的意义。前人在小麦品种筛选方面开展了大量的研究, 比如筛选高产高效品种、抗赤霉病品种和抗寒品种等<sup>[1-3]</sup>。但综合考察小麦品种多方面农艺性状的研究相对较少。

江苏省是我国冬小麦优势产区之一。2020 年

江苏省小麦播种面积为 233.9 万  $\text{hm}^2$ , 产量达 1 333.9 万 t, 占全国小麦生产总量的 9.94% (国家统计局, 2020 年)。尽管江苏省小麦的生产状况整体较好, 但也面临着诸多问题。近年来江苏省有统计面积的小麦品种超过 100 个, 但种植面积在 2.7 万  $\text{hm}^2$  以上的品种仅有 20 个左右。品种多、乱、布局不到位已成为江苏省小麦实现产业化的主要障碍。氮肥施用量大、利用率低同样是江苏省小麦生产中亟需解决的重要问题。2020 年江苏氮肥施用总量达 137.1 万 t, 单位面积施氮量达 324.5  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 较江苏所在的华东地区高 44.5%, 较华北、东北和西北地区分别高 67.5%、45.5% 和 14.2% (国家统计局, 2020 年)。张福锁等的研究表明, 江苏省小麦季的氮肥利用率平均仅为 16.1%, 明显低于 28.2% 的全国平均水平<sup>[4]</sup>。此外, 江苏省小麦在生育期内常遭受赤霉病、白粉病、条锈病等生物胁迫和阶段性低温、渍害、高温等非生物胁迫, 严重威胁小麦的安全生产<sup>[5-6]</sup>。

种植高产高效抗逆的小麦品种不仅可以为改善江苏省小麦种植品种多、乱、布局不到位的现状提供基础, 还可以为减肥减药形势下江苏省小麦的高产稳产提供保障。因此, 本研究选用江苏省推广

收稿日期: 2022-11-02

基金项目: 江苏省重点研发计划 (编号: BE2020319、BE2019377、BE2021361); 江苏现代农业产业关键技术创新计划 [编号: CX (21)2001]; 江苏省高校优势学科建设工程资助项目 (编号: PAPD)。

作者简介: 朱毅莹 (2001—), 女, 浙江仙居人, 研究方向为小麦抗逆栽培。E-mail: 1195769680@qq.com。

通信作者: 王维领, 博士, 助理研究员, 研究方向为小麦抗逆高产栽培。E-mail: weilw@163.com。

种植或新审定的小麦品种为供试材料,通过调查不同施氮水平下品种的产量、氮肥农学效率、赤霉病及白粉病抗性等性状,筛选出高产高效抗逆的绿色小麦品种,以期为江苏省小麦生产转型升级提供支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为 24 个在江苏省推广种植或新审定的小麦品种,品种相关信息见表 1。

| 表 1 供试品种信息 |     |      |
|------------|-----|------|
| 品种         | 冬春性 | 审定年份 |
| 国红 6       | 春性  | 2019 |
| 宁麦 13      | 春性  | 2006 |
| 宁麦 26      | 春性  | 2016 |
| 宁麦资 126    | 春性  | 2017 |
| 农麦 88      | 春性  | 2016 |
| 盐麦 1 号     | 春性  | 2021 |
| 扬麦 15      | 春性  | 2005 |
| 扬麦 20      | 春性  | 2010 |
| 扬麦 23      | 春性  | 2013 |
| 扬麦 25      | 春性  | 2016 |
| 扬麦 29      | 春性  | 2018 |
| 扬辐麦 4      | 春性  | 2008 |
| 镇麦 9       | 春性  | 2010 |
| 镇麦 10      | 春性  | 2013 |
| 镇麦 12      | 春性  | 2015 |
| 镇麦 13      | 春性  | 2020 |
| 镇麦 18      | 春性  | 2020 |
| 镇麦 168     | 春性  | 2007 |
| 洛麦 24      | 弱春性 | 2011 |
| 郑麦 9023    | 弱春性 | 2002 |
| 济麦 22      | 半冬性 | 2006 |
| 淮麦 33      | 半冬性 | 2014 |
| 徐麦 33      | 半冬性 | 2014 |
| 烟农 19      | 半冬性 | 2001 |

1.2 试验处理

试验于 2020—2021 年在江苏省扬州市沙头镇张洪程院士创新试验基地(32°32′N,119°56′E)进行。试验田前茬作物为水稻,土壤类型为潞育型水稻土。设置 4 个施氮水平(0、210、270、330 kg/hm<sup>2</sup>),分别记为 N0、N210、N270、N330。田间小区布局为裂区设计,以施氮量为主区,品种为副区。每个处理设置 3 次重复。播种时间为 2020 年 11 月 15 日;播种方式为人工开沟划行条播,行距为 25 cm。基本

苗数量为 240 万株/hm<sup>2</sup>,小区面积为 12 m<sup>2</sup>。氮肥(尿素)运筹方式为基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥=5:1:2:2,其中分蘖肥于 3~4 叶期施用,拔节肥于叶龄余数 2.5~3.0 叶时施用,孕穗肥叶龄余数 1 叶时施用;磷钾肥各 112.5 kg/hm<sup>2</sup> 于播种前一次性施用。其他栽培管理措施同高产田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 实际产量 每个小区于成熟期收获 1 m<sup>2</sup>植株,脱粒晒干后称其质量;使用 FOSS-370 型近红外谷物分析仪测定籽粒水分含量,按照 13% 的标准水分进行质量折算,计算实际产量。

1.3.2 氮肥农学效率 氮肥农学效率(kg/kg)=(施氮区籽粒产量-不施氮区籽粒产量)/施氮量<sup>[7]</sup>。

1.3.3 赤霉病抗性 采用单花滴注法分析各品种对赤霉病的抗性<sup>[8]</sup>。于抽穗期将分生孢子液滴注到麦穗中部的 1 朵小花中;接种后用塑料袋套袋,保湿 3 d;解除塑料袋后,每天对接穗进行喷雾,连续处理 5 d。于接种 25 d 后调查每穗感染小穗数量。按照感染比例( $R = \text{感染小穗数} / \text{总小穗数}$ )对感染程度进行严重度划分:一级,仅接种小穗感染;二级, $R < 0.25$ ;三级, $0.25 < R < 0.50$ ;四级, $R > 0.50$ 。

1.3.4 白粉病抗性 于小麦植株开花后 15 d 调查各品种的白粉病自然发病情况,并参考董娜等的方法对各品种对白粉病的抗性进行分级(表 2)<sup>[9]</sup>。

| 表 2 小麦白粉病抗性划分标准 |      |              |
|-----------------|------|--------------|
| 分级              | 抗性级别 | 标准           |
| 0               | 免疫   | 无病斑          |
| 1               | 近乎免疫 | 零星枯斑         |
| 2               | 高抗   | 病斑并伴随少量孢子形成  |
| 3               | 中抗   | 病斑并伴随一定量孢子形成 |
| 4               | 感染   | 无病斑有较多孢子形成   |
| 5               | 高感   | 无病斑有大量孢子形成   |

