

# 黄淮南片育成小麦品种(系) 的穗发芽抗性研究

张玉娥,王岩,胡卫国,杨剑,王西成,曹廷杰

(河南省农业科学院小麦研究所,河南 郑州 450002)

**摘要:**为研究黄淮南片麦区新育成小麦品种的抗穗发芽现状,将参加国家黄淮南片小麦区试的593份小麦新品种(系)作为供试材料,采用种子发芽指数法和整穗发芽法进行穗发芽抗性评价。结果表明:不同供试材料的抗穗发芽能力存在差异,以感型和高感型为主,但抗性品种占比呈逐年增加趋势,由5.4%增长至19.4%。鉴定出中抗整穗发芽和籽粒发芽的小麦品种有‘徐麦0054’和‘淮麦4046’;抗整穗发芽品种5个,包括‘机麦212’、‘西农733’、‘西农633’、‘保丰1530’和‘济麦44’;‘西农528’、‘龙科1221’等39个品种为中抗整穗发芽;16个品种大田穗发芽率较低。研究结果可为黄淮南片小麦抗穗发芽育种提供种质资源和理论依据。

**关键词:**冬小麦;穗发芽抗性;黄淮南片

中图分类号:S512.1 文献标志码:A

## Identification of pre-harvest sprouting resistance of wheat cultivars in the Huanghuai southern region of winter wheat

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

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

**Abstract:** To understand the distribution of pre-harvest sprouting in new bread wheat cultivars from the Huanghuai southern region, this study used a total of 593 newly cultivated wheat varieties as test materials. The seed germination index method and spike germination were employed to evaluate the resistance of these cultivars to pre-harvest sprouting. The experiment demonstrated variation in resistance to pre-harvest sprouting among the tested materials. Susceptible and highly susceptible types were predominant, while the proportion of resistant varieties had been increasing year by year from 5.4% to 19.4%. Selected cultivars, such as ‘Xumai 0054’ and ‘Huaimai 4046’, exhibited moderate resistance to both spike and seed germination. Five cultivars showed resistance spike germination, including ‘Jimai 212’, ‘Xinong 733’, ‘Xinong 633’, ‘Baofeng 1530’ and ‘Jimai 44’, 39 cultivars exhibited moderate resistance, such as ‘Xinong 528’ and ‘Longke 1221’, and 16 cultivars had low field-intact spike germination rates. These results provide valuable germplasm resources for breeding new cultivars resistant to spike germination.

**Keywords:** winter wheat; pre-harvest sprouting resistance; Huanghuai southern

黄淮南片麦区是我国小麦主产区,至少贡献了全国小麦总产量的40%<sup>[1]</sup>。近年来,黄淮南片麦区在小麦收获前期阴雨天较多,导致小麦穗发芽现象严重,并呈逐年加重趋势。尤其在2023年5月下旬至6月初,陕西中南部、河南大部、安徽北部、江苏西北部等地出现持续阴雨,据中央气象台全国农业气

象周报显示,上述大部分地区降雨量较常年同期增加3~4倍,其中2023年河南省小麦成熟期连阴雨灾害强度为1961年以来的最高值<sup>[2]</sup>。小麦成熟期出现持续阴雨天不仅会影响小麦灌浆成熟,还会导致小麦出现籽粒萌动及穗发芽现象,并且多雨寡照的天气也不利于小麦的收获与晾晒。

收稿日期:2024-04-16

修回日期:2024-07-25

基金项目:河南省重点研发专项(221111112400);河南省农业科学院自主创新项目(2024ZC004);河南省农业科学院自主创新项目(2024ZC005)

作者简介:张玉娥(1989-),女,河南中牟人,助理研究员,主要从事小麦栽培研究。E-mail:1225538150@qq.com

通信作者:曹廷杰(1977-),男,河南方城人,研究员,主要从事小麦品种利用研究。E-mail:caotingjie893@163.com

小麦穗发芽后产量显著降低,加工品质也会受到严重影响<sup>[3-4]</sup>,其面筋含量和沉降值均显著低于正常小麦,且降落数值随小麦发芽率的增加呈下降趋势<sup>[5]</sup>。小麦发生穗发芽会使其淀粉酶活性增强,从而加速淀粉分解导致支链淀粉含量下降,劣化小麦的加工品质<sup>[6-7]</sup>。此外,穗发芽对小麦的贮存和次年播种质量均会造成严重影响<sup>[8]</sup>。选择并种植抗穗发芽品种是降低小麦穗发芽危害最有效的途径<sup>[9]</sup>,因此,筛选抗穗发芽新品种对小麦生产具有重要的指导意义和应用价值。近年来,关于小麦穗发芽的研究主要集中在分子水平和探究小麦穗发芽的抗性机制方面<sup>[10-12]</sup>,关于黄淮南片区域连续多年参试的小麦新品种的穗发芽抗性现状分析较少。因此,本试验以 2015—2023 年参加国家黄淮南片小麦区域试验的部分小麦新品种(系)为研究对象,采用籽粒发芽法和整穗发芽法对上述品种(系)进行穗发芽抗性鉴定,并结合 2022—2023 年度参试品种的田间实际穗发芽情况的统计结果,为黄淮南片麦区筛选出优良的抗穗发芽新品种(系),旨为我国小麦新品种的推广利用、抗穗发芽特性的后续研究及品种改良提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验点概况和试验材料

