

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201510012

李玉莹, 马东方, 王晓玲, 等. 小麦穗发芽鉴定方法的比较与分析 [J]. 广西植物, 2016, 36(3):261-266

LI YY, MA DF, WANG XL, et al. Comparison and analysis of wheat pre-harvest sprouting screening methods [J]. *Guihaia*, 2016, 36(3):261-266

小麦穗发芽鉴定方法的比较与分析

李玉莹, 马东方, 王晓玲, 方正武*

(长江大学 农学院/主要粮食作物产业化湖北省协同创新中心, 湖北 荆州 434025)

摘要: 穗发芽是小麦生产中较为严重的灾害之一, 易受外界环境的影响, 一旦发生不仅会影响产量, 而且还会严重影响小麦的品质, 因此培育抗穗发芽的小麦品种至关重要。该研究通过对 65 份小麦材料进行穗发芽试验, 比较分析了小麦穗发芽抗性的常用方法, 即籽粒发芽法、整穗发芽法和大田穗发芽法。结果表明: 三种方法之间均呈极显著正相关关系, 而且在 1% 水平上均存在极显著性差异; 发芽指数与籽粒发芽率的相关性最高, 能够更好地评价小麦材料的休眠特性, 但不能得出材料的总体抗性; 籽粒发芽法和整穗发芽法的变异程度相对较小, 试验条件更易控制, 可作为小麦穗发芽抗性评价的简易方法; 多数参试材料的平均籽粒发芽率 > 平均整穗发芽率 > 平均大田穗发芽率, 且三者差异程度均达到极显著水平, 这说明麦穗的外部结构及外部环境对小麦穗发芽的影响显著。因此, 籽粒发芽法可以从休眠性方面, 对小麦种子资源进行初步筛选; 整穗发芽法可用于穗发芽抗性的进一步鉴定和验证, 评价小麦材料穗发芽的综合抗性; 大田穗发芽法较易受自然条件的影响, 变异程度较大, 其结果可以作为室内发芽试验的参考数据。

关键词: 小麦, 穗发芽, 穗发芽鉴定

中图分类号: Q945.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2016)03-0261-06

Comparison and analysis of wheat pre-harvest sprouting screening methods

LI Yu-Ying, MA Dong-Fang, WANG Xiao-Ling, FANG Zheng-Wu*

(Hubei Center for Collaborative Innovation of Grain Industry, College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025, China)

Abstract: Pre-harvest sprouting, easily influenced by the external environment, is one of the serious disasters in wheat production, and once the occurrence not only affects the yield, but also seriously affects the quality of wheat. Therefore, it is very important to develop wheat varieties with resistance to sprouting. For a more comprehensive evaluation of wheat sprouting resistance, the seed germination, whole spike germination and field intact spike germination, the basic methods to evaluate the germination of wheat, were compared and analyzed in the research by germinating test with 65 varieties and breeder's lines. The results of correlation and difference analysis showed that the germination rates obtained in the three methods were significantly positive correlated, and significantly different at the 1% level. The correlation between germination index and seed germination rate was the highest, which could better evaluate the dormancy characteristics of wheat, but could not get the overall resistance. The coefficients of variation of the seed germination and the whole spike germination were smaller, and the test conditions were easier to control, compared with the field intact spike, so they were the simple methods to evaluate the resistance of wheat spike sprouting; The average seed germination

收稿日期: 2015-10-09 修回日期: 2016-01-18

基金项目: 国家公益性(农业)行业科研专项(201203032, 201303008); 湖北省科技支撑计划项目(2015BBA152) [Supported by the Special Fund for Agro-scientific Research in Public Interest of China (201203032; 201303008); the Key Technologies R & D Program of Hubei(2015BBA152)].

作者简介: 李玉莹(1993-), 男, 安徽阜阳人, 硕士研究生, 主要从事作物遗传育种研究, (E-mail) liyuying930421@163.com.

*通讯作者: 方正武, 博士, 副教授, 主要从事小麦遗传育种研究, (E-mail) Fangzhengwu88@163.com.

rates of most materials were the highest and the field intact spike germination rate was the smallest for the most of accessions, and the differences among the three methods reached extremely significant levels, which showed that the external environment and the external structure of wheat on spike germination was significantly affected, so it was very important to strictly control the external environment during test. Therefore, the seed germination method could be used to screen germplasm first from the dormancy, to seek resistance materials from the source, and the whole spike germination method could be used to further verify of the sprouting resistance, to evaluate the comprehensive resistance of the pre-harvest sprouting. Meanwhile, the field intact spike germination was more susceptible to natural conditions, and its variation degree was larger. Therefore, the results could be used as reference data for laboratory germination tests and it is necessary to combine the three methods in order to obtain a more accurate result.

