

河北省黑龙港流域小麦抗旱品种筛选

王优信<sup>1</sup>, 蔺明月<sup>1</sup>, 张雪花<sup>2</sup>, 李晓静<sup>2</sup>, 符 宇<sup>1</sup>,  
孟 畅<sup>1</sup>, 安浩军<sup>2</sup>, 王睿辉<sup>1</sup>, 段会军<sup>1</sup>

(1.河北农业大学 / 华北作物种质资源研究与利用教育部重点实验室, 河北 保定 071000;  
2.保定市农业科学院, 河北 保定 071000)

**摘 要:**干旱缺水是制约河北省黑龙港流域小麦生产的首要环境因子,从适合该区域的小麦新品种中筛选和推广抗旱品种,对在该地区实现节水保粮和维持地下水红线具有重要意义。本研究以近年来河北省中南部审定的 38 个小麦品种为材料,设置冬后浇 2 水、1 水和不浇水(0 水)3 个水分处理,于 2017—2018、2018—2019 年度在成安和辛集进行了大田条件下的抗旱品种筛选试验。结果表明:在大田生产中,可用以产量为基础的抗旱指数来评价品种的抗旱性;以抗旱指数结合高稳系数进行抗旱和稳定性协同评价时,筛选到轮选 103、衡 0628、衡 9966、河农 2063、衡 5835、中信麦 58 等 6 个品种在多个环境中抗旱等级为抗及以上,且产量稳定性较好,石麦 22、衡 4399、衡观 35、石麦 15、鲁原 502、泊麦 7 号等 6 个品种在多个环境中抗旱等级为抗及以上,且产量稳定性为中等。

**关键词:**小麦; 品种; 抗旱鉴定; 黑龙港流域  
**中图分类号:**S512.11      **文献标志码:**A

Screening for drought resistant wheat varieties in  
Heilonggang Area of Hebei Province

WANG Youxin<sup>1</sup>, LIN Mingyue<sup>1</sup>, ZHANG Xuehua<sup>2</sup>, LI Xiaojing<sup>2</sup>, FU Yu<sup>1</sup>,  
MENG Chang<sup>1</sup>, AN Haojun<sup>2</sup>, WANG Ruihui<sup>1</sup>, DUAN Huijun<sup>1</sup>

(1. Hebei Agricultural University/Key Laboratory of Research and Utilization of Crop Germplasm  
in North China, Ministry of Education, Baoding, Hebei 071000, China;  
2. Baoding Academy of Agricultural Sciences, Baoding, Hebei 071000, China)

**Abstract:** Drought is one of the critical environmental factors affecting wheat yield in Heilonggang area, Hebei Province. It is of great importance, therefore, to identify drought-resistant accessions from newly released wheat varieties to ensure food security and to save underground water resource used for ecological purpose. The objective of this study was to screen drought-resistant varieties from 38 wheat varieties recently released in central and southern area of Hebei Province under field conditions treated with different water regimes. The test was carried out under field conditions at experimental stations of Cheng'an and Xinji counties during two growing seasons of 2017–2018 and 2018–2019. The results showed that, could be used to evaluate the drought resistance of wheat varieties under field conditions when drought index (DI) based on yield combined with high stability coefficient (HSC), and a total of six varieties were chosen as varieties with drought resistance and highly yield stability. Also, six varieties were selected as varieties with drought resistance but medium stability. The selection of these drought-resistant wheat varieties had laid a crucial foundation for achieving water-saving through biological way in the Heilonggang area.

**Keywords:** bread wheat (*Triticum aestivum* L.); variety; drought resistance evaluation; Heilonggang area

收稿日期:2020-02-05      修回日期:2020-10-16

基金项目:国家重点研发项目(2017YFD0300901)

作者简介:王优信(1995–),男,河北邯郸人,硕士研究生,研究方向为小麦抗旱种质筛选。E-mail: wangyouxin123@ sina.cn

通信作者:王睿辉(1973–),男,河南汝州人,副教授,主要从事小麦种质资源研究。E-mail: wangrh@ hebau. edu. cn

段会军(1965–),男,河北保定人,教授,主要从事玉米遗传育种研究。E-mail: hjduan@ hebau. edu. cn

河北省是我国第三大小麦主产省份,小麦年均种植面积和年均产量均占全国的10%<sup>[1]</sup>。黑龙港流域位于河北平原的东南部,该地区小麦常年播种面积占全省小麦面积一半以上<sup>[2-3]</sup>,光热资源较好,但水资源严重不足是区域内小麦生产的重要限制因素<sup>[4]</sup>。

随全球气候变暖,干旱发生频次越来越高,已成为制约小麦丰产的首要环境因子。河北省作为我国受干旱影响程度最大的省份之一,黑龙港流域的多年平均降雨量也仅有138 mm<sup>[5-6]</sup>,不足冬小麦全生育期需水量的1/2<sup>[7]</sup>,小麦需水的亏缺部分几乎全部来自地下水灌溉,对地下水的超量开采造成了黑龙港流域内大面积的地下漏斗<sup>[7]</sup>。这种保粮(粮食安全)和维持地下水红线(生态安全)间的矛盾对筛选和推广抗旱小麦品种提出了迫切要求。

小麦抗旱性的遗传基础复杂、影响因素众多<sup>[8]</sup>,难以准确评价。在小麦抗旱筛选时,抗旱指标和抗旱鉴定方法的选用十分关键。刘桂茹等<sup>[9]</sup>认为应以产量为重要依据来计算品种的抗旱指数,这样既能反映不同种植条件下品种的稳产性,又能体现品种在旱地种植条件下的产量水平。李龙等<sup>[10]</sup>则认为,在进行大范围小麦种质抗旱性评价时,选用抗旱指数(*DI*)较好,而在优异亲本材料选择时,应将*DI*与综合抗旱性度量值(*D*值)结合起来使用效果更好些。高稳系数可评价品种的丰产稳定性<sup>[11-12]</sup>,但在抗旱试验中报道较少。PEG模拟干旱胁迫提供了较为可控的胁迫条件,是对小麦芽期(萌发期)、苗期进行抗旱评价的常用方法<sup>[13-15]</sup>,但小麦萌发期、苗期抗旱性与成株期抗旱性之间缺乏足够的相关性<sup>[10,16]</sup>。简易遮雨棚、自动化旱棚等鉴定方法则试图模拟绝对干旱时的胁迫条件,鉴定小麦无降水条件下的绝对抗旱性<sup>[17-18]</sup>,但往往又受制于试验面积较小、边际效应增大,仍然无法实现贴近大田条件下的抗旱鉴定。

作物对水分的敏感性与其所处生育时期密切相关<sup>[19]</sup>。小麦在不同生育时期的耗水量和对水分的敏感程度不同。越冬至返青期间耗水强度小,返青后需水量开始增加,拔节以后小麦进入旺盛生长阶段,耗水量急剧上升,拔节期缺水会影响小麦幼穗的分化和叶面积的形成<sup>[20-21]</sup>。同时,拔节期又是冬小麦水肥高效利用的关键期和敏感期,在拔节期追肥比全部施底肥效果更好<sup>[22]</sup>。而在不灌水条件下施氮量增加但产量增幅不大<sup>[23]</sup>,即干旱胁迫会极