于 2015—2016 年度、2017—2018 年度、2018—2019 年度、2020—2021 年度、2021—2022 年度和 2022—2023 年度在河南省现代农业研究开发基地(即河南省新乡市平原新区河南省农业科学院试验基地,113°41'E,35°00'N,海拔 76 m)共开展 6 年试验,试验区属于暖温带大陆性季风气候,地势平坦,排灌方便,供试土壤为黄河冲积物发育的砂壤质潮土,试验前茬均为玉米。为方便表述,各年度分别以 2016 年、2018 年、2019 年、2021 年、2022 年和 2023 年表示。试验材料为参加国家黄淮南片区域试验的所有品种以及部分参加生产试验的品种,各年度进行穗发芽抗性鉴定品种数分别为 92、100、112、94、98、97 个,共计 593 个;其中,河南省 361 个(来自郑州、周口、新乡等地)、安徽省 78 个(来自合肥、宿州、亳州等地)、陕西省 69 个(来自杨凌等地)、江苏省 51 个(来自徐州、淮安等地)、北京市 26 个、山东省 8 个(来自泰安等地)。

### 1.2 试验设计

6 年试验播种日期均为 10 月中旬,采用条播机条播,收获期均为次年 6 月上旬,小麦全区收获后种玉米绿肥掩青。采用随机区组设计,3 次重复,选取

其中一个重复取样,小区行长 8 m,每小区 6 行,行距 20 cm。每年度小麦季施基肥混合肥 750 kg·hm<sup>-2</sup>+ 腐熟牛粪 7 500 kg·hm<sup>-2</sup>,于起身期追施尿素 150 kg·hm<sup>-2</sup>,其他管理技术与常规生产大田保持一致。

### 1.3 测定项目与方法

各品种开花期时选取 20 个同一天开花的主茎穗,用红绳标记并记录时间,待到扬花后 35 d 调查各品种用红绳标记的麦穗是否已进入蜡熟期,将已进入蜡熟期品种每个收获 12 穗,放入 -20℃ 冰箱保存<sup>[13]</sup>。所有品种收获完成后,统计整穗发芽率(WSGR)、籽粒发芽率(SGR)和发芽指数(GI)。

整穗发芽率:9 个主茎穗,随机分为 3 组,每组 3 穗,分别于自来水中浸泡 4 h,再用 0.1% NaClO 溶液消毒 5 min,然后在光照培养箱中培养 96 h,随即在 60℃ 烘箱中烘干,手工脱粒,以籽粒胚部表皮破裂为发芽标准。

整穗发芽率 = 发芽籽粒数 / 整穗总籽粒数 × 100%<sup>[14]</sup>

(1)

发芽指数:3 个主茎穗手工混合脱粒,随机选取饱满种子 100 粒,2 次重复,加入适量无菌水,放在铺有两层滤纸的培养皿中置室温下发芽,统计并挑出每天的发芽籽粒,连续统计 7 天。

$GI = (7 \times n_1 + 6 \times n_2 + 5 \times n_3 + 4 \times n_4 + 3 \times n_5 +$

$2 \times n_6 + n_7) / (7 \times \text{总种子数}) \times 100\%$ <sup>[15]</sup>

(2)

式中,  $n_1 \sim n_7$  分别表示第 1 ~ 7 天每天的发芽籽粒数。

整穗发芽率和发芽指数分级方法如表 1 所示。

表 1 小麦抗穗发芽性评价标准  
Table 1 Evaluation standard of resistance to pre-harvest sprouting of wheat

抗性 Resistance	整穗发芽率/% WSGR	发芽指数/% GI	抗性等级 Resistance level
高抗 HR	<5	<5	1
抗 R	5~20	5~20	2
中抗 MR	20~40	20~40	3
感 S	40~60	40~60	4
高感 HS	>60	>60	5

注 Note: HR stands for high resistance, R stands for resistance, MR stands for moderate resistance, S stands for sensitive, HS stands for high sensitive.

田间穗发芽率(FSGR):2023 年由于小麦灌浆后期持续阴雨天导致田间穗发芽严重,没有进行穗发芽和籽粒发芽试验,而是选取小区内试验样段集中收获后脱粒的种子,以 100 粒中发芽种子的数量记为田间穗发芽率。

抽穗期、成熟期天数、株高、容重、穗粒数、千粒重、产量以及籽粒饱满度等均按照《农作物品种区

域试验技术规程-小麦》(NY/T 1301-2007)进行记载和计算<sup>[16]</sup>。

### 1.3 数据处理与分析

利用 Microsoft Excel 2013 进行数据处理和绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 参试品种穗发芽抗性鉴定