1.3.5 越冬期抗寒性 2020 年 12 月 30 日和 2021 年 1 月 6 日左右,扬州市发生 2 次高强度降温天气,出现单日最高温度低于 0 ℃,最低气温降至 -10 ℃ 的历史极端低温。于 2021 年 1 月 13 日(第 2 次降温后 1 周)对各品种叶片受冻情况进行调查,以反映品种的抗寒能力。根据全国小麦区域试验冻害 5 级指标进行叶片冻害程度的调查,每个品种至少调查 30 个主茎<sup>[10]</sup>。冻害指数的计算公式如下:

冻害发生率=达到冻害级别的茎蘖数/总茎蘖数×100%;

冻害指数 =  $\sum$  [冻害等级(2 级以上) × 冻害发生率]/(冻害最高级 × 100%)。

1.3.6 抗倒伏能力 于成熟期调查各小区倒伏面积,计算倒伏比例(倒伏面积/小区面积),以反映各品种的抗倒伏能力。

1.3.7 综合评价 利用熵值法和主成分分析法对各品种进行综合评价<sup>[11-12]</sup>。

1.4 数据分析

各图表数值均为 3 次生物学重复的平均值。试验数据用 Excel 2016 和 SPSS 22.0 进行处理和统计分析,利用 SigmaPlot 10.0 进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同品种的产量表现

由表 3 可知,品种和施氮水平对小麦产量均有极显著影响,品种和施氮水平间的互作效应对产量影响不显著。将所有品种在各施氮水平下的产量求平均值,本试验点小麦的平均产量为 5 074 kg/hm<sup>2</sup>。随着施氮水平的提高,小麦产量整体上呈现逐渐升高的趋势,由 N0 水平的 1 369 kg/hm<sup>2</sup> 提高到 N330 水平的 6 791 kg/hm<sup>2</sup>。然而,扬麦 20、扬麦 25、扬麦 29 和宁麦资 126 等品种在 N270 水平下的产量却高于 N330 水平,分别高出 12.4%、3.0%、3.1%、2.8%。可见,不同品种的最佳施氮量有所不同。各品种在不同施氮水平下产量优势表现不一致,比如扬麦 25 在 N210 水平下产量高于其他品种,在 N270 水平下排名第 2,而在 N330 水平下排名第 11。对所有施氮水平下各品种的产量求平均值后可知,扬麦 25、淮麦 33、洛麦 24、徐麦 33、扬麦 20 和镇麦 18 等品种在本试验点的产量表现较为突出。

2.2 不同品种氮肥农学效率表现

氮肥农学效率是评价小麦氮肥肥效的重要指标<sup>[9]</sup>。由表 4 可知,品种和施氮水平均对氮肥农学效率有极显著影响,品种和施氮水平间的互作效应对氮肥农学效率影响不显著。将所有品种在各施氮水平下的氮肥农学效率求平均值可知,本试验点小麦的平均氮肥农学效率为 18.6 kg/kg。随着施氮水平的提高,小麦品种氮肥农学效率整体上呈现出逐渐降低的趋势(由 N210 水平的 20.8 kg/kg 下降到 N330 水平的 16.4 kg/kg),说明高施氮量不利于小麦植株对氮肥的高效利用。但有部分品种(如扬麦 23、宁麦资 126 等)的平均氮肥农学效率在 N270

表 3 不同品种在不同施氮水平下的实际产量及方差分析结果

| 品种        | 实际产量(kg/hm <sup>2</sup> ) |       |       |       |       |
|-----------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|           | N0                        | N210  | N270  | N330  | 平均值   |
| 扬麦 15     | 972                       | 5 754 | 6 222 | 6 995 | 4 986 |
| 扬麦 20     | 1 785                     | 5 792 | 7 148 | 6 360 | 5 271 |
| 扬麦 23     | 1 514                     | 5 327 | 7 071 | 7 143 | 5 264 |
| 扬麦 25     | 1 574                     | 6 860 | 7 110 | 6 900 | 5 611 |
| 扬麦 29     | 998                       | 6 191 | 6 855 | 6 647 | 5 172 |
| 扬辐麦 4     | 1 326                     | 5 630 | 6 491 | 6 927 | 5 093 |
| 镇麦 9      | 921                       | 5 585 | 5 366 | 6 314 | 4 546 |
| 镇麦 10     | 1 481                     | 5 822 | 6 366 | 6 870 | 5 135 |
| 镇麦 12     | 1 337                     | 5 519 | 6 086 | 7 073 | 5 003 |
| 镇麦 13     | 1 424                     | 5 324 | 6 369 | 7 017 | 5 033 |
| 镇麦 18     | 1 371                     | 5 880 | 6 950 | 7 010 | 5 303 |
| 镇麦 168    | 1 358                     | 5 790 | 6 488 | 6 831 | 5 117 |
| 宁麦 13     | 1 161                     | 5 984 | 6 359 | 6 882 | 5 096 |
| 宁麦资 126   | 1 091                     | 4 649 | 6 332 | 6 161 | 4 558 |
| 宁麦 26     | 1 848                     | 5 295 | 5 559 | 5 960 | 4 665 |
| 农麦 88     | 1 344                     | 5 336 | 6 585 | 6 773 | 5 009 |
| 盐麦 1      | 1 448                     | 5 682 | 5 751 | 7 311 | 5 048 |
| 国红 6      | 1 733                     | 5 655 | 6 323 | 6 581 | 5 073 |
| 郑麦 9023   | 1 142                     | 5 192 | 5 973 | 6 179 | 4 621 |
| 洛麦 24     | 1 371                     | 6 164 | 6 926 | 7 287 | 5 437 |
| 济麦 22     | 1 365                     | 5 609 | 6 494 | 6 476 | 4 986 |
| 烟农 19     | 1 514                     | 5 367 | 5 634 | 6 873 | 4 847 |
| 淮麦 33     | 1 526                     | 6 737 | 6 393 | 7 340 | 5 499 |
| 徐麦 33     | 1 247                     | 6 455 | 6 849 | 7 088 | 5 409 |
| 平均值       | 1 369                     | 5 733 | 6 404 | 6 791 | 5 074 |
| 品种        | 3.1**                     |       |       |       |       |
| 氮肥水平      | 1 433.0**                 |       |       |       |       |
| 品种 × 氮肥水平 | 1.2NS                     |       |       |       |       |

注: \*\* 表示影响极显著,NS 表示影响不显著。表 4、表 5 同。

水平下较高,这可能与每个品种的需氮量不同有关。各品种在不同施氮水平下的平均氮肥农学效率排名有所不同。对各施氮水平下每个品种的平均氮肥农学效率求平均值后发现,扬麦 29、淮麦 33、扬麦 25、洛麦 24、徐麦 33 和扬麦 15 等品种的平均氮肥农学效率在本试验点表现较高。

2.3 不同品种赤霉病抗性表现

由图 1 可知,不同品种间赤霉病抗性差异较大。其中,春性品种、弱春性品种和半冬性品种的平均严重度分别为 2.29、3.46、3.85。可见在本研究中,春性品种、弱春性品种和半冬性品种的赤霉病抗性呈现出春性品种 > 弱春性品种 > 半冬性品种的规