Key words: wheat (*Triticum aestivum* L.), pre-harvest sprouting, sprouting resistance

小麦穗发芽 (Pre-harvest sprouting, PHS) 是指小麦收获之前遇到连续阴雨天气时籽粒在穗上发芽的现象 (Jiang et al, 1998; 胡汉桥等, 2001), 这是一个全球性的问题, 在加拿大、澳大利亚、美国、日本等国均较为严重, 在中国的主要麦区也时有发生 (肖世和等, 2004; 于春泉等, 2010; 任立世等, 2015)。穗发芽会导致小麦内营养物质发生一系列变化, 小麦淀粉酶活性增强, 蛋白质和脂肪含量降低, 使面团缺乏耐揉性和黏性, 难以成团, 以致加工品质变差; 另外, 穗发芽还会使小麦千粒重下降, 导致总产量下降 (闫长生等, 2006)。因此解决小麦穗发芽问题一直是重要的小麦育种目标之一。目前研究小麦穗发芽的方法较多, 董静等 (2011) 运用整穗发芽法和籽粒发芽法对供试的 58 份小麦材料进行分析, 结果表明湖北省种植小麦品种大多有较好抗性, 其中鄂麦 352 表现优异, 并运用聚类分析法将湖北主栽小麦材料按穗发芽抗性高低分为五类。刘爽等 (2014) 运用籽粒发芽法研究了 137 份西南麦区小麦材料的穗发芽抗性差异, 结果表明地方品种抗穗发芽能力较强, 并筛选出 15 份高抗穗发芽材料。张伯桥等 (1999) 通过运用整穗发芽法对 31 份白皮高代品系抗穗发芽鉴定, 筛选到一个穗发芽抗性较好的组合, 并获得抗穗发芽较好的白粒小麦材料鄂 61506, 可作为抗穗发芽育种的亲本材料。沈正兴等 (1991) 采用人工模拟降雨法、籽粒发芽法、塑料袋保湿整穗发芽法和大田穗发芽法等四种方法对 22 个参试材料进行综合评定, 分析了影响小麦穗发芽的相关因素及各种分析方法。张海峰等 (1989) 通过研究 α -淀粉酶、ABA 与穗发芽的关系, 得出 α -淀粉酶活性越低, 小麦抗穗发芽能力越强, 且 ABA 与穗发芽无关的结论。

小麦穗发芽抗性十分复杂, 受多种因素的影响, 在育种中选择抗穗发芽的基因型很困难, 到目前为

止, 已经开发出与小麦抗穗发芽相关的连锁标记, 杨燕等 (2011) 利用发芽指数验证其中 4 个连锁标记, 最终只有 STMS 标记 Xwmc468 与红粒小麦的穗发芽相关, 可用于分子标记辅助选择。王凤宝等 (2006) 利用邻苯二酚作底物进行多酚氧化酶生化染色标记研究多酚氧化酶与穗发芽之间的关系, 结果表明多酚氧化酶活性越低, 小麦穗发芽抗性越强。目前关于小麦穗发芽影响因素的研究已有报道 (王凤宝等, 2015), 但不同方法之间的比较与分析较少。本文主要研究了籽粒发芽法、整穗发芽法和大田穗发芽法之间的关系, 比较分析了各种方法的优劣, 旨在评价小麦穗发芽抗性的研究方法, 找出研究小麦穗发芽的简易可靠的方法。

1 材料与方 法

1.1 材料

参试小麦共 65 份, 包括 CD-1、CD-11、CD-13、CD-14、CD-15、CD-16、CD-17、CD-18、CD-19、CD-20、CD-21、CD-22、CD-23、鄂 5906、鄂麦 18、鄂麦 19、鄂麦 23、丰产 3 号、华麦 2 号、华麦 5 号、淮麦 25、淮麦 9 号、瑞星 1 号、太空 6 号、涂麦 5 号、西高 2 号、西农 1029、西农 1376、西农 183、西农 223、西农 529、西农 979、西农 9814、襄 20、襄麦 55、偃展 4110、扬 11-10、扬 11-03、扬 11-07、扬 11-08、扬 11-09、扬 12-03、扬 12-04、扬 12-05 扬 12-09、扬辐麦 4 号扬麦 11、扬麦 13、扬麦 15、扬麦 158、扬麦 16、豫麦 2 号、豫麦 49、豫麦 70、豫麦 909、镇麦 168、镇麦 8 号、镇麦 9 号、郑麦 2956、郑麦 9023、中国春、周麦 17、南 05、宁麦 17。