大地影响肥料的效果,必须配合浇水处理氮肥的作用才会得到有效发挥<sup>[24]</sup>。干旱条件下灌水和氮肥增产效果均显著,但灌水增产潜力更大<sup>[25]</sup>。开花~成熟期是小麦的又一个高耗水时期,此期的耗水量达到最高,此时缺水不仅影响到籽粒的充实程度,也会对穗粒数、灌浆时间和叶片光合持续时间产生较大影响<sup>[19,26]</sup>。有研究表明,在春浇2水时以拔节期和开花期浇水处理表现出较高的产量和水分利用效率<sup>[26-28]</sup>。此外,对于小麦这类生育期长的大田作物,从配制杂交组合到新品种的审定至少需要10年左右的时间,因此对小麦新品种及时进行多环境下的大田抗旱筛选并尽早推广应用意义重大。鉴于此,本研究以河北省中南部近年新审定和推广的小麦品种为材料,选择地处黑龙港流域的辛集、成安两个试点,通过模拟大田环境下的水分胁迫条件,在2017—2018、2018—2019年小麦种植季,利用抗旱指数和高稳系数等指标对供试小麦品种的抗旱性进行了评价。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料包括近年来黑龙港地区推广面积较大的38个小麦品种。2017—2018年的参试品种有石麦22、济麦22、衡4399、冀麦325、冀麦418、石优20、中信麦9号、衡观35、石麦18、石麦15、鲁原502、邯麦13、轮选103、科农2011、婴泊700、中信麦99、邢麦13、石新828、农大399、邯麦6172、石农086、中麦155、石农952、石农956等24个,2018—2019年的参试品种有金禾13294、泊麦7号、衡9966、河农2063、中麦29、中信麦58、乐土808、石农958、河农6119、石麦22、衡4399、衡观35、衡0628、衡5835、冀麦325、轮选103、石农952、中信麦9号、中信麦99、中麦155、冀优2018、冀优5766、冀优5218等23个,其中石麦22、衡4399、衡观35、冀麦325、轮选103、石农952、中信麦9号、中信麦99、中麦155等9个品种在2个年度的辛集、成安两地均参加试验。

### 1.2 试验方法

试验于2017—2018、2018—2019年度小麦生产季在邯郸市成安县(CA)和石家庄市辛集市(XJ)进行(分别用1718CA、1718XJ、1819CA、1819XJ代表)。每个供试小麦品种种植面积为0.134 hm<sup>2</sup>(2亩),设置冬后浇2水(丰水,D2)、浇1水(节水,

D1) 和不浇水(干旱, D0) 共 3 个处理; D0 处理为雨养条件, 冬后至小麦收获前不进行任何人工灌溉; D1 处理为冬后(拔节期) 浇 1 次水, 灌溉量为  $675\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ; D2 处理为冬后浇 2 次水, 分别于拔节期、开花期进行, 每次灌水量均为  $675\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。每处理设 3 次重复, 每个品种共种植 9 个试验小区, 单个小区面积约  $110\text{ m}^2$ 。小区间设置 3 m 的隔离区。辛集和成安试点 2017 年分别于 10 月 23 日和 20 日播种, 2018 年分别于 10 月 22 日和 16 日播种。辛集试点播种前施复合肥(N : P : K = 15 : 20 : 8)  $750\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  作基肥, 在 D1、D2 处理时均在小麦拔节期追施复合肥  $300\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ; 成安试点播种前施硅谷肥(N : P : K = 28 : 10 : 7)  $525\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  作基肥, 在 D1、D2 处理时均在小麦拔节期追施尿素  $187.5\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。所有处理同当地常规田间管理。

1.3 测定项目与方法

小麦收获前, 调查各供试品种不同处理下的单位面积穗数。每个处理、每个重复随机选择 2 个具有代表性的样点(面积为  $0.1\text{ m}^2$ ), 计数样点内的有效穗数后, 折算成单位面积穗数。

参照金善宝<sup>[29]</sup>的方法对小麦单株进行考种。在小麦临近收获前, 每品种、每处理、每重复选取 10 个有代表性的单株, 分别对株高、抽穗度、穗下节间长度、旗叶长、穗长、小穗数、穗粒数和千粒重进行调查。同时, 每个品种、每处理小区实收  $2\text{ m}^2$  测产, 脱粒后计算产量(籽粒含水量为 13%)。

1.4 抗旱系数与抗旱指数

数据整理和系统聚类分析分别用软件 Excel 2010 和 SPSS19 进行处理。参照兰巨生<sup>[30]</sup>的方法, 用干旱胁迫和正常灌水下的产量计算抗旱系数(drought coefficient, DC) 和抗旱指数(drought index, DI):

$$DC = X_i(k) / CK_i(k)$$

$$DI = (X_i(k) / \bar{X}_i) \times DC$$

其中,  $X_i(k)$  为处理组各性状的测定值,  $CK_i(k)$  为对照组各性状的测定值,  $\bar{X}_i$  为处理组各性状的平均值, 本研究中以 D0 为处理组, 以 D2 为对照组。

1.5 高稳系数(HSC)

参照温振民<sup>[31]</sup>的方法计算高稳系数( $HSC_i$ ):

$$HSC_i = (X_i - S_i) / 1.1X_{ck} \times 100\%$$

其中,  $X_i$  为第  $i$  个品种的平均产量,  $S_i$  为第  $i$  个品种的产量标准差,  $1.1X_{ck}$  为比平均对照品种产量( $X_{ck}$ )

增产 10% 的产量。 $HSC_i$  越大, 表明参试品种的丰产、稳产性越好<sup>[31]</sup>。参考逐级分类法, 以平均数加减一个标准差将各个供试小麦品种在抗旱(D0) 处理下的稳定性分为强、中等和弱 3 个等级<sup>[32]</sup>。

2 结果与分析

2.1 供试小麦品种在不同水分处理下的农艺性状变化

2017—2018 年度, 辛集试点 10 月初降雨较多(为  $143\text{ mm}$ ), 故该试点的小麦播期较晚(为 10 月 23 日); 翌年 3 月下旬至 4 月初(拔节期) 的降雨量较少(为  $16\text{ mm}$ ), 4 月下旬至 5 月上旬(临近开花期) 降雨较多(为  $78.3\text{ mm}$ ); 该年度辛集试点小麦全生育期的降雨量为  $294.2\text{ mm}$ 。成安试点在 10 月份降雨较少(为  $22.4\text{ mm}$ ); 翌年 3 月下旬至 4 月初(拔节期) 几乎没有有效降雨, 在 4 月下旬至 5 月上旬(临近开花期) 降雨较多(为  $91\text{ mm}$ ); 该年度成安试点小麦全生育期的降雨量为  $212.4\text{ mm}$ 。