表 4 不同品种在不同施氮水平下的氮肥农学效率及方差分析结果

| 品种      | 氮肥农学效率(kg/kg) |      |      |      |
|---------|---------------|------|------|------|
|         | N210          | N270 | N330 | 平均值  |
| 扬麦 15   | 22.8          | 19.4 | 18.2 | 20.1 |
| 扬麦 20   | 19.1          | 19.9 | 13.9 | 17.6 |
| 扬麦 23   | 18.2          | 20.6 | 17.1 | 18.6 |
| 扬麦 25   | 25.2          | 20.5 | 16.1 | 20.6 |
| 扬麦 29   | 24.7          | 21.7 | 17.1 | 21.2 |
| 扬辐麦 4   | 20.5          | 19.1 | 17.0 | 18.9 |
| 镇麦 9    | 22.2          | 16.5 | 16.3 | 18.3 |
| 镇麦 10   | 20.7          | 18.1 | 16.3 | 18.4 |
| 镇麦 12   | 19.9          | 17.6 | 17.4 | 18.3 |
| 镇麦 13   | 18.6          | 18.3 | 16.9 | 17.9 |
| 镇麦 18   | 21.5          | 20.7 | 17.1 | 19.8 |
| 镇麦 168  | 21.1          | 19.0 | 16.6 | 18.9 |
| 宁麦 13   | 23.0          | 19.3 | 17.3 | 19.9 |
| 宁麦资 126 | 16.9          | 19.4 | 15.4 | 17.2 |
| 宁麦 26   | 16.4          | 13.7 | 12.5 | 14.2 |
| 农麦 88   | 19.0          | 19.4 | 16.4 | 18.3 |
| 盐麦 1    | 20.2          | 15.9 | 17.8 | 18.0 |
| 国红 6    | 18.7          | 17.0 | 14.7 | 16.8 |
| 郑麦 9023 | 19.3          | 17.9 | 15.3 | 17.5 |
| 洛麦 24   | 22.8          | 20.6 | 17.9 | 20.4 |
| 济麦 22   | 20.2          | 19.0 | 15.5 | 18.2 |
| 烟农 19   | 18.3          | 15.3 | 16.2 | 16.6 |
| 淮麦 33   | 24.8          | 18.0 | 17.6 | 20.1 |
| 徐麦 33   | 24.8          | 20.8 | 17.7 | 21.1 |
| 平均值     | 20.8          | 18.6 | 16.4 | 18.6 |
| 品种      | 3.5**         |      |      |      |
| 氮肥水平    | 51.3**        |      |      |      |
| 品种×氮肥水平 | 0.954NS       |      |      |      |

律。因此,在苏中地区种植弱春性和半冬性小麦品种感染赤霉病的风险较大。本试验所用品种中赤霉病抗性表现良好的品种有扬麦 15(严重度为 1.29)、宁麦 13(严重度为 1.57)、扬麦 20(严重度为 1.70)、扬麦 25(严重度为 1.80)和盐麦 1(严重度为 1.89)等。施氮量与小麦品种赤霉病抗性强弱间不存在明显的相关关系(图 2)。

2.4 不同品种白粉病抗性表现

由图 3 可知,不同品种间白粉病发病情况差异明显。其中,春性品种、弱春性品种和半冬性品种的平均感染级别分别为 1.38、0.60、0.15。可见,春性品种、弱春性品种和半冬性品种的白粉病抗性呈现出春性品种<弱春性品种<半冬性品种的规律。

本试验中白粉病抗性表现良好的品种有扬麦 29、镇麦 9、镇麦 10、镇麦 12、镇麦 18、宁麦资 126、农麦 88、淮麦 33 和徐麦 33 等,均未感病。随着施氮水平的增加,小麦品种白粉病抗性整体上呈逐渐下降的趋势,两者极显著相关( $r = -0.638^{**}$ )(图 4)。

2.5 不同品种越冬期抗寒性强弱表现

由图 5 可知,品种间越冬期抗寒性存在明显差异。其中,春性品种、弱春性品种和半冬性品种的平均受冻指数分别为 0.33、0.27 和 0.24,说明不同冬春性小麦品种越冬期抗寒性呈现出春性品种<弱春性品种<半冬性品种的趋势。但也存在春性品种越冬期抗寒性高于弱春性或半冬性品种的现象,如宁麦 13、农麦 26、扬麦 29 等。参试品种当中越冬期抗寒性较强的品种有宁麦 13、淮麦 33、洛麦 24、宁麦 26、济麦 22、扬麦 29、烟农 19 等。不同品种越冬期抗寒性对氮素的响应表现不一致,如宁麦 13 和扬麦 23 越冬期抗寒性随着施氮水平的增加呈现先升高后降低的趋势,而增加施肥量则降低了徐麦 33 的越冬期抗寒性(图 6)。整体而言,品种越冬期抗寒性与施氮水平呈正相关关系,但相关性不显著。

2.6 不同品种抗倒伏能力表现

由表 5 可知,品种、施氮水平均对小麦倒伏比例有极显著影响,品种和施氮水平间的互作效应对小麦倒伏比例影响不显著。随着施氮水平的增加植株倒伏比例呈现逐渐升高的趋势,说明高施氮量增加了小麦植株倒伏的风险。但也有部分品种如扬麦 23、镇麦 10、宁麦资 126、农麦 88、盐麦 1 等在 N330 水平下未发生倒伏,而在 N210 或 N270 条件下发生了倒伏。对各施氮水平下每个品种的倒伏比例求平均值后发现,扬麦 25、宁麦资 126、国红 6、扬麦 15、淮麦 33、扬麦 23、济麦 22 等品种的抗倒性表现良好。

2.7 各品种农艺性状间的相关关系

由表 6 可知,各品种实际产量与氮肥农学利用效率间存在极显著的正相关关系,实际产量与赤霉病抗性、白粉病抗性、抗倒性以及越冬期抗寒性呈正相关关系,但相关性均不显著。各品种氮肥农学效率除与产量极显著相关外,与其他农学指标间均无显著相关性。各品种赤霉病抗性与白粉病抗性间存在极显著的负相关关系,各品种赤霉病和白粉病抗性与其他指标均无显著的相关性。各品种越冬期抗寒性与品种抗倒性间存在一定的负相关关系,但未达到显著水平。