所有材料均由长江大学农学院和江苏里下河地区农业科学研究所小麦育种课题组提供, 其中自选材料 23 份, 推广品种 42 份, 2012-2014 连续两年播种于长江大学农业科研试验基地。全部供试材料于

小麦开花后 35~45 d 内取样完成,每份材料以小麦籽粒成熟时一次性取样,选取成熟度一致的主茎穗 10 个为 1 次重复,8 次重复,先放入 25 ℃ 左右的玻璃房中干燥 1 周,再放入 -20 ℃ 冰箱内,待所有材料采集完毕后,开始进行发芽鉴定试验。

1.2 方法

1.2.1 籽粒发芽法 参照胡汉桥等(2001)、董静等(2011)、张海峰等(1989)的做法,但略有改动。取烘干麦穗,人工脱粒,每个品种随机取出 400 粒饱满健康的籽粒(每 100 粒为一个重复),先用 75% 酒精浸泡 2 min,再用 0.025% 五氯硝基苯溶液浸泡 3 min,经消毒处理后,用无菌水冲洗干净,将其腹沟向下整齐地摆放在垫有 2 层已灭菌滤纸的培养皿中,最后在培养皿中加入 4 mL 的无菌水,放入温度为 (21 ± 1) ℃,湿度为 80% 的光照培养箱中,并保持滤纸湿润。以籽粒种皮破裂记为发芽,每天统计发芽籽粒数,并移除,计数到第 7 天为止。最后分别计算籽粒发芽率和发芽指数。

发芽率(Seed germination rate, *SGR*) = (7 d 发芽总粒数/总粒数) × 100%; 发芽指数(Germination index, *GI*) = $[7 \times n_1 + 6 \times n_2 + 5 \times n_3 + 4 \times n_4 + 3 \times n_5 + 2 \times n_6 + 1 \times n_7] / (7 \times N) \times 100\%$ 。式中,*N* 表示用于萌芽的籽粒总数; $n_1 \sim n_7$ 分别表示第 1 天至第 7 天每天所萌芽的籽粒数(Walker-Simmons, 1988)。

1.2.2 整穗发芽法 整穗发芽试验时将 10 个麦穗捆成一束,麦穗消毒后浸泡在装有 1 700 mL 去离子水的塑料量杯(2 000 mL)中 10~12 h,接着浸泡在 0.025% 五氯硝基苯溶液中 3 min,然后用保鲜袋包好放在有湿纱布的托盘上,置于温度为 (20 ± 2) ℃,湿度 100% 的空调房。每天观察,并用手动喷雾器均匀喷洒足够的水,7 d 后取出,在 100 ℃ 烘箱中烘干 2 h 后,改为在 80 ℃ 下干燥 10 h。干燥的麦穗分别脱粒,以种皮破裂记为发芽,计算整穗发芽率。整穗发芽率(whole spike germination rate, *WSGR*) = (发芽粒数/总粒数) × 100% (董静等, 2011; 苗西磊等, 2011)。

1.2.3 大田穗发芽法 对成熟小麦的参试材料不予收获,经过两场自然有效降雨后,再从田间取样。每份参试材料取样 3 个重复,每重复 10 个麦穗,先在 105 ℃ 干燥箱内杀青 2 h,然后在 80 ℃ 下干燥 12 h。人工脱粒后以种皮破裂统计萌芽粒数,并计算大田穗发芽率(Field intact spike germination rate, *FSGR*) (沈正兴等, 1991)。