2018—2019 年度辛集试点在 10 月份降雨较少(为  $6.4\text{ mm}$ ); 翌年 3 月下旬至 4 月上旬(拔节期) 的降雨量较少(为  $13.2\text{ mm}$ ), 4 月下旬至 5 月上旬(临近开花期) 降雨较少(为  $25\text{ mm}$ ); 该年度辛集试点小麦全生育期的降雨量为  $75.7\text{ mm}$ 。成安试点在 10 月份无降雨; 翌年 4 月降雨较多(为  $78.2\text{ mm}$ ), 5 月降雨较少(为  $15\text{ mm}$ ); 该年度成安试点小麦全生育期的降雨量为  $133.5\text{ mm}$ 。

计算了环境、处理和品种(基因型) 及相互间的差异显著性。结果表明, 除小穗数外, 各供试小麦品种的农艺性状在水分处理间的差异极显著( $P < 0.01$ ), 所有性状在环境间和基因型间(品种间) 差异亦极显著。在性状与环境互作方面, 除穗长外的其他性状在环境×基因型、水分处理×基因型或环境×水分处理、环境×水分处理×基因型方面的差异显著或极显著(表 1)。

比较了供试小麦品种 2 个年度间不同水分处理下的性状变化(表 2)。可以看出, 与丰水处理(D2) 相比, D1(春浇 1 水) 处理下各性状虽有不同程度下降, 但差异不显著; D0 处理(春季不浇水) 下绝大多数性状值均显著低于 D2、D1 处理。

2.2 各供试小麦品种的抗旱性及稳定性评价

2.2.1 供试小麦品种 2017—2018 年度的抗旱性  
由表 3 可知, 在 2017—2018 年度, 辛集试点各品种的抗旱指数(DI) 值变化在  $0.72 \sim 1.15$  之间, 平均为  $0.93$ , 以品种济麦 22 的 DI 值最高(为  $1.15$ ); 成安试点各品种的 DI 值变化在  $0.28 \sim 1.01$  之间, 平均为

0.66,以品种冀麦 325 的 *DI* 值最高(为 1.01)。根据系统聚类法将 24 份小麦品种划分为强抗、抗、中抗、较敏感和敏感等 5 种类型。结合 D0 处理下的产量和 *DI* 值,发现抗旱性较好的品种有衡 4399、石麦 22、中信麦 9 号、轮选 103、石麦 15 和鲁原 502。

2.2.2 供试小麦品种 2018—2019 年度的抗旱性

由表 4 可知,2018—2019 年度,辛集试点各品种的

*DI* 值变化在 0.11~1.22 之间,平均为 0.60,以品种金禾 13294 的 *DI* 值最高(为 1.22);成安试点各品种的 *DI* 值变化在 0.54~1.03 之间,平均为 0.84,以品种河农 6119 的 *DI* 值最高(为 1.03)。结合 D0 处理下的产量和 *DI* 值,发现轮选 103、衡 0628、中信麦 58、泊麦 7 号、衡 9966、衡 5835、河农 2063、衡观 35 和石麦 22 等品种的抗旱性较好。

表 1 小麦产量和农艺性状的均方差

Table 1 Mean square value of wheat yield and agronomic characters

| 因变量<br>Dependent variable | 自由度<br>DF | 株高<br>PH   | 穗下节间长<br>ILUS | 穗长<br>SL | 小穗数<br>SNPS | 千粒重<br>TKW | 产量<br>Y      |
|---------------------------|-----------|------------|---------------|----------|-------------|------------|--------------|
| 环境 Environment(E)         | 3         | 5266.41 ** | 260.58 **     | 9.38 **  | 106.39 **   | 683.13 **  | 961150.84 ** |
| 水分 Moisture(M)            | 2         | 2171.84 ** | 424.30 **     | 4.66 **  | 0.75ns      | 109.90 **  | 773869.68 ** |
| 基因型 Genotype(G)           | 37        | 175.82 **  | 78.99 **      | 2.84 **  | 14.81 **    | 118.77 **  | 18740.97 **  |
| 环境×水分 E×M                 | 6         | 307.41 **  | 97.96 **      | 0.51 **  | 1.66 **     | 50.86 **   | 92654.23 **  |
| 环境×基因型 E×G                | 53        | 44.37 **   | 6.52 **       | 0.40 **  | 2.31 **     | 14.42 **   | 11081.32 **  |
| 水分×基因型 M×G                | 74        | 20.79 **   | 4.08 **       | 0.11 *   | 0.69 **     | 7.94 **    | 3513.83 **   |
| 环境×水分×基因型 E×M×G           | 106       | 14.57 **   | 3.85 *        | 0.10ns   | 0.61 *      | 5.80 **    | 3458.18 **   |
| 误差 Error                  | 282       | 6.79       | 2.33          | 0.08     | 0.44        | 3.12       | 1195.12      |

注:\*,\*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

Note: \* and \*\* indicate significant difference at the level of 0.05 and 0.01, respectively. DF: Degree of freedom;PH: Plant height;ILUS: Internode length underneath spike;SL: Spike length;SNPS: Spikelet number per spike;TKW: Thousand kernel weight;Y: Yield.

表 2 各试点在 2017—2018、2018—2019 年不同水分处理下供试小麦品种的农艺性状、产量变化

Table 2 Changes of agronomic characters and yield of wheat varieties tested under different water treatments in 2017–2018 and 2018–2019 cropping seasons