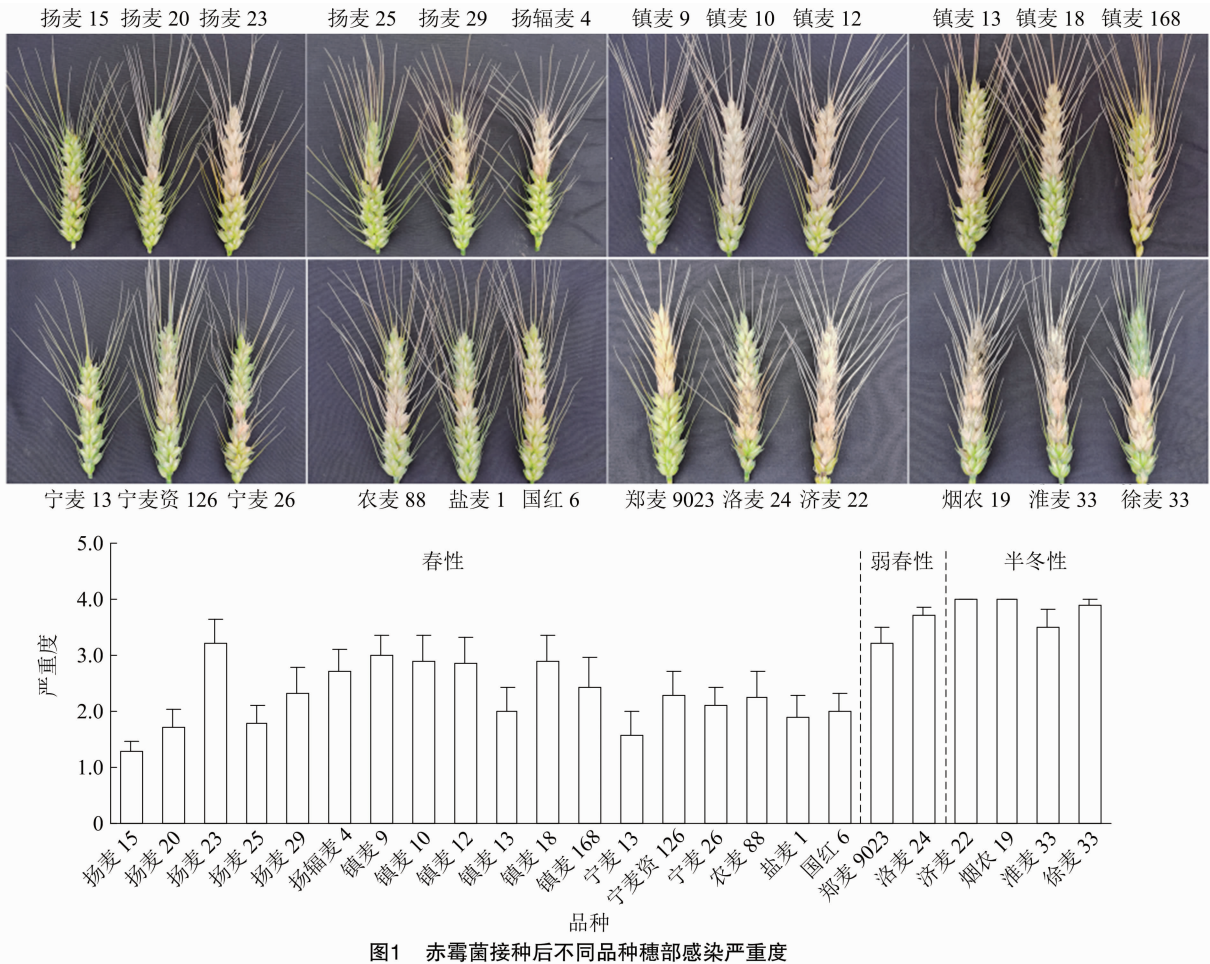


图1 赤霉菌接种后不同品种穗部感染严重度

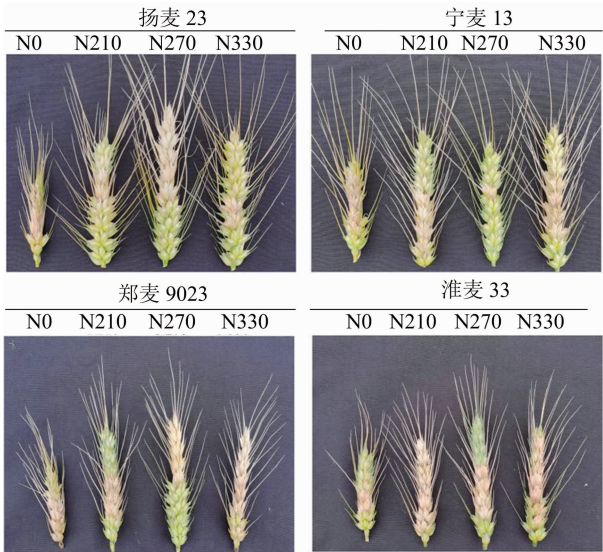


图2 施氮水平对小麦品种赤霉病抗性的影响

2.8 品种综合评价

利用主成分分析法和熵值法对品种产量 (N210、N270 和 N330 平均值)、氮肥农学利用效率 (N210、N270 和 N330 平均值)、赤霉病抗性 (N270

条件下)、白粉病抗性 (N270 条件下)、越冬期抗寒性 (N270 条件下) 和抗倒伏能力 (N210、N270 和 N330 平均值) 等进行综合评价。由表 7 可知,在不同综合评价方法下,各品种的综合排名有所不同。在主成分分析方法下,综合性状排名较靠前的品种有扬麦 25、扬麦 29、扬麦 15、宁麦 13、淮麦 33、洛麦 24 等;而在熵值法下,综合性状排名较靠前的品种有宁麦 13、扬麦 29、淮麦 33、扬麦 25、洛麦 24、农麦 88 等。

3 讨论

农药和化肥的使用大幅度提高了作物产量,推动了农业上的第一次“绿色革命”,对人类农业发展和社会稳定有着重要贡献<sup>[13]</sup>。但农药和化肥的大量使用同样引起了土壤酸化、环境污染、食品安全等一系列问题<sup>[14]</sup>。减量增效是平衡化肥和农药利与弊的有效途径。培育和筛选高产高效抗逆的作物品种是实现减量增效、粮食稳定供应的重要工作。因此,本研究通过调查不同小麦品种在不同施