发芽指数和整穗发芽率常用来评估小麦籽粒穗发芽抗性。如表 2 所示,籽粒发芽率和发芽指数相关系数为 0.876 ( $P < 0.01$ ),籽粒发芽指数和整穗发芽率的相关系数为 0.260 ( $P < 0.01$ ),表明所选用的三个指标均能在一定程度上反映试验材料的穗发芽情况。496 份参试材料的平均籽粒发芽率 (91.8%) > 平均发芽指数 (81.5%) > 平均穗发芽指数 (71.3%),说明籽粒发芽法中籽粒因为脱离了颖壳的束缚,有较高的发芽率,而与籽粒发芽率相比,籽粒发芽指数能更好地反映种子发芽的快慢程度,整穗发芽法中籽粒没有脱离穗部,其发芽环境比籽粒发芽法更接近于田间自然条件。

表 2 小麦穗发芽各指标相关性分析

Table 2 Correlation analysis of each index of pre-harvest sprouting

指标 Indicator	籽粒发芽率 SGR	籽粒发芽指数 GI	整穗发芽率 WSGR
籽粒发芽率 SGR	1.000		
籽粒发芽指数 GI	0.876 **	1.000	
整穗发芽率 WSGR	0.002	0.260 **	1.000

注: \* 和 \*\* 分别表示差异达到 0.05 和 0.01 显著水平,下同。

Note: \* and \*\* indicate the significant difference at the 0.05 and 0.01 level, respectively. The same below.

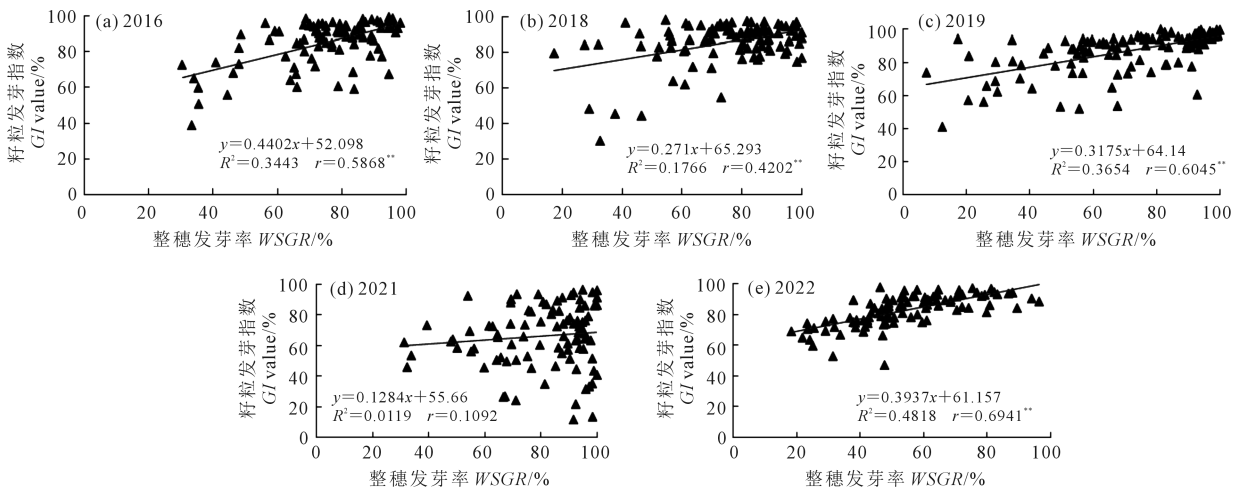


图 2 各年度参试品种的籽粒发芽率指数和整穗发芽率散点分布图

Fig.2 Distribution of the GI and WSGR for the tested cultivars in each year

除 2021 年,其余年份抗籽粒发芽品种的比例远低于抗整穗发芽品种,其中 2019 年和 2022 年未鉴定出抗籽粒发芽的品种(图 1)。各年份抗籽粒发芽的品种占当年鉴定品种的百分比分别为 1.1%、1.0%、0.0%、10.6%和 0.0%,抗整穗发芽的品种占当年鉴定品种的百分比分别为 5.4%、6.0%、12.5%、4.3%和 19.4%。2016 年和 2018 年全部抗性品种占比并不是两者之和,表明部分品种既抗籽粒发芽又抗整穗发芽。抗性品种的比例呈逐年增加趋势,由 2016 年的 5.4% 增长至 2022 年的 19.4%。

从图 2 可知,参试品种抗整穗发芽和抗籽粒发芽的品种较少,大部分品种抗性表现为感和高感。除 2021 年,所有参试品种的籽粒发芽指数和整穗发芽率均呈现显著正相关关系。整穗发芽鉴定为感和高感的品种其籽粒发芽抗性也为感或高感,抗或中抗整穗发芽的品种并非均抗籽粒发芽,而中抗籽粒发芽或籽粒发芽指数较低的品种其整穗发芽抗性均较好。