| 年度<br>Year    | 地点<br>Location | 性状<br>Trait   | D0             |           | D1            |           | D2            |           |
|---------------|----------------|---------------|----------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|
|               |                |               | 平均数 Mean       | 变异系数 CV/% | 平均数 Mean      | 变异系数 CV/% | 平均数 Mean      | 变异系数 CV/% |
| 2017–<br>2018 | 辛集<br>Xinji    | 株高 PH/cm      | 67.17B±4.52    | 6.73      | 71.63A±4.78   | 6.68      | 73.41A±4.39   | 5.98      |
|               |                | 穗下节间长 ILUS/cm | 24.24±2.84     | 11.73     | 25.5±2.89     | 11.32     | 25.76±3.74    | 14.50     |
|               |                | 穗长 SL/cm      | 6.92±0.45      | 6.54      | 6.99±0.50     | 7.16      | 7.1±0.44      | 6.23      |
|               |                | 小穗数 SNPS/个    | 16.78±1.14     | 6.82      | 16.6±1.15     | 6.94      | 17.09±1.15    | 6.71      |
|               |                | 千粒重 TKW/g     | 39.69±4.09     | 10.31     | 39.47±3.42    | 8.67      | 39.86±3.14    | 7.87      |
|               | 成安<br>Cheng'an | 产量 Y/kg       | 443.74B±30.87  | 6.96      | 486.72A±22.34 | 4.59      | 479.33A±24.04 | 5.01      |
|               |                | 株高 PH/cm      | 53.91B±4.69    | 8.71      | 58.89A±4.37   | 7.43      | 60.58A±3.8    | 6.27      |
|               |                | 穗下节间长 ILUS/cm | 20.66B±2.79    | 13.51     | 22.02AB±0.40  | 1.80      | 23.02A±0.54   | 2.35      |
|               |                | 穗长 SL/cm      | 6.11B±0.43     | 7.11      | 6.61A±2.19    | 33.12     | 6.60A±2.4     | 36.40     |
|               |                | 小穗数 SNPS/个    | 14.67A±1.15    | 7.86      | 15.22A±0.58   | 3.81      | 15.23A±0.72   | 4.73      |
| 2018–<br>2019 | 辛集<br>Xinji    | 千粒重 TKW/g     | 35.07B±2.38    | 6.79      | 37.15A±0.23   | 0.62      | 37.15A±0.26   | 0.70      |
|               |                | 产量 Y/kg       | 238.11B±48.18  | 20.23     | 344.29A±57.36 | 16.66     | 368.18A±54.82 | 14.89     |
|               |                | 株高 PH/cm      | 60.05B±5.83    | 9.75      | 70.94A±5.57   | 7.85      | 72.35A±5.12   | 7.08      |
|               |                | 穗下节间长 ILUS/cm | 19.16B±2.44    | 12.75     | 25.02A±2.40   | 9.57      | 25.86A±2.39   | 9.24      |
|               |                | 穗长 SL/cm      | 6.65A±0.67     | 10.10     | 6.99A±0.69    | 9.87      | 6.98A±0.62    | 8.93      |
|               | 成安<br>Cheng'an | 小穗数 SNPS/个    | 17.21A±1.29    | 7.48      | 16.87A±1.21   | 7.19      | 16.82A±1.19   | 7.10      |
|               |                | 千粒重 TKW/g     | 39.91A±3.63    | 9.11      | 35.63B±3.59   | 10.07     | 39.00A±4.09   | 10.49     |
|               |                | 产量 Y/kg       | 321.08C±101.85 | 31.72     | 477.85B±98.23 | 20.56     | 574.50A±65.17 | 11.34     |
|               |                | 株高 PH/cm      | 70.92A±4.22    | 5.95      | 72.87A±4.14   | 5.68      | 72.78A±4.74   | 6.52      |
|               |                | 穗下节间长 ILUS/cm | 22.37A±2.84    | 12.68     | 23.40A±2.70   | 11.55     | 23.87A±2.59   | 10.85     |
|               | 成安<br>Cheng'an | 穗长 SL/cm      | 6.99A±0.51     | 7.34      | 7.14A±0.51    | 7.15      | 7.15A±0.44    | 6.19      |
|               |                | 小穗数 SNPS/个    | 17.36A±1.17    | 6.73      | 17.02A±1.07   | 6.28      | 16.95A±1.33   | 7.83      |
|               |                | 千粒重 TKW/g     | 42.98A±3.56    | 8.29      | 39.97B±3.48   | 8.69      | 41.58AB±3.75  | 9.01      |
|               |                | 产量 Y/kg       | 494.41C±42.15  | 8.53      | 555.86B±53.04 | 9.54      | 591.84A±40.84 | 6.90      |

注:每行中不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ )。

Note: Different capital letters between the same column indicate significant difference ( $P<0.01$ ). CV: Coefficient of variation;PH: Plant height; ILUS: Internode length underneath spike;SL: Spike length;SNPS: Spikelet number per spike;TKW: Thousand kernel weight;Y: Yield.



表 3 各供试小麦品种在 2017—2018 年度的抗旱指数

Table 3 Drought index of wheat varieties in 2017–2018 cropping season

| 辛集 Xinji              | D0 产量<br>Yield under D0<br>treatment/kg | 抗旱指数<br>DI | 等级<br>DRL | 成安<br>Cheng'an        | D0 产量<br>Yield under D0<br>treatment/kg | 抗旱指数<br>DI | 等级<br>DRL |
|-----------------------|-----------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|-----------------------------------------|------------|-----------|
| 济麦 22 Jimai 22        | 515.10                                  | 1.15       | 强抗 HR     | 冀麦 325 Jimai 325      | 316.06                                  | 1.01       | 强抗 HR     |
| 衡 4399 Heng 4399      | 494.85                                  | 1.10       | 强抗 HR     | 石麦 22 Shimai 22       | 306.25                                  | 0.98       | 强抗 HR     |
| 冀麦 418 Jimai 418      | 483.38                                  | 1.05       | 抗 R       | 衡 4399 Heng 4399      | 274.37                                  | 0.94       | 抗 R       |
| 石优 20 Shiyou 20       | 467.76                                  | 1.02       | 抗 R       | 中信麦 9 号 Zhongxinmai 9 | 285.56                                  | 0.89       | 抗 R       |
| 中信麦 9 号 Zhongxinmai 9 | 459.04                                  | 1.02       | 抗 R       | 鲁原 502 Luyuan 502     | 289.16                                  | 0.86       | 抗 R       |
| 石麦 22 Shimai 22       | 456.03                                  | 1.02       | 抗 R       | 婴泊 700 Yingbo 700     | 282.40                                  | 0.82       | 抗 R       |
| 衡观 35 Hengguan 35     | 462.61                                  | 1.01       | 抗 R       | 科农 2011 Kenong 2011   | 262.35                                  | 0.80       | 抗 R       |
| 石麦 18 Shimai 18       | 445.89                                  | 1.00       | 抗 R       | 轮选 103 Lunxuan 103    | 297.21                                  | 0.79       | 抗 R       |
| 石麦 15 Shimai 15       | 470.78                                  | 1.00       | 抗 R       | 石麦 18 Shimai 18       | 251.41                                  | 0.74       | 中抗 MR     |
| 鲁原 502 Luyuan 502     | 451.67                                  | 0.95       | 中抗 MR     | 石农 086 Shinong 086    | 263.32                                  | 0.71       | 中抗 MR     |
| 邯麦 13 Hanmai 13       | 458.40                                  | 0.94       | 中抗 MR     | 农大 399 Nongda 399     | 244.56                                  | 0.69       | 中抗 MR     |
| 轮选 103 Lunxuan 103    | 452.82                                  | 0.93       | 中抗 MR     | 石优 20 Shiyou 20       | 248.19                                  | 0.68       | 中抗 MR     |
| 科农 2011 Kenong 2011   | 440.67                                  | 0.92       | 中抗 MR     | 冀麦 418 Jimai 418      | 242.98                                  | 0.67       | 中抗 MR     |
| 婴泊 700 Yingbo 700     | 438.09                                  | 0.92       | 中抗 MR     | 石麦 15 Shimai 15       | 263.91                                  | 0.65       | 中抗 MR     |
| 中信麦 99 Zhongxinmai 99 | 427.73                                  | 0.90       | 中抗 MR     | 石新 828 Shixin 828     | 197.17                                  | 0.58       | 较敏感 S     |
| 冀麦 325 Jimai 325      | 439.20                                  | 0.90       | 中抗 MR     | 石农 952 Shinong 952    | 193.33                                  | 0.57       | 较敏感 S     |
| 邢麦 13 Xingmai 13      | 426.21                                  | 0.89       | 中抗 MR     | 济麦 22 Jimai 22        | 207.45                                  | 0.54       | 较敏感 S     |
| 石新 828 Shixin 828     | 418.48                                  | 0.85       | 较敏感 S     | 邯麦 13 Hanmai 13       | 222.89                                  | 0.52       | 较敏感 S     |
| 农大 399 Nongda 399     | 422.68                                  | 0.82       | 较敏感 S     | 衡观 35 Hengguan 35     | 215.68                                  | 0.52       | 较敏感 S     |
| 邯麦 6172 Hanmai 6172   | 424.53                                  | 0.81       | 较敏感 S     | 邢麦 13 Xingmai 13      | 205.43                                  | 0.49       | 较敏感 S     |
| 石农 086 Shinong 086    | 415.27                                  | 0.80       | 较敏感 S     | 石农 956 Shinong 956    | 160.09                                  | 0.45       | 较敏感 S     |
| 中麦 155 Zhongmai 155   | 395.45                                  | 0.77       | 敏感 HS     | 邯麦 6172 Hanmai 6172   | 185.80                                  | 0.37       | 敏感 HS     |
| 石农 956 Shinong 956    | 407.62                                  | 0.72       | 敏感 HS     | 中麦 155 Zhongmai 155   | 139.49                                  | 0.31       | 敏感 HS     |
| 石农 952 Shinong 952    | 375.50                                  | 0.72       | 敏感 HS     | 中信麦 99 Zhongxinmai 99 | 159.63                                  | 0.28       | 敏感 HS     |