表 1 65 份参试材料

Table 1 65 materials for testing

| 品种/品系 Cultivar/Strain | 品种/品系 Cultivar/Strain | 品种/品系 Cultivar/Strain |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| CD-1 | 瑞星 1 号 Ruixing1 | 扬 12-07 Yang12-07 |
| CD-11 | 太空 6 号 Taikong6 | 扬 12-09 Yang12-09 |
| CD-13 | 涂麦 5 号 Tumai 5 | 扬辐麦 4 号 Yangfumai 4 |
| CD-14 | 西高 2 号 Xigao 2 | 扬麦 11 Yangmai 11 |
| CD-15 | 西农 1029 Xinong1029 | 扬麦 13 Yangmai 11 |
| CD-16 | 西农 1376 Xinong 1376 | 扬麦 15 Yangmai 15 |
| CD-17 | 西农 183 Xinong 183 | 扬麦 158 Yangmai 158 |
| CD-18 | 西农 223 Xinong 223 | 扬麦 16 Yangmai 16 |
| CD-19 | 西农 529 Xinong 529 | 豫麦 2 号 Yumai 2 |
| CD-20 | 西农 979 Xinong 979 | 豫麦 49 Yumai 49 |
| CD-21 | 西农 9814 Xinong 9814 | 豫麦 70 Yumai 70 |
| CD-22 | 襄 20 Xiang20 | 豫麦 909 Yumai909 |
| CD-23 | 襄麦 55 Xiangmai 55 | 镇麦 168 Zhenmai 168 |
| 鄂 5906 E5906 | 偃展 4110 Yanzhan 4110 | 镇麦 8 号 Zhenmai 8 |
| 鄂麦 18 Emai 18 | 扬 11-10 Yang11-10 | 镇麦 9 号 Zhenmai 9 |
| 鄂麦 19 Emai 19 | 扬 11-03 Yang11-03 | 郑麦 2956 Zhengmai 1956 |
| 鄂麦 23 Emai 23 | 扬 11-07 Yang11-07 | 郑麦 9023 Zhenmai 9023 |
| 丰产 3 号 Fengchan 3 | 扬 11-08 Yang11-08 | 中国春 Zhongguochun |
| 华麦 2 号 Huamai 2 | 扬 11-09 Yang11-09 | 周麦 17 Zhoumai 17 |
| 华麦 5 号 Huamai 5 | 扬 12-03 Yang12-03 | 南 05 Nan 05 |
| 淮麦 25 Huaimai 25 | 扬 12-04 Yang12-04 | 宁麦 17 Ningmai 17 |
| 淮麦 9 号 Huaimai 9 | 扬 12-05 Yang12-05 | |

2 结果与分析

2.1 相关性分析

使用 DPS 数据处理系统对小麦籽粒发芽率、发芽指数、整穗发芽率和大田穗发芽率进行相关性分析(表 2)。由表 2 可知,四个指标均存在极显著性正相关关系,平均籽粒发芽率和发芽指数的相关性达 90%。说明平均籽粒发芽率和发芽指数这两个指标都可以反映出小麦种子成熟后休眠期的长短,但与籽粒发芽率相比,发芽指数能更好地反映种子

发芽的先后程度,对小麦种子休眠期的评定更为准确,但并不能反映材料发芽的整体情况。从表 2 可看出,平均籽粒发芽率和平均整穗发芽率、平均大田穗发芽率的相关系数分别为 70% 和 65%;平均整穗发芽率和平均大田穗发芽率的相关系数为 83%。这说明整穗发芽法和大田穗发芽法能够很好地反映外部因素对小麦穗发芽的影响,大田穗发芽法完全处于自然条件下,能够更好地评价实际生产中的穗发芽情况;整穗发芽法的试验条件接近于田间自然选择压,结果也较为可靠。因此,三种方法均能在一定程度上反映材料的穗发芽情况。

表 2 小麦穗发芽各指标相关性分析表
Table 2 Correlation analysis of each index of PHS

| 相关系数 Correlation coefficient | 籽粒发芽率 SGR | 发芽指数 GI | 整穗发芽率 WSGR | 大田穗发芽率 FSGR |
|------------------------------------|--------------|------------|---------------|----------------|
| 籽粒发芽率 SGR | 1 | | | |
| 发芽指数 GI | 0.90 ** | 1 | | |
| 整穗发芽率 WSGR | 0.70 ** | 0.72 ** | 1 | |
| 大田穗发芽率 FSGR | 0.65 ** | 0.71 ** | 0.83 ** | 1 |

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

2.2 差异性分析

运用 DPS 数据处理系统对 65 份小麦材料的相关数据进行差异性分析(表 3)。从表 3 可以看出,所有材料的平均籽粒发芽率最高,比平均整穗发芽率高 10.82%,比平均大田穗发芽率高 13.95%,平均整穗发芽率和平均大田穗发芽率较为接近,相差 3.13%。平均籽粒发芽率的变异幅度最大(3.24%~58.25%),但其变异系数最小,为 43.97%,平均大田穗发芽率的变异幅度最小(0~26.47%),变异系数最大,为 59.38%。由此可见,籽粒发芽法的相对变异程度最大,整穗发芽法居中,大田穗发芽法的最小。籽粒发芽法、整穗发芽法及大田穗发芽法的平均发芽率在 1% 水平上均存在极显著性差异。这说明小麦材料本身的休眠特性对穗发芽影响极显著,同时外部因素对小麦穗发芽的影响也达极显著水平。

2.3 三种鉴定方法的发芽率比较

表 4 列出了其中 25 份参试材料的发芽率,由表 4 分析可知,三种分析方法的发芽率趋势较为一致,大部分材料的籽粒发芽率大于整穗发芽率,平均相差 10.07%,这主要是因为籽粒发芽法除去了颖壳的