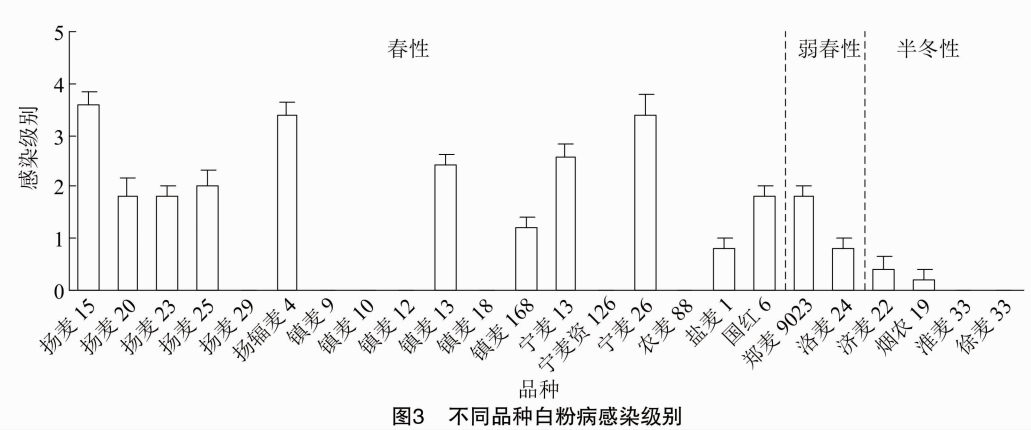
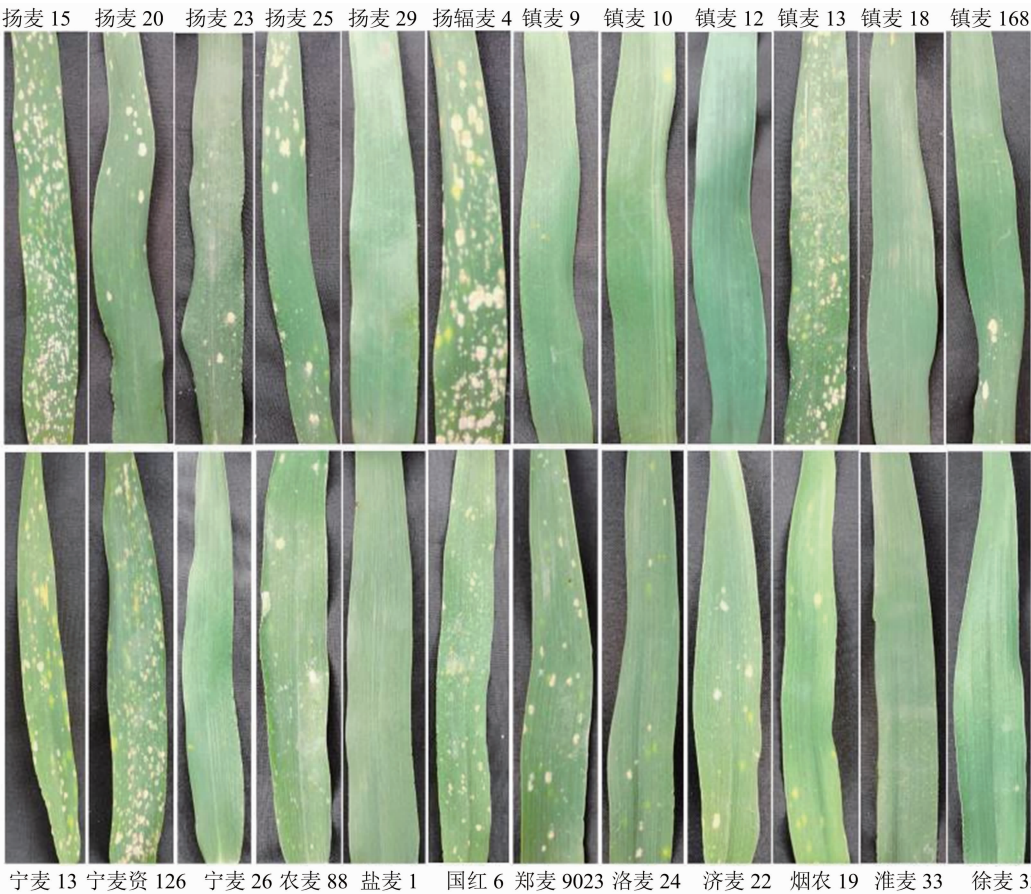