Note; DI: Drought index; HR: Highly resistant; R: Resistant; MR: Moderately resistant; S: Sensitive; HS: Highly sensitive; DRL: Drought resistance level. The same below.

表 4 各供试小麦品种在 2018—2019 年度的抗旱指数

Table 4 Drought index of wheat varieties in 2018–2019 cropping season

| 辛集 Xinji              | D0 产量<br>Yield under D0<br>treatment/kg | 抗旱指数<br>DI | 等级<br>DRL | 成安<br>Cheng'an        | D0 产量<br>Yield under D0<br>treatment/kg | 抗旱指数<br>DI | 等级<br>DRL |
|-----------------------|-----------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|-----------------------------------------|------------|-----------|
| 金禾 13294 Jinhe 13294  | 499.24                                  | 1.22       | 强抗 HR     | 河农 6119 Henong 6119   | 570.90                                  | 1.03       | 强抗 HR     |
| 轮选 103 Lunxuan 103    | 493.17                                  | 1.15       | 强抗 HR     | 泊麦 7 号 Bomai 7        | 567.67                                  | 1.01       | 强抗 HR     |
| 衡 0628 Heng 0628      | 388.34                                  | 0.85       | 抗 R       | 衡 0628 Heng 0628      | 518.87                                  | 0.99       | 强抗 HR     |
| 中信麦 58 Zhongxinmai 58 | 396.86                                  | 0.82       | 抗 R       | 石麦 22 Shimai 22       | 528.12                                  | 0.97       | 强抗 HR     |
| 石农 958 Shinong 958    | 399.78                                  | 0.77       | 抗 R       | 藁优 5218 Gaoyou 5218   | 481.79                                  | 0.94       | 抗 R       |
| 衡 9966 Heng 9966      | 375.31                                  | 0.75       | 抗 R       | 衡 5835 Heng 5835      | 515.56                                  | 0.94       | 抗 R       |
| 泊麦 7 号 Bomai 7        | 349.55                                  | 0.74       | 抗 R       | 轮选 103 Lunxuan 103    | 542.11                                  | 0.93       | 抗 R       |
| 河农 2063 Henong 2063   | 381.77                                  | 0.74       | 抗 R       | 中麦 155 Zhongmai 155   | 501.44                                  | 0.90       | 抗 R       |
| 衡观 35 Hengguan 35     | 382.64                                  | 0.72       | 抗 R       | 中信麦 58 Zhongxinmai 58 | 510.04                                  | 0.90       | 抗 R       |
| 衡 5835 Heng 5835      | 375.04                                  | 0.69       | 中抗 MR     | 衡观 35 Hengguan 35     | 525.19                                  | 0.87       | 中抗 MR     |
| 乐土 808 Letu 808       | 372.11                                  | 0.67       | 中抗 MR     | 河农 2063 Henong 2063   | 500.07                                  | 0.87       | 中抗 MR     |
| 衡 4399 Heng 4399      | 319.93                                  | 0.65       | 中抗 MR     | 衡 9966 Heng 9966      | 509.45                                  | 0.85       | 中抗 MR     |
| 冀麦 325 Jimai 325      | 332.52                                  | 0.63       | 中抗 MR     | 金禾 13294 Jinhe 13294  | 463.23                                  | 0.84       | 中抗 MR     |
| 中麦 29 Zhongmai 29     | 346.77                                  | 0.62       | 中抗 MR     | 乐土 808 Letu 808       | 504.10                                  | 0.83       | 中抗 MR     |
| 藁优 2018 Gaoyou 2018   | 322.20                                  | 0.60       | 中抗 MR     | 中信麦 99 Zhongxinmai 99 | 474.11                                  | 0.82       | 中抗 MR     |
| 石麦 22 Shimai 22       | 336.21                                  | 0.60       | 中抗 MR     | 石农 958 Shinong 958    | 493.41                                  | 0.80       | 中抗 MR     |
| 藁优 5218 Gaoyou 5218   | 222.85                                  | 0.34       | 较敏感 S     | 藁优 2018 Gaoyou 2018   | 487.12                                  | 0.79       | 中抗 MR     |
| 藁优 5766 Gaoyou 5766   | 224.96                                  | 0.33       | 较敏感 S     | 藁优 5766 Gaoyou 5766   | 467.22                                  | 0.79       | 中抗 MR     |
| 河农 6119 Henong 6119   | 219.92                                  | 0.26       | 较敏感 S     | 石农 952 Shinong 952    | 476.23                                  | 0.74       | 较敏感 S     |
| 中信麦 9 号 Zhongxinmai 9 | 176.17                                  | 0.20       | 敏感 HS     | 衡 4399 Heng 4399      | 470.90                                  | 0.73       | 较敏感 S     |
| 中麦 155 Zhongmai 155   | 173.44                                  | 0.17       | 敏感 HS     | 中信麦 9 号 Zhongxinmai 9 | 453.62                                  | 0.71       | 较敏感 S     |
| 石农 952 Shinong 952    | 168.01                                  | 0.13       | 敏感 HS     | 冀麦 325 Jimai 325      | 427.27                                  | 0.58       | 敏感 HS     |
| 中信麦 99 Zhongxinmai 99 | 127.98                                  | 0.11       | 敏感 HS     | 中麦 29 Zhongmai 29     | 382.92                                  | 0.54       | 敏感 HS     |