表 3 小麦穗发芽各指标差异性分析表
Table 3 Difference analysis of each index of PHS

| 相关系数 Correlation Coefficient | 变异幅度 Variation range (%) | 标准差 Standard deviation (%) | 平均值 Average (%) | 变异系数 Coefficient of variation (%) |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--|
| 籽粒发芽率 SGR | 3.24~58.25 | 10.68 | 24.29A | 43.97 |
| 整穗发芽率 WSGR | 2.35~27.07 | 6.62 | 13.47B | 49.15 |
| 大田穗发芽率 FSGR | 0~26.47 | 6.14 | 10.34C | 59.38 |

注: A, B, C 不同字母表示在 0.01 水平上差异极显著。

Note: Different letters of A, B, C represent significant differences at 0.01 level.

束缚,更易发芽;多数材料的整穗发芽率高于大田穗发芽率,但差值较小(平均为 3.96%),这主要是因为室内的湿度和温度更加适宜,更易诱发小麦发芽。参试的 65 份材料大部分也符合这一现象,但也有例外,鄂麦 18、扬 11-08、扬麦 11、CD-11 等四份材料的籽粒发芽率低于整穗发芽率,占有所有材料的 6.15%,这说明存在除了休眠特性以外的因素对小麦的穗发芽影响显著;扬辐麦 4 号、襄麦 55、扬麦 16、淮麦 9 号等 16 份材料的平均整穗发芽率低于平均大田穗发芽率,占有所有材料的 24.62%,但这些差异均较小,不显著。在所有材料中,鄂麦 18 的籽粒发芽率既低于其整穗发芽率又低于其大田穗发芽率,原因有待于进一步研究。

3 讨论与结论

本研究通过对 65 份小麦材料发芽试验的分析,得出平均籽粒发芽率、平均整穗发芽率和平均大田穗发芽率之间均存在极显著正相关关系,且平均整穗发芽率和平均大田穗发芽率的相关性较高,籽粒发芽法和整穗发芽法的变异系数较小,因此籽粒发芽法和整穗发芽法能很好地反映小麦的穗发芽情况,可以作为研究小麦穗发芽较为简易的方法(沈正兴等,1991;张海峰等,1989;张兆萍等,2015)。多数材料的平均籽粒发芽率>平均整穗发芽率>平均大田穗发芽率,而且三者的差异程度均达到极显著水平,这说明室内条件会更易诱导小麦发芽,但有些材料例外,关于这些材料影响穗发芽的主要因素有待进一步研究;平均籽粒发芽率和平均整穗发芽率及平均大田穗发芽率之间均存在极显著性差异,因此小麦本身的休眠特性对穗发芽的影响达显著水平;平均整穗发芽率和平均大田穗发芽率之间也存