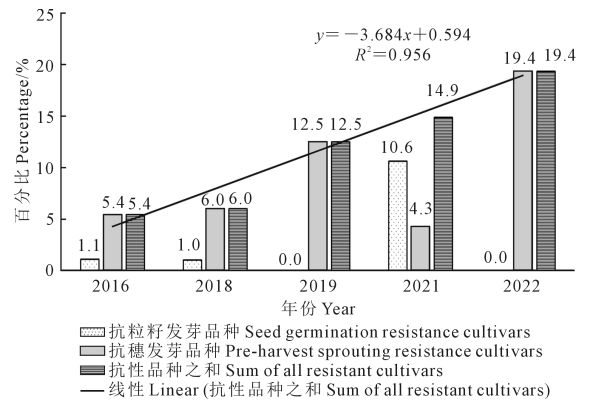


图 1 抗穗发芽品种数占该年度总品种数的比例

Fig.1 Percentage of pre-harvest sprouting resistance cultivar in each year

从表 3 看出,‘徐麦 0054’和‘淮麦 4046’表现为中抗整穗发芽和籽粒发芽,‘西农 528’和‘郑麦 132’两年鉴定均中抗整穗发芽,另有‘机麦 212’、‘西农 733’、‘保丰 1530’、‘西农 633’和‘济麦 44’为抗整穗发芽,而‘龙科 1221’、‘淮 1216’、‘丰韵麦 5 号’、‘宝亮 5 号’、‘郑麦 162’、‘驻麦 762’、‘许农 10 号’、‘新麦 45’、‘金麦 1 号’、‘滑昌 878’、‘淮核 15173’、‘濮麦 116’、‘瑞华 502’、‘新麦 38’、‘淮麦 304’、‘豫农 905’、‘郑麦 158’、‘新农 9799’、‘泛麦 27’、‘存麦 29’、‘郑麦 1926’、‘轮选 136’、‘稷麦 337’、‘郑麦 163’、‘华成 916’、‘泛育麦 32’、‘安农 1928’、‘西农 161’、‘保丰 1903’、‘中麦 255’、‘保丰 1803’、‘中育 978’、‘偃高 160’、‘柳麦 521’、‘皖

科 421’、‘涡麦 179’、‘濮麦 186’等品种为中抗整穗发芽。此外,部分品种虽然感整穗发芽,但其整穗发芽率相对较低(小于 45%),包括‘周麦 32 号’、‘涡麦 66’、‘郑麦 22’、‘乐麦 185’、‘西农 501’、‘良科 6 号’、‘连麦 1901’、‘郑麦 33’、‘中偃 270’、‘安科 1901’、‘西农 1155’、‘平安 12 号’和‘郑麦 918’。

## 2.2 2023 年 97 份试验材料田间穗发芽率统计结果分析

2023 年在连续阴雨天气条件下,参试品种普遍出现了穗发芽现象,所以没有进行穗发芽和籽粒发芽试验,而是对 97 个参试品种进行了田间穗发芽率统计,如表 4 所示,参试材料的田间穗发芽率为 1.7%~79.0%,平均田间穗发芽率为 33.6%,而田间

