

黄淮麦区冬小麦倒春寒抗性鉴定

范春燕¹ 孟庆立¹ 吕金仓¹ 雷格丽² 高敏² 郭艳萍¹

(¹ 陕西省宝鸡市农业科学研究院, 宝鸡 724000; ² 陕西宝鸡迪兴农业科技有限公司, 眉县 722302)

摘要: 为了解小麦对倒春寒的耐受性, 对 391 份黄淮麦区冬小麦材料在倒春寒重发年份的田间表现进行分析, 结果表明同一播期下, 不同省份之间小麦材料耐倒春寒表现差异较大, 河北和山东小麦材料耐倒春寒能力较强, 其次是安徽和江苏材料, 陕西和河南小麦材料受倒春寒危害较重; 不同抽穗期的材料都受到不同程度的倒春寒危害, 受冻穗率大小与抽穗期迟早及其年际间变化没有明显相关; 受冻穗率在 20% 以下的材料占比最大, 达到 48%。鉴定出一些较耐倒春寒的小麦材料, 以供育种同行参考利用。

关键词: 小麦; 倒春寒; 抽穗期; 黄淮麦区

小麦生长发育期常遭受多种逆境的威胁, 其中拔节孕穗期的倒春寒危害会造成不同程度的减产。黄淮麦区是中国第一大小麦主产区, 近年来倒春寒呈现频发趋势^[1-2]。2013 年 4 月中旬, 安徽、河南出现极端低温, 造成 200 万 hm^2 小麦减产; 2018 年 4 月初, 倒春寒再次大面积发生, 小麦减产损失严重。

关于倒春寒对小麦生产的影响, 国内学者开展了许多研究。如春季冻害对小麦生理生化方面的

影响^[3-6], 引起晚霜冻害的温度^[7], 小麦的冻害敏感期^[8], 不同材料倒春寒抗性差异^[9-11]等方面均有研究。对于小麦受倒春寒危害程度, 薛辉等^[11]以结实率和产量为评价指标。欧行奇等^[12]以受冻穗率为评价指标, 安晓东等^[9]认为评价倒春寒发生的程度应当考察材料受害率(当地受害材料占全部材料数的比例)。面对黄淮麦区近年来倒春寒多发频发、粮食安全需要抗逆稳产材料的现状, 以受冻穗率和材料受害率为评价指标, 对近年来审定的冬小麦材料和参试品系在关中地区倒春寒重发年份的田间表现

基金项目: 陕西省重点研发计划项目(2022NY-189); 陕西省农业协同创新与推广联盟(LM202108)

重小于 20g, 本研究通过一系列的数据分析仅能说明其相对重要性, 不能对其影响力的大小进行有效描述, 因此在以后的研究中我们应尽可能多地收集不同百粒重的直立型材料进行分析, 构建在南阳生态条件下豌豆产量与百粒重的关系模型, 量化百粒重对产量的影响力, 为品种培育和筛选适合南阳小气候品种提供依据。

参考文献

- [1] 裴亚琼, 宋晓燕, 杨念, 贾艳培. 豌豆淀粉的提取及其理化性质的研究. 中国粮油学报, 2014, 29 (9): 24-28
- [2] 高小丽, 廖文华, 王姗姗, 杨文才, 戴相林, 张玉红. 豌豆主要农艺和品质性状的相关性及灰色关联度分析. 作物杂志, 2016 (5): 56-60
- [3] 宗绪晓, 关建平, 王述民, 刘庆昌. 中国豌豆地方品种 SSR 标记遗传多样性分析. 作物学报, 2008, 34 (8): 1330-1338

- [4] 高小丽. 西藏地区不同豌豆品种(系)营养品质的综合评价. 中国种业, 2020 (12): 64-68
- [5] 夏轩泽, 李言, 钱海峰, 张晖, 齐希光, 王立. 豌豆蛋白乳化性及其改善研究进展. 食品与发酵工业, 2021, 47 (2): 279-284
- [6] 孙冬阳, 呼鑫荣, 薛文通. 豌豆功效成分及其生理活性的研究进展. 食品工业科技, 2019, 40 (2): 316-320
- [7] 刘荣, 杨涛, 黄宇宁, 宗绪晓. 豌豆及其野生近缘种种质资源研究进展. 植物遗传资源学报, 2020, 21 (6): 1415-1423
- [8] 宗绪晓, 王志刚, 关建平. 豌豆种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2005
- [9] 亓振, 赵广才, 常旭虹, 王德梅, 陶志强, 杨玉双, 王美, 范仲卿, 郭明. 小麦产量与农艺性状的相关分析和通径分析. 作物杂志, 2016 (3): 45-50
- [10] 龚学臣, 杨立廷, 马文奇, 乔海明. 豌豆不同栽培条件下产量构成因素相关及通径分析. 国外农学-杂粮作物, 1996 (5): 34-36
- [11] 王凤宝, 董立峰, 付金锋. 半无叶型豌豆 7 个农艺性状的通径分析及利用. 中国农学通报, 2002 (2): 34-37