2.2.3 供试小麦品种在不浇水处理下的抗旱性及产量稳定性评价 在 2 个年度共有 38 个小麦品种参与试验,其中邯麦 13 等 15 个品种(2017–2018)、泊麦 7 号等 14 个品种(2018–2019)分别参加 2 个试点(辛集、成安)的水分处理试验,石麦 22 等 9 个品种参加了两年、两试点的水分处理试验。计算了 2 个试验年度各供试小麦品种基于不浇水处理产量的高稳系数(*HSC*)(表 5)。可以看出,各供试小麦品种在 D0 处理时的 *HSC* 值变化较大(0.24~1.02 之间,平均值 0.55),以品种金禾 13294 的 *HSC* 值最高(为 1.02),石农 958、中麦 29 等 9 个品种的 *HSC* 值也较高( $\geq 0.76$ ),认为这 10 个品种为 D0 处理时产量稳定性较好的品种。

表 5 各供试小麦品种基于不浇水处理产量的高稳系数

| Table 5 High stability coefficient (HSC) of wheat varieties based on yield under no irrigation treatments |                          |             |                  |                       |                          |             |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------|------------------|-----------------------|--------------------------|-------------|------------------|
| 品种<br>Variety                                                                                             | 平均产量<br>Average yield/kg | 高稳系数<br>HSC | 稳定性<br>Stability | 品种<br>Variety         | 平均产量<br>Average yield/kg | 高稳系数<br>HSC | 稳定性<br>Stability |
| 金禾 13294 Jinhe 13294                                                                                      | 481.24                   | 1.02        | 强 S              | 科农 2011 Kenong 2011   | 351.51                   | 0.5         | 中等 M             |
| 石农 958 Shinong 958                                                                                        | 446.59                   | 0.85        | 强 S              | 石麦 15 Shimai 15       | 367.34                   | 0.49        | 中等 M             |
| 中信麦 58 Zhongxinmai 58                                                                                     | 453.45                   | 0.83        | 强 S              | 石麦 18 Shimai 18       | 348.65                   | 0.47        | 中等 M             |
| 衡 0628 Heng 0628                                                                                          | 453.61                   | 0.81        | 强 S              | 农大 399 Nongda 399     | 333.62                   | 0.46        | 中等 M             |
| 河农 2063 Henong 2063                                                                                       | 440.92                   | 0.8         | 强 S              | 中信麦 9 号 Zhongxinmai 9 | 343.6                    | 0.46        | 中等 M             |
| 衡 9966 Heng 9966                                                                                          | 442.38                   | 0.78        | 强 S              | 石优 20 Shiyou 20       | 357.97                   | 0.45        | 中等 M             |
| 衡 5835 Heng 5835                                                                                          | 445.3                    | 0.77        | 强 S              | 冀麦 418 Jimai 418      | 363.18                   | 0.43        | 中等 M             |
| 乐土 808 Letu 808                                                                                           | 438.11                   | 0.77        | 强 S              | 藁优 5766 Gaoyou 5766   | 346.09                   | 0.39        | 中等 M             |
| 轮选 103 Lunxuan 103                                                                                        | 446.33                   | 0.76        | 强 S              | 邯麦 13 Hanmai 13       | 340.65                   | 0.39        | 中等 M             |
| 中麦 29 Zhongmai 29                                                                                         | 364.85                   | 0.76        | 强 S              | 藁优 5218 Gaoyou 5218   | 352.32                   | 0.38        | 中等 M             |
| 冀麦 325 Jimai 325                                                                                          | 378.76                   | 0.7         | 中等 M             | 邢麦 13 Xingmai 13      | 315.82                   | 0.36        | 中等 M             |
| 泊麦 7 号 Bomai 7                                                                                            | 458.61                   | 0.68        | 中等 M             | 石农 952 Shinong 952    | 303.27                   | 0.35        | 弱 W              |
| 石麦 22 Shimai 22                                                                                           | 406.65                   | 0.68        | 中等 M             | 石新 828 Shixin 828     | 307.82                   | 0.34        | 弱 W              |
| 藁优 2018 Gaoyou 2018                                                                                       | 404.66                   | 0.64        | 中等 M             | 河农 6119 Henong 6119   | 395.41                   | 0.33        | 弱 W              |
| 衡 4399 Heng 4399                                                                                          | 390.02                   | 0.63        | 中等 M             | 济麦 22 Jimai 22        | 361.27                   | 0.32        | 弱 W              |
| 衡观 35 Hengguan 35                                                                                         | 396.53                   | 0.59        | 中等 M             | 邯麦 6172 Hanmai 6172   | 305.17                   | 0.3         | 弱 W              |
| 鲁原 502 Luyuan 502                                                                                         | 370.42                   | 0.57        | 中等 M             | 中麦 155 Zhongmai 155   | 302.45                   | 0.29        | 弱 W              |
| 婴泊 700 Yingbo 700                                                                                         | 360.24                   | 0.56        | 中等 M             | 中信麦 99 Zhongxinmai 99 | 297.37                   | 0.27        | 弱 W              |
| 石农 086 Shinong 086                                                                                        | 339.29                   | 0.52        | 中等 M             | 石农 956 Shinong 956    | 283.86                   | 0.24        | 弱 W              |

Note;HSC: High stability coefficient;S: Strong resistance;M: Moderate resistance;W: Weak resistance

表 6 2 a、两环境均参加试验的 9 个小麦品种的抗旱指数

| Table 6 Drought index for nine wheat varieties in two cropping seasons at Xinji and Cheng'an counties |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 品种 Varieties                                                                                          | 1718XJ | 等级 DRL | 1718CA | 等级 DRL | 1819XJ | 等级 DRL | 1819CA | 等级 DRL |
| 衡 4399 Heng 4399                                                                                      | 1.11   | 抗 R    | 0.92   | 抗 R    | 0.75   | 中抗 MR  | 0.74   | 中抗 MR  |
| 中信麦 9 号 Zhongxinmai 9                                                                                 | 1.03   | 抗 R    | 0.27   | 敏感 HS  | 0.12   | 敏感 HS  | 0.83   | 中抗 MR  |
| 石麦 22 Shimai 22                                                                                       | 1.03   | 抗 R    | 0.96   | 抗 R    | 0.69   | 中抗 MR  | 0.98   | 抗 R    |
| 衡观 35 Hengguan 35                                                                                     | 1.02   | 抗 R    | 0.51   | 中抗 MR  | 0.83   | 中抗 MR  | 0.88   | 抗 R    |
| 轮选 103 Lunxuan 103                                                                                    | 0.94   | 中抗 MR  | 0.78   | 抗 R    | 1.32   | 抗 R    | 0.94   | 抗 R    |
| 中信麦 99 Zhongxinmai 99                                                                                 | 0.91   | 中抗 MR  | 0.88   | 抗 R    | 0.23   | 敏感 HS  | 0.72   | 中抗 MR  |
| 冀麦 325 Jimai 325                                                                                      | 0.91   | 中抗 MR  | 0.99   | 抗 R    | 0.73   | 中抗 MR  | 0.59   | 敏感 HS  |
| 中麦 155 Zhongmai 155                                                                                   | 0.77   | 敏感 HS  | 0.30   | 敏感 HS  | 0.19   | 敏感 HS  | 0.91   | 抗 R    |
| 石农 952 Shinong 952                                                                                    | 0.72   | 敏感 HS  | 0.56   | 中抗 MR  | 0.15   | 敏感 HS  | 0.75   | 中抗 MR  |