表4 三种方法的发芽率比较表

Table 4 Comparison of germination rate of the three methods

| 品种/品系 Cultivar/Strain | 籽粒 发芽率 SGR (%) | 整穗 发芽率 WSGR (%) | 大田穗 发芽率 FSGR (%) | 籽粒 发芽率- 整穗 发芽率 SGR- WSGR (%) | 整穗 发芽率- 大田穗 发芽率 WSGR- FSGR (%) |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|--|--|
| 鄂麦 18 Emai 18 | 15.25 | 23.64 | 18.67 | -8.39 | 4.97 |
| 扬 11-08 Yang 11-08 | 13.47 | 15.49 | 9.80 | -2.02 | 5.69 |
| 扬麦 11 Yangmai 11 | 3.34 | 4.78 | 1.24 | -1.44 | 3.54 |
| 扬麦 158 Yangmai 158 | 10.25 | 9.01 | 2.63 | 1.24 | 6.38 |
| CD-22 | 21.70 | 19.49 | 10.34 | 2.21 | 9.15 |
| 镇麦 8 号 Zhenmai 8 | 15.63 | 12.53 | 12.16 | 3.10 | 0.37 |
| 襄 20 Xiang 20 | 17.00 | 12.89 | 9.09 | 4.11 | 3.80 |
| 太空 6 号 Taikong 6 | 31.38 | 26.76 | 21.21 | 4.62 | 5.55 |
| 中国春 Zhongguochun | 8.17 | 3.17 | 4.45 | 5.00 | -1.28 |
| 郑麦 9023 Zhengmai 9023 | 29.71 | 24.10 | 14.29 | 5.61 | 9.81 |
| 镇麦 168 Zhenmai 168 | 20.88 | 14.49 | 3.69 | 6.39 | 10.80 |
| 周麦 17 Zhoumai 17 | 29.27 | 21.29 | 20.00 | 7.98 | 1.29 |
| 南 05 Nan 05 | 22.96 | 14.46 | 8.00 | 8.50 | 6.46 |
| 扬 12-07 Yang 12-07 | 22.38 | 12.36 | 3.51 | 10.02 | 8.85 |
| 丰产 3 号 Fengchan 3 | 14.56 | 4.38 | 5.23 | 10.18 | -0.85 |
| 扬辐麦 4 号 Yangfumai 4 | 14.98 | 3.27 | 3.45 | 11.71 | -0.18 |
| 扬麦 15 Yangmai 15 | 26.40 | 13.88 | 9.52 | 12.52 | 4.36 |
| 扬 11-07 Yang 11-07 | 25.38 | 10.46 | 4.65 | 14.92 | 5.81 |
| 襄麦 55 Xiangmai 55 | 27.63 | 11.18 | 13.62 | 16.45 | -2.44 |
| 华麦 5 号 Huamai 5 | 22.11 | 4.05 | 2.50 | 18.06 | 1.55 |
| 涂麦 5 号 Tumai 5 | 33.62 | 14.00 | 11.43 | 19.62 | 2.57 |
| 扬麦 16 Yangmai 16 | 24.10 | 4.10 | 6.09 | 20.00 | -1.99 |
| CD-16 | 32.88 | 10.39 | 10.02 | 22.49 | 0.37 |
| 西农 1029 Xinong 1029 | 50.29 | 27.07 | 16.67 | 23.22 | 10.40 |
| 西农 183 Xinong 183 | 58.25 | 22.54 | 18.60 | 35.71 | 3.94 |
| 均值 Average | 23.66± 12.14 | 13.59± 7.51 | 9.63± 6.02 | 10.07± 9.68 | 3.96± 3.98 |

在极显著性差异,这说明除小麦本身的休眠特性外的其它因素对穗发芽影响也较显著,其中环境因素是影响小麦穗发芽的关键因素,特别是温度和水分(杨燕等,2007)。

小麦穗发芽的机制大致可以分为两类,一类是由材料本身的休眠特性控制的,另一类是由非休眠特性控制的(葛永福等,1989)。小麦穗发芽不仅受多基因控制,同时也受环境因素影响(Himi et al, 2002;马丽等,2014),因此衡量的指标也较多,表型鉴定的常用方法是籽粒发芽法、整穗发芽法和大田穗发芽法,籽粒发芽试验操作简单易行,不需要复杂的设备和工具,结果也较为可靠,能较好地反应小麦的休眠特性(朱冬梅等,2014),但不能反映小麦穗部其他因子对小麦穗发芽的影响,因此不能反映穗发芽的整体抗性(董静等,2011;苗西磊等,2011);大田穗发芽法,方法简单完全处于自然条件下,能更好地反映实际情况下小麦的穗上发芽情况,但试验环境和条件不易控制,无法准确评定成熟期相差较大材料的穗发芽抗性,但其结果可作为室内发芽试验的参考;而整穗发芽法介于以上两种方法之间,试验环境较易控制,对穗发芽的选择压力更加接近自然选择压,可以鉴定出小麦穗发芽的综合抗性(苗西磊等,2011),结果也较为准确可靠。在实际生产中,由小麦本身的休眠特性决定的穗发芽抗性材料是最为理想的,由休眠特性和其他因素共同决定的抗性材料次之,因此小麦抗穗发芽育种中,可以采用籽粒发芽法从休眠特性方面对种子资源进行筛选,然后采用整穗发芽法对抗性材料进行进一步验证,最终得出更加准确可靠的结果。

长江流域在五、六月份进入雨季,而此时正值小麦成熟期,发生小麦穗发芽的可能性较大,小麦一旦发生穗上发芽,不仅会影响小麦产量,而且影响小麦品质(Dereran, 1977;于立河等,2007;方正武等,2015),严重损害农民的利益,因此在实际生产中应时刻关注天气情况,及时收获成熟的小麦,避免因穗发芽而带来较为严重的损失。

参考文献:

- DERERAN NF, 1977. On the problem of pre-harvest sprouting of wheat [J]. *Euphytica*, 26(2): 299-308.
- DONG J, LI MF, XU FC, et al, 2011. Identification on pre-harvest sprouting resistance in Hubei wheat accessions [J]. *Hubei Agric Sci*, 50(24): 5 040-5 043. [董静,李梅芳,许甫超,等,2011.湖北小麦材料穗发芽抗性评价[J].湖北农业科学,50(24): 5 040-5 043.]
- FANG ZW, LI YY, MA DF, et al, 2015. Identification of wheat pre-harvest sprouting resistance in valley of middle and lower reaches of Yangtze River [J]. *Acta Agric Boreal-Occident Sin*, 24(2): 33-38. [方正武,李玉莹,马东方,等,2015.长江中下游麦区小麦材料穗发芽抗性评价[J].西北农业学报,24(2):33-38.]