表 3 部分参试品系的发芽指数和整穗发芽率及抗性评价

Table 3 Resistance evaluation of GI and WSGR of partial experimental materials

品种(系) Cultivar (lines)	发芽 指数 GI/%	级别 Resistance level	整穗 发芽率 WSGR/%	级别 Resistance level	品种(系) Cultivar (lines)	发芽 指数 GI/%	级别 Resistance level	整穗 发芽率 WSGR/%	级别 Resistance level
徐麦 0054 Xumai 0054	38.5	MR	33.5	MR	郑麦 158 Zhengmai 158	66.1	HS	33.8	MR
龙科 1221 Longke 1221	50.6	S	35.7	MR	新农 9799 Xinnong 9799	67.3	HS	31.3	MR
西农 528 Xinong 528	59.8	S	35.6	MR	泛麦 27 Fanmai 27	78.6	HS	39.4	MR
淮 1216 Sui 1216	65.0	HS	34.2	MR	存麦 29 Cunmai 29	71.5	HS	38.5	MR
郑麦 132 Zhengmai 132	72.6	HS	30.5	MR	郑麦 1926 Zhengmai 1926	76.4	HS	38.8	MR
淮麦 4046 Huaimai 4046	30.6	MR	32.7	MR	轮选 136 Lunxuan 136	71.2	HS	25.5	MR
丰韵麦 5 号 Fengyunmai 5	45.8	S	37.7	MR	稷麦 337 Jimai 337	75.0	HS	37.8	MR
郑麦 132 Zhengmai 132	48.6	S	29.0	MR	西农 633 Xinong 633	68.9	HS	18.4	R
机麦 212 Jimai 212	79.9	HS	17.3	R	郑麦 163 Zhengmai 163	71.8	HS	31.9	MR
西农 528 Xinong 528	84.4	HS	27.5	MR	华成 916 Huacheng 916	52.9	S	31.4	MR
宝亮 5 号 Baoliang 5	84.7	HS	32.1	MR	泛育麦 32 Fanyumai 32	59.6	S	25.1	MR
郑麦 162 Zhengmai 162	62.4	HS	29.8	MR	安农 1928 Annong 1928	75.4	HS	29.1	MR
驻麦 762 Zhumai 762	56.3	S	25.5	MR	西农 161 Xinong 161	74.2	HS	23.3	MR
许农 10 号 Xunong 10	68.9	HS	29.2	MR	保丰 1903 Baofeng 1903	64.8	HS	21.8	MR
新麦 45 Xinmai 45	66.0	HS	26.4	MR	中麦 255 Zhongmai 255	69.3	HS	29.1	MR
金麦 1 号 Jinmai 1	80.4	HS	29.2	MR	保丰 1803 Baofeng 1803	66.8	HS	33.8	MR
滑昌 878 Huachang 878	93.6	HS	34.4	MR	中育 978 Zhongyu 978	77.1	HS	31.5	MR
淮核 15173 Huaihe 15173	57.3	S	20.6	MR	偃高 160 Yangao 160	74.7	HS	38.4	MR
西农 733 Xinong 733	41.1	S	12.4	R	柳麦 521 Liumai 521	77.8	HS	36.8	MR
濮麦 116 Pumai 116	80.9	HS	34.6	MR	皖科 421 Wanke 421	63.4	HS	24.2	MR
保丰 1530 Baofeng 1530	94.1	HS	17.4	R	涡麦 179 Guomai 179	70.4	HS	23.5	MR
瑞华 502 Ruihua 502	78.6	HS	37.3	MR	濮麦 186 Pumai 186	89.4	HS	37.9	MR
新麦 38 Xinmai 38	70.4	HS	36.9	MR	周麦 32 Zhoumai 32	74.1	HS	41.0	S
淮麦 304 Huaimai 304	84.0	HS	20.8	MR	涡麦 66 Guomai 66	55.7	S	44.6	S
济麦 44 Jimai 44	74.0	HS	7.43	R	郑麦 22 Zhengmai 22	96.7	HS	41.1	S
许科 108 Xuke 108	11.7	R	91.6	HS	乐麦 185 Lemai 185	64.4	HS	40.7	S
驻麦 586 Zhumai 586	13.6	R	98.4	HS	西农 501 Xinong 501	85.6	HS	44.4	S
中育 1686 Zhongyu 1686	21.9	MR	92.4	HS	良科 6 号 Liangke 6	68.7	HS	41.0	S
偃高 160 Yangao 160	24.3	MR	71.1	HS	连麦 1901 Lianmai 1901	76.2	HS	41.0	S
存麦 29 Cunmai 29	26.6	MR	66.6	HS	郑麦 33 Zhengmai 33	71.9	HS	41.5	S
涡麦 179 Guomai 179	27.0	MR	67.2	HS	中偃 270 Zhongyan 270	78.1	HS	42.8	S
郑研麦 176 Zhengyanmai 176	31.7	MR	96.0	HS	安科 1901 Anke 1901	74.2	HS	42.4	S
郑育 11 Zhengyu 11	33.4	MR	97.2	HS	西农 1155 Xinong 1155	86.9	HS	43.2	S
泛麦 26 Fanmai 26	35.0	MR	81.4	HS	平安 12 号 Ping'an 12	84.2	HS	44.5	S
永丰 206 Yongfeng 206	35.3	MR	98.3	HS	郑麦 918 Zhengmai 918	81.0	HS	43.5	S
豫农 905 Yunong 905	58.8	S	32.3	MR					

表4 2023年度97份参试材料田间穗发芽率汇总  
Table 4 Field spike germination rate for 97 experimental materials in 2023