图3 不同品种白粉病感染级别

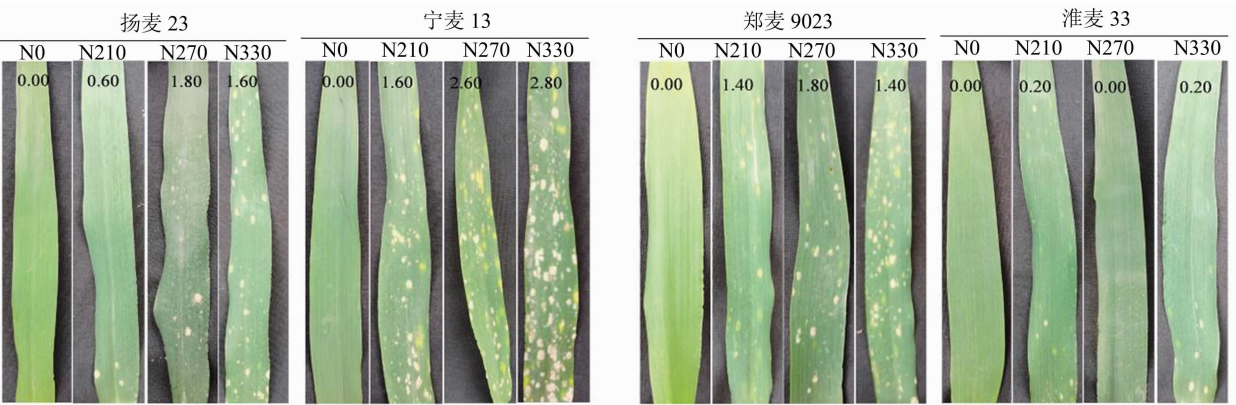


图4 施氮水平对小麦品种白粉病抗性的影响

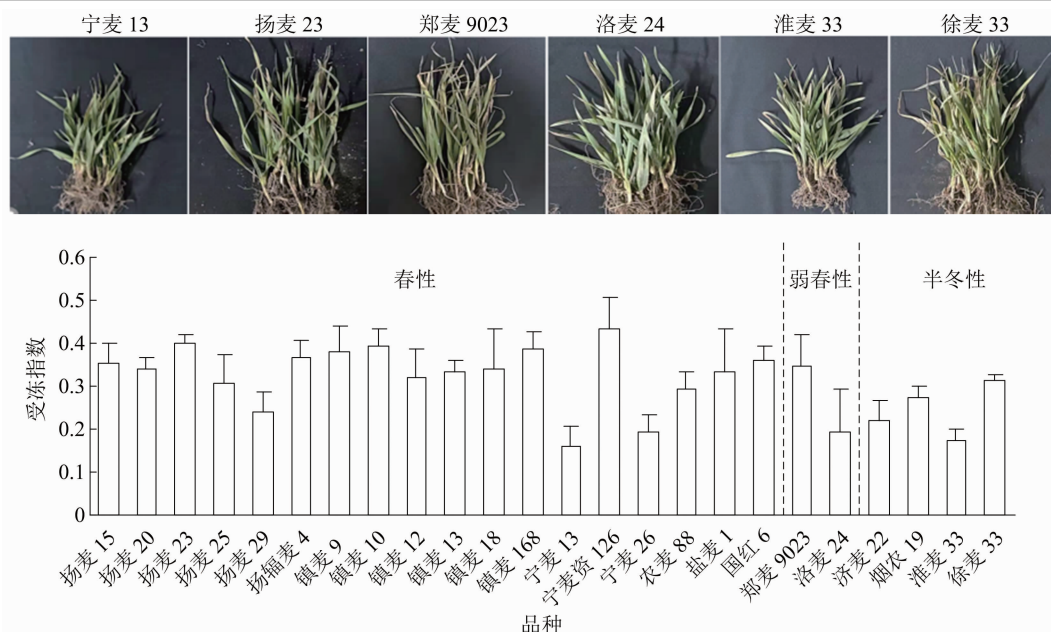


图5 越冬期冷冻胁迫下不同品种叶片受冻指数

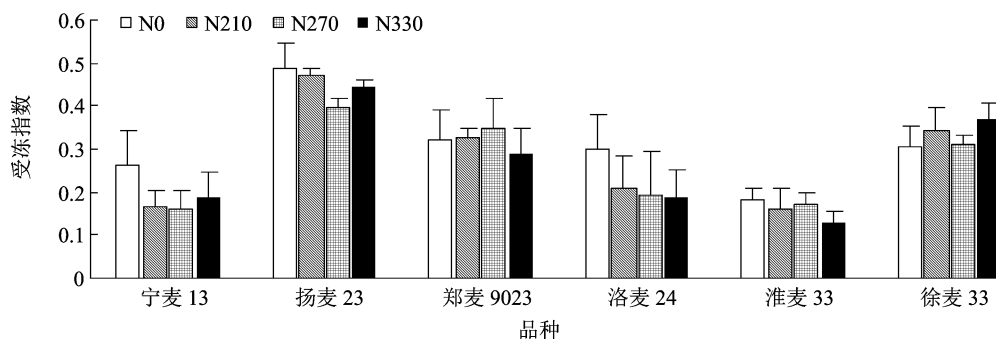


图6 施氮水平对品种越冬期抗寒性的影响

氮水平下的产量、氮肥农学效率、赤霉病及白粉病抗性、抗倒性、抗寒性等多方面农艺性状的表现,并利用不同的分析方法(主成分分析法和熵值法)对各品种的综合性状进行排名,以准确筛选适宜江苏省种植的高产高效抗逆小麦品种。在2种综合排名方法下,排名均在前8的品种有扬麦25、扬麦29、宁麦13、镇麦18、洛麦24和淮麦33,说明以上5个品种适宜在江苏省推广种植。其中,扬麦25、扬麦29、宁麦13和镇麦18为春性品种,适宜在淮南种植;洛麦24和淮麦33分别为弱春性和半冬性品种,适宜在淮北种植。据统计,2020年江苏淮南和淮北种植面积最大的品种分别为宁麦13和淮麦33,均为19.4万 $\text{hm}^2$ ;此外,扬麦25在淮南的种植面积为12.6万 $\text{hm}^2$ ,列第3位。丁永刚等研究发现,扬麦25的平均氮肥农学效率较扬麦20高出17.6%,属于氮高效品种<sup>[15]</sup>。Khan等研究发现,烟农19的抗

倒伏能力较差,尤其是在高施氮量条件下<sup>[16]</sup>。由此可见,本研究的综合评价结果与实际生产以及前人的研究结果基本相符,具有较高的客观性和准确性。目前,扬麦29(2018年审定)、镇麦18(2020年审定)和洛麦24(2011年审定)在江苏省的种植面积还相对较小,有待在适宜生态区进一步推广种植。

掌握品种重要农艺指标间的相关关系,可为品种改良提供一定的参考。本研究结果表明,小麦产量与氮肥农学效率间存在极显著的相关关系,这与丁永刚等的研究结果<sup>[15,17]</sup>一致,说明提高氮素利用率是增加小麦产量的重要途径。此外,本研究发现小麦品种赤霉病抗性和白粉病抗性间存在极显著的负相关关系,指示将这2种抗病性状统一在一个品种上的难度较大。但本研究同时发现,白粉病的发病程度与施氮水平(长势)、品种冬春性(株型)等因素紧密相关。前人研究发现,间作模式、种植

表 5 不同施氮水平对各品种倒伏比例的影响及方差分析结果

| 品种        | 倒伏比例(%) |       |       |       | 平均值   |
|-----------|---------|-------|-------|-------|-------|
|           | N0      | N210  | N270  | N330  |       |
| 扬麦 15     | 0.00    | 0.00  | 0.00  | 1.39  | 0.35  |
| 扬麦 20     | 0.00    | 0.00  | 2.22  | 3.33  | 1.39  |
| 扬麦 23     | 0.00    | 0.00  | 2.90  | 0.00  | 0.73  |
| 扬麦 25     | 0.00    | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 扬麦 29     | 0.00    | 0.00  | 0.00  | 3.06  | 0.76  |
| 扬辐麦 4     | 0.00    | 0.00  | 5.56  | 12.50 | 4.51  |
| 镇麦 9      | 0.00    | 1.21  | 1.21  | 0.61  | 0.76  |
| 镇麦 10     | 0.00    | 0.61  | 4.55  | 0.00  | 1.29  |
| 镇麦 12     | 0.00    | 0.00  | 2.63  | 1.11  | 0.93  |
| 镇麦 13     | 0.00    | 1.52  | 1.21  | 6.41  | 2.29  |
| 镇麦 18     | 0.00    | 0.00  | 1.11  | 7.07  | 2.05  |
| 镇麦 168    | 0.00    | 0.00  | 0.00  | 7.63  | 1.91  |
| 宁麦 13     | 0.00    | 1.21  | 11.59 | 0.91  | 3.43  |
| 宁麦资 126   | 0.00    | 0.00  | 0.56  | 0.00  | 0.14  |
| 宁麦 26     | 0.00    | 1.21  | 8.66  | 21.99 | 7.97  |
| 农麦 88     | 0.00    | 0.00  | 3.64  | 0.00  | 0.91  |
| 盐麦 1      | 0.00    | 0.00  | 2.42  | 0.00  | 0.61  |
| 国红 6      | 0.00    | 0.00  | 0.56  | 0.00  | 0.14  |
| 郑麦 9023   | 0.00    | 0.00  | 3.23  | 11.44 | 3.67  |
| 洛麦 24     | 0.00    | 0.00  | 2.73  | 7.80  | 2.63  |
| 济麦 22     | 0.00    | 0.00  | 1.55  | 0.00  | 0.39  |
| 烟农 19     | 0.00    | 14.34 | 13.64 | 26.39 | 13.59 |
| 淮麦 33     | 0.00    | 0.00  | 2.08  | 0.00  | 0.52  |
| 徐麦 33     | 0.00    | 3.45  | 10.76 | 8.33  | 5.63  |
| 平均值       | 0.00    | 0.98  | 3.45  | 5.00  | 2.36  |
| 品种        | 3.5**   |       |       |       |       |
| 氮肥水平      | 10.9**  |       |       |       |       |
| 品种 × 氮肥水平 | 1.0NS   |       |       |       |       |

密度和施氮水平对小麦植株感染白粉病的概率有

显著影响<sup>[18-20]</sup>。以上研究结果说明,小麦白粉病的发生与田间小环境有较大关联。由此可见,结合遗传改良和栽培调控可以实现对小麦赤霉病和白粉病的有效防控。

前人研究发现,不同冬春性小麦品种越冬期抗寒能力整体上表现为半冬性品种>弱春性品种>春性品种<sup>[21-22]</sup>。本研究的结果与前人的一致。但本研究同时发现,部分春性品种如宁麦 13、扬麦 29、宁麦 26 等同样具有较强的越冬期抗寒性,甚至超过部分弱春性或半冬性品种的越冬期抗寒能力。由于稻麦两熟区域茬口紧张,江苏省晚播小麦的面积约占总播种面积的 50%<sup>[7]</sup>。晚播成为限制江苏省小麦高产稳产的重要因素。有学者提出,晚播情况下在淮北地区种植春性品种有利于获得较高的产量<sup>[23]</sup>。但将春性品种北引种植存在能否安全越冬的问题。结合本研究的结果,宁麦 13、扬麦 29 和宁麦 26 可以作为淮北晚播麦的候选品种。然而,抵御倒春寒的能力亦是考察春性品种能否在淮北地区安全种植的重要因素。因此,宁麦 13、扬麦 29 和宁麦 26 能否引种淮北还有待进一步研究。本研究在扬州种植了半冬性或弱春性品种如淮麦 33、徐麦 33、洛麦 24 等,以考察江苏淮北品种在淮南麦区的适应性。本研究结果表明,弱春或半冬性品种在扬州种植可以获得较高的产量,氮肥农学效率表现良好。但与春性品种相比,弱春和半冬性品种的生育期较长(比春性品种晚熟 3~5 d),且易感赤霉病。廖森等的研究同样表明,徐麦品种(主要种植在淮北)的赤霉病抗性明显低于扬麦品种(主要种植于淮南)<sup>[24]</sup>。因此,将淮北品种种植在淮南会加剧茬口矛盾和提高赤霉病感染风险。