- GE YF, QIAN CM, ZHOU CF, et al, 1989. Germination characteristics and identification of wheat varieties [J]. *Jiangsu Agric Sci*, (3): 2-6. [葛永福, 钱存鸣, 周朝飞, 等, 1989. 小麦品种抗穗发芽特性及其鉴定方法 [J]. *江苏农业科学*, (3): 2-6.]
- HIMI E, MARES DJ, YANAGISAWA A, et al, 2002. Effect of grain color gene (R) on grain dormancy and sensitivity of the embryo to abscisic acid (ABA) in wheat [J]. *J EXP BOT*, 53: 1569-1574.
- HU HQ, WANG G, ZHANG YZ, et al, 2001. The resistance and mechanism of pre-harvest sprouting in spring wheat [J]. *J Tritic Crops*, 21(3): 13-17. [胡汉桥, 王罡, 张艳贞, 等, 2001. 春小麦穗发芽抗性鉴定及机理研究 [J]. *麦类作物学报*, 21(3): 13-17.]
- JIANG GL, CHEN ZX, LIU SJ, et al, 1998. Pre-harvest sprouting in white wheats and its resistant characteristics of cultivars [J]. *Acta Agron Sin*, 24(6): 793-798.
- LI MZ, LI SP, JING JL, et al, 1996. Study on the resistance of wheat spike sprouting [J]. *J Henan Agric Sci*, 11: 7-8. [李美珍, 李世平, 靖金莲, 等, 1996. 小麦穗发芽抗性研究 [J]. *河南农业科学*, 11: 7-8.]
- LIU S, LI J, WANG Q, et al, 2014. Germplasm screening for resistance to pre-harvest sprouting in Southwest China [J]. *SW Chin J Agric Sci*, 27(3): 931-937. [刘爽, 李俊, 王琴, 等, 2014. 西南麦区小麦抗穗发芽品种资源筛选 [J]. *西南农业学报*, 27(3): 931-937.]
- MA L, LI Z, REN TH, et al, 2014. Evaluation and validation of molecular marker associated with pre-harvest sprouting tolerance in a RIL population [J]. *J Tritic Crops*, 34(4): 435-442. [马丽, 李治, 任天恒, 等, 2014. 普通小麦穗发芽抗性相关分子标记在 RIL 群体中的验证与评价 [J]. *麦类作物学报*, 34(4): 435-442.]
- MIAO XL, WANG DS, XIA LQ, et al, 2011. Analysis on the mechanism of pre-harvest sprouting resistance in white-grain wheat [J]. *J Tritic Crops*, 31(4): 741-746. [苗西磊, 王德森, 夏兰芹, 等, 2011. 白粒小麦品种(系)穗发芽抗性机制分析 [J]. *麦类作物学报*, 31(4): 741-746.]
- REN LS, LIU JY, YANG Y, 2015. Determination of pre-harvest sprouting resistance genotypes with Vp1A3 and Vp1B3 in 107 Chinese historical wheat cultivars [J]. *J Tritic Crops*, 35(6): 752-758. [任立世, 刘进英, 杨燕, 2015. 107 份小麦历史品种抗穗发芽基因型的检测 [J]. *麦类作物学报*, 35(6): 752-758.]
- SHEN ZX, YU SR, WU ZS, 1991. Studies on pre-harvest sprouting resistance in wheat cultivars [J]. *Sci Agric Sin*, 24(5): 44-50. [沈正兴, 俞世蓉, 吴兆苏, 1991. 小麦品种抗穗发芽性的研究 [J]. *中国农业科学*, 24(5): 44-50.]
- WALKER-SIMMONS M, 1988. Enhancement of ABA responsiveness in wheat embryos by high temperature [J]. *Plant Cell & Environ*, 11(8): 769-775.
- WANG FB, FU JF, DONG LF, 2006. The relationship between activity of polyphenol oxidase and resistance to pre-harvest sprouting in wheat and breeding of Qinmai 3 with high resistance to PHS [J]. *J Tritic Crops*, 26(5): 97-100. [王凤宝, 付金锋, 董立峰, 2006. 多酚氧化酶活性与小麦抗穗发芽的关系及抗穗发芽新品种秦麦 3 号的选育 [J]. *麦类作物学报*, 26(5): 97-100.]