(收稿日期: 2021-12-29)

进行分析,旨在为小麦倒春寒抗性研究提供数据支撑,为小麦育种实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试材料包含 391 份小麦材料,为 2009–2018 年国家黄淮海区审定的小麦材料或参试品系。

1.2 试验地概况 试验于 2017–2018 年在宝鸡市农科院试验基地进行,试验田块地势平坦,灌溉便利,前茬为白地。土壤质地为两合土,每 kg 土壤有机质含量平均值为 14.44g、速效氮 50.6mg、速效磷 21.65mg、速效钾 150.53mg。基肥为龙麟大地牌复混肥,氮磷钾含量为 25–15–5,施肥量为 50kg/667m²,旋耕时一次施入。冬前 12 月 26 日灌水 1 次。

1.3 气象条件 试验地海拔 680m,最冷月为 1 月,平均气温 -1.8℃。年平均日照时数 2064.8h,日照率 47%,平均无霜期 214d,年平均降水量 623.8mm。2018 年 3 月 11 日出现最低气温 2.8℃;21 日出现最低气温 1.8℃;月降水量 58.3mm,比历年同期偏多 54%,降水分布在 4–5 日、11–14 日、20 日和 22–25 日。2018 年 4 月 3 日 13 时出现最高温 28.6℃;6–7 日大风降温,7 日早晨出现最低气温 -2.7℃,15 日出现 2℃低温。对试验田小麦造成了大面积的冻害。气象数据由岐山县气象局提供。

1.4 调查方法 每份材料种植 3 行,行距 25cm,行长 2m,播种密度为 270 万 /hm² 基本苗。抽穗 7d 后随机选 50 穗,统计受冻穗数^[2],包括哑巴穗、白穗、半截穗、虚尖穗、缺位穗、空壳穗、疙瘩穗和再生穗。其余为正常穗。用 Excel 2003 进行数据统计。具体计算公式如下。

$$\text{受冻穗率} = (\text{受冻穗数} / 50) \times 100\%$$

$$\text{材料受害率} = (\text{当地受害材料数} / \text{全部材料数}) \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 不同省份材料受害情况 从表 1 可以看出,来自不同省份材料均遭受到不同程度的倒春寒危害,但材料受害率有一定差异,材料受害率从高到底依次是陕西、河南、安徽、江苏、河北和山东。陕西和河南的供试材料表现出较高的受害率,分别为 90.5% 和 88.1%。河北和山东材料与其他省份相比,材料受害率较低,都为 43.5%,这 2 个省比其他省份纬度高,小麦经历过低温环境下锻炼和选择,耐冻特性相对较好。

表 1 不同省份小麦材料受害率

省份	材料总数	未受冻材料数	受冻材料数	材料受害率(%)
陕西	84	8	76	90.5
河南	201	24	177	88.1
安徽	25	6	19	76.0
江苏	35	10	25	71.4
河北	23	13	10	43.5
山东	23	13	10	43.5

2.2 不同抽穗期材料受冻情况 2018 年春季小麦的抽穗期同常年相比,大都提早 1~10d,4 月 12–23 日都有材料在抽穗。集中抽穗期在 4 月 15–18 日,以 16 日抽穗材料最多。从表 2 可以看出,不同抽穗期的材料都有受冻情况,材料受害率和受冻穗率与抽穗期没有明显的关系。说明在同一播期下材料抽穗期迟早与倒春寒抗性没有明显关系。

表 2 不同抽穗期材料受冻情况

抽穗期 (月/日)	当日抽穗 材料数	受冻 材料数	材料受害率 (%)	平均受冻穗率 (%)
4/12	2	1	50.0	46.0
4/13	21	19	90.5	31.0
4/14	21	15	71.4	36.2
4/15	50	45	90.0	38.5
4/16	152	119	78.3	34.1
4/17	47	38	80.9	38.3
4/18	37	28	75.7	29.2
4/19	26	24	92.3	51.7
4/20	23	20	87.0	43.3
4/21	6	5	83.3	41.7
4/22	3	2	66.7	40.0
4/23	3	1	33.3	26.7