表 6 各品种农学性状间的相关性分析结果

| 指标      | 相关系数    |        |         |         |        |       |
|---------|---------|--------|---------|---------|--------|-------|
|         | 实际产量    | 氮肥农学效率 | 赤霉病严重度  | 白粉病感染级别 | 倒伏比例   | 受冻指数  |
| 实际产量    | 1.000   |        |         |         |        |       |
| 氮肥农学效率  | 0.887** | 1.000  |         |         |        |       |
| 赤霉病严重度  | -0.021  | 0.004  | 1.000   |         |        |       |
| 白粉病感染级别 | -0.037  | -0.134 | -0.55** | 1.000   |        |       |
| 倒伏比例    | -0.272  | -0.322 | 0.29    | 0.074   | 1.000  |       |
| 受冻指数    | -0.002  | 0.07   | -0.169  | -0.023  | -0.373 | 1.000 |

注:“\*\*”表示极显著相关( $P<0.01$ )。

前人研究表明,品种氮肥利用率与施氮水平呈显著负相关,而与产量呈显著正相关<sup>[25-26]</sup>。本研究的结果与前人的研究结果一致。因此,如何平衡氮

素利用效率和产量值得探究。本研究发现,大于 210 kg/hm<sup>2</sup> 且小于 270 kg/hm<sup>2</sup> 的施氮水平能够较好地平衡氮素利用和产量。由于施氮量与土壤基



表 7 利用主成分分析法和熵值法对各品种综合性状排名的结果

| 品种      | 综合得分和排名 |    |         |    |
|---------|---------|----|---------|----|
|         | D       |    | Y       |    |
|         | 数值      | 排名 | 数值      | 排名 |
| 扬麦 15   | 1.041   | 3  | 0.042 8 | 10 |
| 扬麦 20   | 0.229   | 9  | 0.045 5 | 9  |
| 扬麦 23   | 0.121   | 10 | 0.031 2 | 21 |
| 扬麦 25   | 1.670   | 1  | 0.054 6 | 4  |
| 扬麦 29   | 1.096   | 2  | 0.058 4 | 2  |
| 扬辐麦 4   | 0.058   | 12 | 0.030 0 | 22 |
| 镇麦 9    | -0.890  | 20 | 0.031 8 | 20 |
| 镇麦 10   | -0.242  | 16 | 0.038 0 | 17 |
| 镇麦 12   | -0.250  | 18 | 0.042 1 | 12 |
| 镇麦 13   | 0.005   | 14 | 0.039 5 | 14 |
| 镇麦 18   | 0.413   | 8  | 0.046 0 | 8  |
| 镇麦 168  | 0.090   | 11 | 0.038 4 | 16 |
| 宁麦 13   | 1.003   | 4  | 0.058 4 | 1  |
| 宁麦资 126 | -1.063  | 21 | 0.032 0 | 19 |
| 宁麦 26   | -1.712  | 23 | 0.034 2 | 18 |
| 农麦 88   | -0.037  | 15 | 0.049 1 | 6  |
| 盐麦 1    | 0.038   | 13 | 0.046 2 | 7  |
| 国红 6    | -0.244  | 17 | 0.038 6 | 15 |
| 郑麦 9023 | -1.101  | 22 | 0.025 3 | 24 |
| 洛麦 24   | 0.840   | 6  | 0.050 4 | 5  |
| 济麦 22   | -0.324  | 19 | 0.039 7 | 13 |
| 烟农 19   | -2.143  | 24 | 0.028 9 | 23 |
| 淮麦 33   | 0.976   | 5  | 0.056 6 | 3  |
| 徐麦 33   | 0.427   | 7  | 0.042 3 | 11 |

注:D 表示主成分分析法计算得到的综合得分,Y 表示熵值法计算得到的综合得分。

础地力以及品种的氮肥利用效率紧密相关,因此氮肥的施用量需要因地、因种决策<sup>[27-28]</sup>。

综上所述,本研究通过调查各小麦品种的多个重要农艺性状,利用综合评价模型,筛选出扬麦 25、扬麦 29、宁麦 13 和镇麦 18 为适宜在江苏淮南种植的高产高效抗逆绿色小麦品种;洛麦 24 和淮麦 33 为适宜在江苏淮北种植的高产高效抗逆绿色小麦品种。该研究结果可为江苏省不同生态区小麦种植品种的选择提供依据,有利于小麦产业绿色发展。

参考文献:

[1]王小纯,王晓航,熊淑萍,等. 不同供氮水平下小麦品种的氮效率差异及其氮代谢特征[J]. 中国农业科学,2015,48(13):2569-2579.

[2]胡文静,张春梅,吴迪,等. 长江中下游小麦抗赤霉病品种的筛选与部分农艺性状分析[J]. 中国农业科学,2020,53(21):

4313-4321.

[3]王树刚,王振林,王平,等. 不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价[J]. 生态学报,2011,31(4):1064-1072.

[4]张福锁,王激清,张卫峰,等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报,2008,45(5):915-920.

[5]李春燕,李东升,宋森楠,等. 小麦阶段性冻害的生理机制及预防途径研究进展[J]. 麦类作物学报,2010,30(6):1175-1179.

[6]邢小萍,张娅珂,刘庆强,等. 黄淮麦区小麦品种对两种镰孢菌(*Fusarium*)的抗性鉴定[J]. 植物遗传资源学报,2020,21(5):1058-1067.

[7]咸云宇,王维领,赵凌天,等. 缓释氮肥配施尿素对迟播小麦产量形成及氮素利用的影响[J]. 麦类作物学报,2022,42(9):1117-1129.

[8]朱靖环,王其飞,华为,等. 小麦种质材料赤霉病抗性鉴定及遗传多样性分析[J]. 麦类作物学报,2020,40(12):1461-1471.

[9]董娜,陈向东,胡铁柱,等. 39 份外引小麦种质抗病基因的分子标记检测及其抗病性评价[J]. 华北农学报,2018,33(6):49-55.

[10]李春燕,徐雯,刘立伟,等. 低温条件下拔节期小麦叶片内源激素含量和抗氧化酶活性的变化[J]. 应用生态学报,2015,26(7):2015-2022.

[11]许英姿,朱乔生,黄效. 基于熵值法的南宁市膨胀土护坡植被根系特征指标评价[J]. 水土保持通报,2022,42(2):189-194.