序号	品种(系) Cultivar (lines)	田间穗 发芽率 FSGR/%	序号	品种(系) Cultivar (lines)	田间穗 发芽率 FSGR/%	序号	品种(系) Cultivar (lines)	田间穗 发芽率 FSGR/%	序号	品种(系) Cultivar (lines)	田间穗 发芽率 FSGR/%
1	郑麦 139 Zhengmai 139	1.7	26	西农 612 Xinong 612	20.3	51	漯丰 7011 Luofeng 7011	33.3	76	郑大 201 Zhengda 201	49.3
2	华成 9137 Huacheng 9137	1.7	27	郑麦 201 Zhengmai 201	20.7	52	驻麦 548 Zhumai 548	34.0	77	西农 156 Xinong 156	49.7
3	偃亳 369 Yanbo 369	3.3	28	许科 13 Xuke 13	21.0	53	保丰 1903 Baofeng 1903	34.7	78	周麦 52 号 Zhoumai 52	50.3
4	郑麦 917 Zhengmai 917	4.0	29	周麦 36 号 Zhoumai 36	21.2	54	中麦 6301 Zhongmai 6301	34.7	79	西农 963 Xinong 963	50.3
5	涡麦 44 Guomai 44	4.3	30	瑞华麦 513 Ruihuamai 513	21.3	55	天宁 138 Tianning 138	34.7	80	农科 1132 Nongke 1132	53.0
6	濮麦 186 Pumai 186	4.3	31	驻麦 599 Zhumai 599	22.3	56	中偃 270 Zhongyan 270	36.0	81	淮麦 40 Huaimai 40	56.7
7	阜麦 16 Fumai 16	5.0	32	西农 1871 Xinong 1871	22.7	57	偃高 167 Yangao 167	36.7	82	濮麦 126 Pumai 126	57.0
8	西纯 258 Xichun 258	5.0	33	安科 2006 Anke 2006	24.0	58	西农 586 Xinong 586	37.0	83	西农 1155 Xinong 1155	57.7
9	平安 18 Ping'an 18	6.3	34	西农 579 Xinong 579	24.0	59	天益科麦 11 Tianyikemai 11	37.3	84	轮选 136 Lunxuan 136	59.3
10	泛育麦 32 Fanyumai 32	7.0	35	安科 1907 Anke 1907	25.0	60	漯丰 1901 Luofeng 1901	38.0	85	洛麦 56 Luomai 56	59.3
11	郑麦 918 Zhengmai 918	7.3	36	新麦 72 Xinmai 72	25.0	61	中育 978 Zhongyu 978	38.0	86	华麦 2003 Huamai 2003	62.0
12	西农 2562 Xinong 2562	8.0	37	良科 6 号 Liangke 6	25.3	62	西农 839 Xinong 839	38.3	87	西农 1668 Xinong 1668	63.3
13	豫农 907 Yunong 907	8.3	38	濮兴 26 号 Puxing 26	25.3	63	安科 1901 Anke 1901	40.0	88	德宏福 199 Dehongfu 199	64.3
14	轮选 148 Lunxuan 148	9.7	39	冠麦 13 Guanmai 13	26.7	64	豫农 923 Yunong 923	40.0	89	盛麦源 789 Shengmai yuan 789	67.0
15	郑麦 23 Zhengmai 23	9.7	40	西农 809 Xinong 809	27.3	65	柳麦 526 Liumai 526	40.3	90	西农 819 Xinong 819	67.7
16	华成 916 Huacheng 916	10.0	41	中麦 255 Zhongmai 255	29.0	66	丰工 41 Feng Gong 41	41.0	91	中原 26 Zhongyuan 26	68.0
17	商麦 198 Shangmai 198	11.0	42	洛麦 49 Luomai 49	29.3	67	稷麦 337 Jimai 337	41.7	92	中植麦 16 Zhongzhimai 16	68.3
18	商麦 187 Shangmai 187	12.0	43	普冰 30538 Pubing 30538	29.7	68	新农 9866 Xinnong 9866	42.3	93	英强 1 号 Yingqiang 1	74.3
19	中育 049 Zhongyu 049	12.7	44	西农 5811 Xinong 5811	30.0	69	西农 867 Xinong 867	42.7	94	武农 159 Wunong 159	74.7
20	平安 16 号 Ping'an 16	13.0	45	涡育 16 Guoyu 16	30.3	70	新麦 66 Xinmai 66	43.0	95	新麦 65 Xinmai 65	75.0
21	安农 1928 Annong 1928	13.3	46	郑麦 1926 Zhengmai 1926	31.0	71	漯麦 117 Luomai 117	43.7	96	徐麦 17106 Xumai 17106	76.3
22	漯麦 109 Luomai 109	14.0	47	徐麦 18197 Xumai 18197	31.3	72	新科麦 176 Xinkemai 176	44.0	97	西农 926 Xinong 926	79.0
23	连麦 1901 Lianmai 1901	15.3	48	19CA97	32.0	73	轮选 369 Lunxuan 369	45.3		平均值 Average	33.6
24	科大 116 Keda 116	15.7	49	新世纪 2 号 Xinshiji 2	32.3	74	漯麦 69 Luomai 69	45.3			
25	西农 633 Xinong 633	20.0	50	淮麦 404 Huaimai 404	32.3	75	新科麦 186 Xinkemai 186	48.7			

穗发芽率较轻(发芽率介于0~10%)的品种共16个,分别为‘郑麦139’、‘华成9137’、‘偃亳369’、‘郑麦917’、‘涡麦44’、‘濮麦186’、‘阜麦16’、‘西纯258’、‘平安18’、‘泛育麦32’、‘郑麦918’、

‘西农2562’、‘豫农907’、‘轮选148’、‘郑麦23’和‘华成916’;发芽率介于10%~20%的品种有9个,分别为‘商麦198’、‘商麦187’、‘中育049’、‘平安16号’、‘安农1928’、‘漯麦109’、‘连麦1901’、‘科

大 116' 和 '西农 633'。

由表 5 可知,田间穗发芽率与产量、千粒重以及容重均呈极显著负相关关系,表明小麦穗发芽会导致其容重、千粒重以及产量显著降低。田间穗发芽率与籽粒饱满度(记载等级)呈现极显著正相关关系,即田间穗发芽率越高其籽粒饱满度(记载等级)越高(1 级为饱,2 级为较饱,3 级为中,4 级为欠饱,5 级为