4 月 19 日抽穗的材料受害率最高,为 92.3%。其次是 13 日和 15 日抽穗的材料受害率较高。当年可能有 2 次或多次的低温导致倒春寒的发生,使不同抽穗期的材料都遭受了较大的危害。13–21 日之间抽穗的材料其材料受害率都在 70% 以上。

12 日抽穗的材料受害率较低,但其平均受冻穗率较高。19 日抽穗的材料受冻穗率最高,结合 19 日材料受害率看,这些材料遭受的倒春寒危害最大。23 日抽穗的材料受害率和受冻穗率最低,分别为 33.3% 和 26.7%;22 日抽穗的材料受害率较低,可能发育进程特快或偏慢的材料具有一定的避倒春寒

或耐倒春寒能力;抽穗极早或极晚的材料在本研究试验材料中占比较少,其倒春寒抗性结果可能代表性不足。

2.3 抽穗期年际间变化与受冻穗率 2018年小麦比2017年晚播10d(2017年秋播遇连阴雨,于20日播种),分析了2018年春天小麦抽穗期较2017年变化,从表3可以看出,329份小麦材料出现了抽穗期提前的情况,只有27份材料抽穗期比上年度推迟,有35份材料表现抽穗期稳定。当抽穗期推迟1~4d时,平均受冻穗率变化从6.0%~76.0%。当抽穗期提前1~12d,平均受冻穗率变化从10.0%~48.3%。当抽穗期表现稳定,仍有31.3%的受冻穗率。这说明是否受冻及受冻穗率高低与抽穗期推迟或提前没有明显相关关系。

表3 抽穗期年际变化与供试小麦材料受冻穗率

抽穗期较上年提前(d)	材料份数	平均受冻穗率(%)
-4	2	6.0
-3	5	76.0
-2	7	72.2
-1	13	34.6
0	35	31.3
1	34	38.6
2	35	36.6
3	44	32.4
4	43	32.5
5	35	48.3
6	30	31.1
7	25	37.0
8	35	30.8
9	24	32.9
10	16	27.1
11	6	31.0
12	2	10.0

负数表示比上年抽穗期推迟天数,0表示抽穗期与上年同期

2.4 不同受冻穗率材料占比 按受冻穗率对391份试验材料进行分级,由表4可以看出没有冻害的材料占总参试小麦材料数的18.9%,这些材料耐倒春寒能力好。受冻较轻的材料比例高,为29.1%,受冻穗率在1%~20%,耐倒春寒能力较好。受冻穗率在51%~60%之间的材料占比较大,为12.5%,这些材料的发育进程较一致,受到4月7日凌晨低温冻

害。其他级别的受冻穗率在整个参试材料中分布较一致。受冻穗率在81%~100%之间的材料仅占参试材料的8%,说明育种人员对倒春寒抗性选择工作取得一定的成效,在倒春寒危害时,受冻穗率特别重的材料比例小。

表4 不同受冻穗率材料数量占比

受冻穗率(%)	材料数	占比(%)
0	74	18.9
1~10	60	15.3
11~20	54	13.8
21~30	24	6.1
31~40	27	6.9
41~50	35	9.0
51~60	49	12.5
61~70	17	4.3
71~80	20	5.1
81~90	12	3.1
91~100	19	4.9

2.5 小麦倒春寒抗性鉴定 田间倒春寒抗性表现好(受冻穗率为0)的材料有74份,有漯麦906、洛麦26、盈满208、徐麦15135、山农538、烟农999、良星99、淮麦508等(表5),这些材料表现为倒春寒发生后穗部基本完整,具有较好的抗性。在陕西关中地区,可选择高产、优质、倒春寒抗性较强的材料西农511、西农810等进行适期播种。其他材料倒春寒抗性(表6)供育种家参考,其中抗性较差的材料有郑麦05706、豫教6号等,受害后出现较严重的哑巴穗、白穗。