- WANG FB, YANG X, FU JF, et al, 2015. Effects of consecutive selections for low poly phenol oxidase activity on wheat pre-harvest sprouting (PHS) [J]. *Nucl Agric Sci*, 29(5): 899-907. [王凤宝, 杨雪, 付金锋, 等, 2015. 低酚酶活性选择对小麦穗发芽的影响 [J]. *核农学报*, 29(5): 899-907.]
- XIAO SH, YAN CS, ZHANG HP, et al, 2004. Study on the germination of wheat spike [M]. Beijing: China Agriculture Science Technology Press: 92-99. [肖世和, 闫长生, 张海萍, 等, 2004. 小麦穗发芽研究 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社: 92-99.]
- YAN CS, ZHANG HP, HAI L, et al, 2006. Differences of pre-harvest sprouting resistance among Chinese wheat cultivars [J]. *Acta Agron Sin*, 32(4): 580-587. [闫长生, 张海萍, 海林, 等, 2006. 中国小麦品种穗发芽抗性差异的研究 [J]. *作物学报*, 32(4): 580-587.]
- YANG Y, ZHANG CL, CHEN XM, et al, 2011. Identification and validation of molecular markers for PHS tolerance in red-grained spring wheat [J]. *J Tritic Crops*, 31(1): 54-59. [杨燕, 张春利, 陈新民, 等, 2011. 红粒春小麦穗发芽抗性鉴定及相关分子标记的有效性验证 [J]. *麦类作物学报*, 31(1): 54-59.]
- YANG Y, ZHANG CL, HE ZH, et al, 2007. Advances on resistance to pre-harvest sprouting in wheat [J]. *J Plant Gen Resour*, 8(4): 503-509. [杨燕, 张春利, 何中虎, 等, 2007. 小麦抗穗发芽研究进展 [J]. *植物遗传资源学报*, 8(4): 503-509.]
- YU CQ, RUAN RW, YU GD, et al, 2010. Screening of pre-harvest sprouting resistant germplasm resources of wheat and evaluation of pre-harvest sprouting resistance in some new strains [J]. *J SW Univ: Nat Sci Ed*, 32(4): 36-40. [于春泉, 阮仁武, 余国东, 等, 2010. 小麦抗穗发芽种质筛选与新品系的抗穗发芽性鉴定 [J]. *西南大学学报·自然科学版*, 32(4): 36-40.]
- YU LH, LIU DF, GUO W, et al, 2007. Effects of raining during harvest season on quality of spring wheat [J]. *J Tritic Crops*, 27(4): 658-660. [于立河, 刘德福, 郭伟, 等, 2007. 收获期降雨对春小麦品质的影响 [J]. *麦类作物学报*, 27(4): 658-660.]
- ZHANG BQ, ZHANG Y, WU HY, et al, 1999. Selection of new white wheat variety (line) without viviparity [J]. *J Anhui Agric Sci*, 27(6): 575-577. [张伯桥, 张勇, 吴宏亚, 等, 1999. 小麦抗穗发芽白皮新品种(系)的筛选 [J]. *安徽农业科学*, 27(6): 575-577.]
- ZHANG HF, ZEMETRA RS, LIU CT, 1989. Studies on preharvest sprouting resistance in winter wheat and its determination [J]. *Acta Agron Sin*, 15(2): 116-122. [张海峰, ZEMETRA RS, LIU CT, 1989. 冬小麦穗发芽抗性及其鉴定法的研究 [J]. *作物学报*, 15(2): 116-122.]
- ZHANG ZP, ZHOU LM, SONG XP, et al, 2015. Identification of PHS tolerance in wheat varieties and validation of molecular markers associated with PHS tolerance [J]. *J Tritic Crops*, 35(3): 300-305. [张兆萍, 周丽敏, 宋晓朋, 等, 2015. 小麦穗发芽抗性鉴定及相关分子标记的有效性验证 [J]. *麦类作物学报*, 35(3): 300-305.]
- ZHU DM, ZHANG XX, WANG L, et al, 2014. Resistance of pre-harvest sprouting of wheat cultivars planted in the valley of middle and lower reach of Yangtze River and comparison of the identification [J]. *J Tritic Crops*, 34(7): 944-949. [朱冬梅, 张晓祥, 王玲, 等, 2014. 长江中下游麦区主要小麦品种穗发芽抗性及其鉴定方法比较 [J]. *麦类作物学报*, 34(7): 944-949.]