瘪),籽粒则越瘪,由于种子萌发出芽,吸收胚乳的养分使种子变瘪。田间穗发芽率与抽穗期天数和成熟期天数呈极显著负相关关系,表明抽穗早、成熟早、全生育期短的品种在成熟期遭遇持续阴雨天时会明显增加其穗发芽的风险,而成熟期晚、生育期相对较长的品种在面对连续降雨时由于部分籽粒还没有完全成熟,所以表现出较好的穗发芽抗性。

表 5 小麦田间穗发芽率各指标的相关性分析表  
Table 5 Correlation analysis of various indices for *FSGR*

指标 Indicator	抽穗期 天数 Days to heading	成熟期 天数 Days to maturity	株高 Plant height	穗数 Spike number	千粒重 1000-kernel weight	穗粒数 Kernels per spike	容重 Test weight	饱满度记 载等级 Recording levels of kernel plumpness	产量 Yield	田间穗 发芽率 <i>FSGR</i>
抽穗期天数 Days to heading	1.000									
成熟期天数 Days to maturity	0.684**	1.000								
株高 Plant height	0.220*	0.016	1.000							
穗数 Spike number	0.183	0.117	0.229*	1.000						
千粒重 1000-kernel weight	0.371**	0.445**	0.085	-0.265**	1.000					
穗粒数 Kernels per spike	-0.159	-0.148	-0.140	-0.609**	0.190	1.000				
容重 Test weight	0.509**	0.511**	0.299**	0.204*	0.506**	0.050	1.000			
饱满度记载等级 Recording levels of kernel plumpness	-0.383**	-0.445**	-0.135	0.012	-0.675**	-0.236*	-0.740**	1.000		
产量 Yield	0.325**	0.301**	0.251*	0.194	0.450**	-0.015	0.525**	-0.500**	1.000	
田间穗发芽率 <i>FSGR</i>	-0.468**	-0.426**	-0.166	-0.159	-0.302**	0.115	-0.698**	0.437**	-0.372**	1.000

### 3 讨论和结论

本研究发现,小麦穗发芽会严重影响小麦籽粒的容重、千粒重、籽粒饱满度和产量。近年来,黄淮南片麦区育成的小麦品种抗穗发芽能力整体偏弱,但抗穗发芽的品种数量呈逐年增加趋势,说明广大育种工作者在品种选育过程中对穗发芽抗性的选择越来越重视,选择具有抗穗发芽能力的品种可有效减少在生产中因穗发芽造成的损失。因此,在育种过程中,要结合自身选育条件尽量筛选出穗发芽抗性较好的品种,避免在小麦成熟期因多雨导致严重的穗发芽情况的发生。

关于穗发芽抗性鉴定的方法已有诸多研究,李玉营等<sup>[17]</sup>认为籽粒发芽率、发芽指数和整穗发芽率

均能反映小麦穗发芽抗性程度;苗西磊等<sup>[18]</sup>研究表明,同一品种在不同年份整穗发芽率差异明显小于籽粒发芽率差异;此外,谢磊等<sup>[19]</sup>和王震等<sup>[20]</sup>在小麦穗发芽抗性鉴定研究中均采用整穗发芽法。本研究表明籽粒发芽率与发芽指数以及发芽指数与整穗发芽率均呈极显著正相关关系,这也印证了试验结果的准确性,虽然这三个指标均能衡量小麦的抗穗发芽能力,但本试验中所列出的抗性表现较好的品种均为整穗发芽率较低品种,这是因为穗发芽法中籽粒有颖壳的包裹没有脱离穗轴,试验条件更贴合田间自然条件,更能综合反映小麦穗发芽抗性的真实表现。为了筛选出来更符合实际生产的品种,本试验结果更侧重整穗发芽率和大田穗发芽率较低品种。

张颖君等<sup>[21]</sup>将籽粒发芽指数分级标准划分为三级,其中  $GI < 30$  时为抗性较强,  $GI$  介于  $30 \sim 70$  之间时,穗发芽抗性为中感,  $GI > 70$  时穗发芽抗性为高感。本试验为了方便统计,穗上发芽率和籽粒发芽指数按同一划分标准执行。

朱利广等<sup>[22]</sup>研究发现小麦整穗发芽率与全生育期天数呈显著负相关关系,而张海峰等<sup>[23]</sup>研究表明,品种的成熟度会影响小麦籽粒的发芽率,本研究也发现大田穗发芽率与抽穗期、成熟期和全生育期天数呈显著负相关关系,说明取样日期对研究多品种穗发芽鉴定至关重要,为保证不同品种取样时成熟度一致,可以根据各自地区生育进程的特点具体到抽穗后多少天或者扬花后多少天取样,而不能把所有品种都在同一天取样。本研究发现,2021年与2022年部分相同试验材料抗性表现不一致,可能是因为相同品种在不同年份会因环境条件的变化表现出抗穗发芽能力的差异<sup>[13]</sup>,而2021年所有品种穗发芽率平均值较其他年份偏高,穗发芽抗性品种数量比其他年份明显减少,这是因为2021年取样时小麦整体接近完全成熟所致。