## 3 讨 论

### 3.1 大田条件下抗旱筛选的指标选择

小麦抗旱性是表现为一系列生理生化和形态变化的复杂性状。目前在抗旱性评价方法上既有以产量为依据的抗旱系数、抗旱指数等直接评价方法,也有通过隶属函数值、主成分分析、灰色关联度分析和加权抗旱指数、抗旱性综合度量值等综合评价方法。抗旱系数是早期常用的抗旱鉴定指标<sup>[33]</sup>,但存在待鉴定品种在正常浇水与胁迫条件下的产量均低而计算出的抗旱系数较大的可能性<sup>[34]</sup>。抗旱指数同时考虑了品种的绝对产量和相对产量,有利于筛选出产量水平较高、在干旱条件下减产幅度较小的品种<sup>[17]</sup>。与抗旱系数、抗旱指数等简单指标相比,隶属函数分析法是在对供试小麦品种多性状测定基础上,通过各性状隶属函数加权值对材料的抗旱性进行综合评价,以提高抗旱性筛选的可靠性<sup>[35]</sup>。主成分分析法则将较多相关性状转换成个数较少且独立的综合指标,根据权重计算抗旱性综合度量值( $D$ )来评价抗旱性<sup>[36-38]</sup>。灰色关联度分析法可以纳入更多的测试性状,将各性状权重值与其抗旱指数或隶属函数值的乘积计算加权抗旱指数或抗旱性综合度量值,进而评价抗旱性<sup>[10,39]</sup>。对于作物生产来讲,抗旱性主要体现在产量上。在实际操作中,抗旱指数可反映旱地产量,且方法简单易操作。在本研究中,以抗旱指数为评价方法,在多年多点的大田生产试验中,节水组对照品种石麦 22 和获河北省科技进步二等奖的抗旱节水品种衡观 35 表现出较好的抗旱性,与实际结果相符。同时,由于综合指标调查性状较多,且结果又与抗旱指数等直接评价方法高度相关,因此认为在大田生产中可用以产量为基础的抗旱指数来评价品种的抗旱性。

### 3.2 小麦品种抗旱性评价

白云飞等<sup>[40]</sup>用隶属函数法对小麦品种在干旱棚中的成株期抗旱性进行了评价,认为衡 4399、衡观 35、石麦 15 和鲁原 502 等品种的抗旱性处于中等水平。而另有研究以农艺、产量性状的平均抗旱指数或单纯以产量为指标时,认为石麦 15、鲁原 502 抗旱性弱<sup>[41]</sup>,衡 4399、衡观 35 抗旱性较好<sup>[42-43]</sup>。但当以  $D$  值为评价依据时,石麦 15、鲁原 502 被认为是抗旱性较好的品种<sup>[44-45]</sup>。可见,对小麦品种的抗旱性评价,是受环境、胁迫程度和遗传等多种因素影响的一种相对判断,同一品种在不同环境中被用不同方法进行抗旱性评价时未必能得出一致的

结果。

有研究表明,在大田生产中可用以产量为基础的抗旱指数来评价品种的抗旱性<sup>[9,46]</sup>。本研究以产量的抗旱指数为指标,对 9 个品种进行 2 a 环境的鉴定,轮选 103、石麦 22、衡 4399、衡观 35 表现出较好的抗旱性,这与曹彩云等<sup>[42-43]</sup>的结果一致。同时,在用 1 a 的产量试验数据(辛集、成安)对另外 29 个品种进行抗旱性评价时,石麦 15、衡 0628、鲁原 502 等品种表现出较好的抗旱性,与前人在不同试验环境、不同年型下、不同播种密度下的结果较为一致<sup>[44-45,47-49]</sup>。因此,考虑到这 29 个品种仅有 1 a、两个试验环境的鉴定结果,审慎地认为衡 9966、河农 2063、衡 5835、中信麦 58、泊麦 7 号等新审定的小麦品种抗旱性较好。

高稳系数在评价品种产量的稳定性方面应用较多<sup>[11-12]</sup>,体现了“稳产基础上的高产,高产基础上的稳产”这一育种思想<sup>[50]</sup>,但在抗旱鉴定中的应用较为少见。本研究将抗旱性与高稳系数相结合,初步认为轮选 103、衡 0628、衡 9966、河农 2063、衡 5835、中信麦 58 等 6 个品种的抗旱性和稳定性均较好。

## 4 结 论

本研究通过模拟近似大田生产的干旱处理,将基于产量的抗旱指数与高稳系数相结合,对 38 个冀中南审定品种的抗旱性进行鉴定,其中轮选 103、衡 0628、衡 9966、衡 4399、衡观 35 等 12 个品种在不浇水条件下产量较高,且在多环境中抗旱等级均在抗及以上,表现出较好的抗旱性;轮选 103、衡 0628 等 6 个品种的高稳系数较高,表现出较好的稳定性;泊麦 7 号、石麦 15 等 6 个品种的稳定性中等。同时,认为在田间抗旱筛选时,可用以产量为基础的抗旱指数来评价品种的抗旱性。

**致谢:**感谢河北农业大学植物保护学院尹宝重博士、农学院甄文超教授提供 2017—2018、2018—2019 年辛集、成安两试点的降水数据。

### 参 考 文 献:

- [1] 国家统计局.主要农作物播种面积和产品产量,(2019—09—24)[2020—02—01],<http://www.stats.gov.cn>
- [2] 魏建伟,李丁,李强,等.黑龙港地区施氮方式对不同类型冬小麦品种产量及水分利用率的影响[J].河北农业科学,2016,20(4):37-40,90.
- [3] 刘孟雨,王新元,孙家灵,等.河北省黑龙港地区旱地小麦生产限制因子分析[J].生态农业研究,1994,2(2):83-86.
- [4] 张金霞,陆莉,于亮,等.河北省黑龙港麦区冬小麦育种研究进展