[12]范文静,刘明,赵鹏,等. 甘薯苗期耐低氮基因型筛选及不同氮效率类型综合评价[J]. 中国农业科学,2022,55(10):1891-1902.

[13]Pingali P L. Green revolution: impacts, limits, and the path ahead[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2012,109(31):12302-12308.

[14]崔元培,魏子鲲,王建忠,等. “双减”背景下化肥、农药施用现状与发展路径[J]. 北方园艺,2021(9):164-173.

[15]丁永刚,李福建,王亚华,等. 稻茬小麦氮高效品种产量构成和群体质量特征[J]. 作物学报,2020,46(4):544-556.

[16]Khan A, Ahmad A, Ali W, et al. Optimization of plant density and nitrogen regimes to mitigate lodging risk in wheat[J]. Agronomy Journal,2020,112(4):2535-2551.

[17]樊继伟,王康君,张广旭,等. 黄淮麦区不同小麦品种氮素利用差异分析[J]. 江苏农业科学,2022,50(4):43-51.

[18]朱锦惠,董艳,肖靖秀,等. 小麦与蚕豆间作系统氮肥调控对小麦白粉病发生及氮素累积分配的影响[J]. 应用生态学报,2017,28(12):3985-3993.

[19]王学贵,黎人羽,沈丽淘,等. 种植模式、种植密度及施肥水平对小麦白粉病发生的影响[J]. 植物保护学报,2012,39(2):185-186.

[20]TeBeest D E, Paveley N D, Shaw M W, et al. Disease - weather relationships for powdery mildew and yellow rust on winter wheat[J]. Phytopathology,2008,98(5):609-617.

[21]曹文昕,万映秀,张琪琪,等. 黄淮麦区主要推广小麦品种抗寒性的演变规律[J]. 麦类作物学报,2015,35(1):57-63.

[22]赵鹏,钟秀丽,王道龙,等. 冬小麦抗霜性与抗冻性的关系

史丽萍,张梦,唐会妮,等. 陆地棉重组自交系群体纤维品质性状遗传多样性分析及育种应用[J]. 江苏农业科学,2023,51(15):65-72.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.15.010

# 陆地棉重组自交系群体纤维品质性状遗传多样性分析及育种应用

史丽萍<sup>1</sup>,张梦<sup>2</sup>,唐会妮<sup>2</sup>,吴建勇<sup>2</sup>,郭立平<sup>2</sup>,戚廷香<sup>2</sup>,张学贤<sup>2</sup>,

陈亮亮<sup>2</sup>,臧榕<sup>2</sup>,王海林<sup>2</sup>,乔秀琴<sup>2</sup>,张艳<sup>1</sup>,邢朝柱<sup>2</sup>

(1. 河北农业大学/棉花生物学国家重点实验室河北基地,河北保定 071001;

2. 中国农业科学院棉花研究所/棉花生物学国家重点实验室/农业农村部棉花生物学与遗传育种重点实验室,河南安阳 455000)

**摘要:**为进一步明确棉花重组自交系(recombinant inbred lines,RIL)分离群体纤维品质的性状表现,并筛选品质性状优异的陆地棉新材料,本研究选用2个产量高但纤维品质差异较大的陆地棉品系,以高产且纤维品质高的SJ48-1为母本,高产但纤维品质较低的Z98-15为父本,构建含有140个F<sub>6</sub>家系的RIL群体。通过表型变异、性状分布、环境稳定性、简单相关性分析,对亲本及其衍生的RIL子代的纤维品质性状遗传多样性进行系统评估。结果表明,在9个环境中纤维品质性状均近似正态分布,并且表现出少部分超亲分离现象。棉花3个主要纤维品质性状中,纤维长度、纤维比强度、马克隆值均表现出较低的超亲比例;纤维长度较其他性状在不同年份的各个环境表现稳定,马克隆值则易受环境影响。简单相关分析发现,纤维比强度与纤维长度呈极显著正相关,而纤维比强度、纤维长度与马克隆值均呈极显著负相关。进一步筛选出8个高产且纤维长度均大于30.33 mm、纤维比强度均大于30.32 cN/tex、马克隆值均小于4.72的优异RIL家系,在6个以上环境均表现较好。

**关键词:**陆地棉;RIL群体;纤维品质;遗传多样性;简单相关分析;优质育种

**中图分类号:**S562.03 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)15-0065-08

棉花是天然纤维的主要来源,是世界上重要的经济作物之一,对纺织业和农业影响重大,占据重要地位<sup>[1]</sup>。我国是棉花种植大国,2021年棉花总产

量达到573.1万t,陆地棉是主要栽培品种<sup>[2]</sup>。棉花的纤维产量性状和纤维品质性状是育种工作者的主要目标;随着纺织工业的进步,棉花的纤维品质受到了更高的关注<sup>[3]</sup>。但棉花纤维品质性状属于数量遗传性状,同时受到多个基因调控,易受环境因素影响<sup>[4]</sup>。为了提高棉花的纤维品质,需要在现有栽培种的基础上,进行改良、筛选,培育出优质棉花新品种。利用纤维品质差异较大的亲本构建重组自交系,可以在多环境下进行系统评估分析,提供稳定群体和优势种质资源,实现纤维品质的优化改良。

前人研究认为,陆地棉纤维品质性状主要由遗传主效应控制,同时,环境因素对其影响较大<sup>[5-6]</sup>。

收稿日期:2022-11-23

基金项目:中原院士基金中原学者项目(编号:212101510001);棉花生物学国家重点实验室基本科研业务费项目(编号:CB2022C05);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(编号:1610162022011)。

作者简介:史丽萍(2000—),女,甘肃平凉人,硕士研究生,主要从事棉花杂种优势原理与应用研究。E-mail:3036588546@qq.com

通信作者:邢朝柱,博士,研究员,从事棉花杂种优势原理与应用研究,E-mail:chaozhuxing@126.com;张艳,博士,教授,从事棉花抗病分子遗传及基因组学研究,E-mail:zhangyan7235@126.com。

[J]. 自然灾害学报,2006,15(增刊1):281-285.

[23]Zhang Z Z,Zhou N B,Xing Z P,et al. Effects of temperature and radiation on yield of spring wheat at different latitudes [J]. Agriculture,2022,12(5):627.

[24]廖森,方正武,胡文静,等. 59份江苏小麦品种(系)的抗赤霉病评价与农艺性状分析[J]. 麦类作物学报,2022,42(3):297-305.

[25]王晓婧,代兴龙,马鑫,等. 不同小麦品种产量和氮素吸收利

用的差异[J]. 麦类作物学报,2017,37(8):1065-1071.

[26]吴强,张永平,董玉新,等. 施氮量和灌水模式对小麦产量、品质和氮肥利用的影响[J]. 麦类作物学报,2020,40(3):334-342.

[27]孙梦,冯昊翔,张晓燕,等. 不同土壤肥力下施氮量对小麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报,2022,42(7):826-834.

[28]姜丽娜,张雅雯,朱娅林,等. 施氮量对不同品种小麦物质积累、转运及产量的影响[J]. 作物杂志,2019(5):151-158.