#### 参考文献:

- [1] 赵虹,王西成,胡卫国,等.黄淮南片麦区小麦倒春寒冻害成因及预防措施[J].河南农业科学,2014,43(8):34-38.  
ZHAO H, WANG X C, HU W G, et al. Genetic analysis and countermeasures of wheat late-spring-coldness injury in South Huang-huai wheat region[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2014, 43(8): 34-38.
- [2] 郭康军,邹春辉,余卫东,等.2023年河南冬小麦成熟期连阴雨强度综合评估[J].气象与环境科学,2024,47(1):97-104.  
GUO K J, ZOU C H, YU W D, et al. Comprehensive assessment of the intensity of continuous rain during the 2023 mature period of winter wheat in Henan province[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2024, 47(1): 97-104.
- [3] 刘可欣,杨润强,顾振新,等.发芽对小麦营养和加工品质影响研究进展[J].中国粮油学报,2018,33(5):135-140,146.  
LIU K X, YANG R Q, GU Z X, et al. Research progress for effect of germination on wheat nutrition and processing quality[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2018, 33(5): 135-140, 146.
- [4] 杜世超,薛盈文,郭伟,等.穗发芽类型和混合比例对春小麦加工品质的影响[J].黑龙江农业科学,2021,(5):64-69.  
DU S C, XUE Y W, GUO W, et al. Effects of pre-harvest sprouting type and mixing ratio on processing quality of spring wheat[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2021, (5): 64-69.
- [5] 魏红艳,赵艳妍,李改婵,等.新收获小麦发芽粒及其对降落数值的影响[J].粮食储藏,2013,42(6):42-45.  
WEI H Y, ZHAO Y Y, LI G C, et al. The newly harvested germinative wheat and its impact on the falling number[J]. Grain Storage, 2013, 42(6): 42-45.
- [6] 原亚萍,陈孝,肖世和.小麦穗发芽的研究进展[J].麦类作物学

报,2003,23(3):136-139.

- YUAN Y P, CHEN X, XIAO S H. Advances in the study on wheat pre-harvest sprouting[J]. Journal of Triticeae Crops, 2003, 23(3): 136-139.
- [7] HUMPHREYS D G, NOLL J. Methods for characterization of pre-harvest sprouting resistance in a wheat breeding program[J]. Euphytica, 2002, 126(1): 61-65.
- [8] 杨燕,王晓刚,刘世鑫,等.利用 STS 标记检测我国小麦推广品种的抗穗发芽基因型[J].华北农学报,2013,(3):183-188.  
YANG Y, WANG X L, LIU S X, et al. Determination of resistance genotypes with STS markers in current wheat cultivars[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2013, (3): 183-188.
- [9] 朱玉磊,王升星,赵良侠,等.以关联分析发掘小麦整穗发芽抗性基因分子标记[J].作物学报,2014,(10):1725-1731,1732.  
ZHU Y L, WANG S X, ZHAO L X, et al. Exploring molecular markers of preharvest sprouting resistance gene using wheat intact spikes by association analysis[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, (10): 1725-1731, 1732.
- [10] 李冬兵,左宁,吕桂珍,等.不同小麦品种穗发芽特性的鉴定及 *TaRHA2b* 基因序列差异分析[J].河南农业科学,2019,48(1):6-16.  
LI D B, ZUO N, LV G Z, et al. Identification of characteristics of pre-harvest sprouting and differences of *TaRHA2b* gene sequence among different wheat varieties[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2019, 48(1): 6-16.
- [11] 张维军,赵俊杰,何进尚,等.宁夏小麦种质资源穗发芽抗性鉴定及相关分子标记的有效性评价[J].麦类作物学报,2019,39(5):532-539.  
ZHANG W J, ZHAO J J, HE J S, et al. Identification and validation of five molecular markers for pre-harvest sprouting tolerance in Ningxia wheat varieties(lines)[J]. Journal of Triticeae Crops, 2019, 39(5): 532-539.
- [12] 黄义文,代旭冉,刘宏伟,等.小麦抗穗发芽基因挖掘及分子育种进展[J].麦类作物学报,2021,41(2):147-156.  
HUANG Y W, DAI X R, LIU H W, et al. Progress on identification of resistant QTLs/genes associated with wheat pre-harvest sprouting and application in molecular breeding[J]. Journal of Triticeae Crops, 2021, 41(2): 147-156.
- [13] 寇程.河南省小麦抗穗发芽种质资源筛选及优异基因挖掘[D].杨凌:西北农林科技大学,2023.  
KOU C. Pre-harvest sprouting resistant germplasm screening and excellent genes discovery in wheat (*Triticum aestivum* L.) of Henan province[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2023.
- [14] 中华人民共和国农业部.小麦抗穗发芽性检测方法:NY/T1739-2009[S].北京:中国标准出版社,2009.  
Ministry of Agriculture of the PRC. Determination of pre-harvest sprouting in wheat: NY/T1739-2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [15] 王玉娇,吴薇,郭忠军,等.小麦种子老化处理对发芽指标及根系的影响[J].核农学报,2018,32(12):2423-2430.  
WANG Y J, WU W, GUO Z J, et al. Effects of aging treatment on germination index and root system of wheat[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(12): 2423-2430.