- [J]. 作物研究, 2008, 22(2): 127-129.
- [5] 李克南, 杨晓光, 刘园, 等. 华北地区冬小麦产量潜力分布特征及其影响因素[J]. 作物学报, 2012, 38(8): 1483-1493.
- [6] 孙岩. 水分胁迫对冬小麦的生长发育、生理特征及其养分运输的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [7] 杜新艳. 河北省黑龙港地区小麦水分生产函数及农业高效用水研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2006.
- [8] 陈晓杰. 中国冬小麦抗旱指标评价、种质筛选及重要性状与 SSR 标记的关联分析[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [9] 刘桂茹, 张荣芝, 卢建祥, 等. 冬小麦抗旱性鉴定指标的研究[J]. 华北农学报, 1996, 11(4): 84-88.
- [10] 李龙, 毛新国, 王景一, 等. 小麦种质资源抗旱性鉴定评价[J]. 作物学报, 2018, 44(7): 988-999.
- [11] 李金霞, 洪雪梅. 应用高稳系数等方法分析小麦新品种新冬 48 号丰产稳产适应性[J]. 种子, 2016, 35(7): 88-91.
- [12] 姚金保, 张鹏, 马鸿翔. 长江中下游地区小麦新品种丰产稳产性的评价[J]. 中国农学通报, 2019, 35(24): 1-6.
- [13] 孙绿, 李玉刚, 王圣健, 等. 模拟干旱条件下冬小麦品种萌发期抗旱性评价[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(6): 109-115.
- [14] 任毅, 颜安, 张芳, 等. 国内外 301 份小麦品种(系)种子萌发期抗旱性鉴定及评价[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(3): 1-14.
- [15] 杜广悦, 李喜焕, 李文龙, 等. 河北省冬小麦品种苗期抗旱性鉴定及指标筛选[J]. 河北农业大学学报, 2013, 36(3): 1-7.
- [16] 丁晓雯, 常乐, 穆平. 山东省部分小麦材料的抗旱特性分析[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(5): 202-207.
- [17] 冀天会, 张灿军, 杨子光, 等. 小麦抗旱性鉴定方法及评价指标研究Ⅲ 综合评价指标的比较研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(10): 422-426.
- [18] 张雅倩, 林琪, 刘家斌, 等. 干旱胁迫对不同肥水类型小麦旗叶光合特性及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(4): 724-730.
- [19] 王丽. 补灌时期对不同小麦品种籽粒产量和水分利用效率的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [20] 崔世明. 耕作方式和土壤水分对小麦产量和水分利用特性的影响及其生理基础[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
- [21] 王红光. 灌溉和雨养条件下高产小麦耗水特性和产量形成的生理基础[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
- [22] 李升东, 王法宏, 司纪升, 等. 氮肥管理对小麦产量和氮肥利用效率的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(2): 403-407.
- [23] 雒文鹤, 师祖姣, 王旭敏, 等. 节水减氮对土壤硝态氮分布和冬小麦水氮利用效率的影响[J]. 作物学报, 2020, 46(6): 924-936.
- [24] 翟丙年, 李生秀. 水氮配合对冬小麦产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 26-32.
- [25] 郭天财, 冯伟, 赵会杰, 等. 水氮运筹对于旱年型冬小麦旗叶生理性状及产量的交互效应[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 453-457.
- [26] 马富举, 杨程, 张德奇, 等. 灌水模式对冬小麦光合特性、水分利用效率和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(4): 1233-1239.
- [27] 居辉, 王璞, 周殿玺, 等. 不同灌溉时期的冬小麦土壤水分变化动态[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(3): 76-80.
- [28] 褚鹏飞, 王东, 张永丽, 等. 灌水时期和灌水量对小麦耗水特性、籽粒产量及蛋白质组分含量的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1306-1315.
- [29] 金善宝. 中国小麦品种志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [30] 兰巨生, 胡福顺, 张景瑞. 作物抗旱指数的概念和统计方法[J]. 华北农学报, 1990, 5(2): 20-25.
- [31] 温振民, 张永科. 用高稳系数法估算玉米杂交种高产稳产性的探讨[J]. 作物学报, 1994, 20(4): 508-512.
- [32] 路贵和, 戴景瑞, 张书奎, 等. 不同干旱胁迫条件下我国玉米骨干自交系的抗旱性比较研究[J]. 作物学报, 2005, 31(10): 1284-1288.
- [33] Mwandzingeni L, Shimelis H, Tesfay S, et al. Screening of bread wheat genotypes for drought tolerance using phenotypic and proline analyses[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7: 1276.
- [34] 张龙龙, 杨明明, 董剑, 等. 三个小麦新品种不同生育阶段抗旱性的综合评价[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(4): 426-434.
- [35] 陈荣敏, 杨学举, 梁凤山, 等. 利用隶属函数法综合评价冬小麦的抗旱性[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(2): 7-9.
- [36] 白志英, 李存东, 孙红春, 等. 小麦代换系抗旱生理指标的主成分分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4264-4272.
- [37] 李海明, 刘绍东, 张思平, 等. 陆地棉种质资源花铃期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(3): 583-597.
- [38] 李素, 姜鸿明, 宫德村, 等. 48 份冬小麦主要田间农艺性状的主成分分析及抗旱性综合评价[J]. 山东农业科学, 2014, 46(7): 25-30.
- [39] 王士强, 胡银岗, 余奎军, 等. 小麦抗旱相关农艺性状和生理生化性状的灰色关联度分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2452-2459.
- [40] 白云飞, 孙贵先, 李珊珊, 等. 不同小麦品种(系)的抗旱性评价[J]. 河北农业大学学报, 2019, 42(5): 1-7.
- [41] 吴儒刚. 黄淮麦区小麦品种的遗传多样性和抗旱性分析[D]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
- [42] 曹彩云, 党红凯, 郑春莲, 等. 不同灌溉模式下小麦荧光特征及品种抗旱性研究[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(11): 1434-1444.
- [43] 孙茹. 我国北部冬麦区生态适应性小麦品种遴选与栽培技术评价[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [44] 孙绿. 不同小麦品种抗旱性综合评价及抗旱相关性状的 SNP 关联分析[D]. 青岛: 青岛农业大学, 2017.
- [45] 李龙, 毛新国, 王景一, 等. 小麦种质资源抗旱性鉴定评价[J]. 作物学报, 2018, 44(7): 988-999.
- [46] 冀天会, 张灿军, 杨子光, 等. 冬小麦叶绿素荧光参数与品种抗旱性的关系[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(4): 64-66.
- [47] 张文英, 李积铭, 柳斌辉, 等. 抗旱节水小麦新品种衡 0628 选育特点及特征特性[J]. 河北农业科学, 2011, 15(11): 57-59.
- [48] 刘青松, 肖宇, 徐玉鹏, 等. 河北省 10 个小麦品种抗旱性研究[J]. 天津农业科学, 2018, 24(1): 54-58.
- [49] 李瑞奇, 卜冬宁, 张晓, 等. 河北省冬小麦丰产抗旱性表型鉴定指标分析[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(2): 233-238.
- [50] 郑锦娟. 旱地小麦品种稳定性及其评价研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2005.