3 结论与讨论

本试验表明,来源于不同地区的材料受害率有一定的差异。河北、山东的材料在耐倒春寒性状上表现较好。这与材料选育地的地理位置、自然环境条件、种植制度和常发灾害不同,进而选择重点不同有关。从材料受冻情况和抽穗期迟早来看,二者没有明显关系。在同一播期下,不同抽穗期的材料都有可能遭受倒春寒的危害,这与安晓东等^[9]研究结果一致。材料受害率和受冻穗率相关不显著($r=0.335$),材料受害率高时,受冻穗率不一定高。二者结合能全面地反映农业生产所受倒春寒危害的普遍性和严重度。

表5 田间倒春寒抗性表现好的小麦材料

省份	材料数	材料名称
河北	13	千禾1号,龙堂1号,龙堂2号,龙堂26号,中信麦99,邯11-5266,中麦60,衡H1704,衡H1S观126,中麦44,中麦570,中麦40,中麦43
山东	13	山农055843,济麦52,济麦60,圣麦101,烟679,良星99,济麦22,济麦416,烟99102,烟农999,泰山6016,山农538,泰麦大白粒
江苏	10	淮麦508,淮麦4046,淮核15173,瑞华1568,徐麦021,徐麦14204,徐麦141017,徐麦15135,龙科1221,保丰14511
安徽	6	涡麦77,安农0822,安科1405,安科157,徽研1515,益科麦5号
陕西	8	西农810,西农528,西农511,西农501,西农176,西农16,GX1401,航麦816
河南	24	丰德存12-1,泛麦536,漯麦906,洛麦26,兰考679,新麦30,隆平899,囤麦257,许资1705,中育1428,厚德麦981,90998,中植9号,众麦8号,郑麦369,宝亮5号,丰德存麦20,豫研66,温麦988,SQ17-1,盈满208,德研9518,鹤麦1301,禾丰3号

表6 不同受冻穗率的小麦材料

受冻穗率(%)	材料数	材料名称
1~10	60	华成699,许研5号,郑麦136,中育01089,郑麦132,鲁原502,淮核12013,藁优5766,安科1403,HM353,许科316,浚麦35,丹麦18,丹麦118,德宏福麦8号,丰德存5号,洛麦27,淮核13068,华瑞0049,华瑞1049,许麦1636,中麦175,百农589,山农116,瑞华055,瑞华1426,淮麦1403,宿1264,西农346,西农622,西农815,小偃68,天麦898,天禾16010,郑136,众麦7号,中金13,中麦247,机麦210,石CG15-009,普冰01,丰韵麦5号,驻麦762,滑丰8号,皖宿321,益科麦0732,亿麦11号,新麦45,顺麦10号,漯麦906,囤麦127,天民366,顺麦11,金麦1号,科大102,存麦618,瑞华1426,西农169,存利2号,监091
11~20	54	秦农31,枣乡168,矮抗58-1,滑麦3号,赛德麦1号,西农165,西农196,西农369,西农509,,中育1017,许麦518,宿7078,陕农56,德宏福麦2号,德宏福麦6号,泛区麦16,创新118,淮核09182,华育198,漯4688,华瑞0712,宿042,淮核0869,淮麦0882,百农207,濮兴0369,Q73,中育1220,西农364,淮麦1196,淮麦304,冀麦585,衡08观227,郑品麦22,西农33,紫麦19,驻麦305,益科麦1506,益科麦0732,陕农159,西农86,衡H15-4229,新农23,众麦99,德研0516,石丰269,郑麦22,轮选6号,天麦116,周麦16,周麦18,存麦11号,江麦166,西农99
21~30	24	存麦12号,泛育麦17,怀川109,淮麦2244,泛麦11号,漯麦4号,漯麦956,兰考165,农大2011,黎丰6号,淮麦30,濮麦55,冠麦2号,祥瑞339,秦农27,西农22-1,漯26,郑品麦8号,洲麦66,西农911,西农913,西农9112,漯麦908,平安0518
31~40	27	丰德存12号,高麦6号,怀水365,涡麦66,濮麦6311,泉麦31,新麦132,新科麦169,石丰269,泰禾麦5号,丰德存麦23,保麦0601,西农1167,西农979,豫麦668,中颖8号,赛德麦601,平安0658,泉麦31,珍麦3号,西农990,圣麦108,圣麦118,周37,天禾16041,华成865,泉麦29,
41~50	35	天民198,光泰68,豫农804,江麦186,轮选66,九丰2号,中麦578,鹤麦1618,民丰266,郑麦5138,睢1216,秦农618,西农20,西农585,西农938,郑麦16,郑麦101,中育1123,郑麦103,郑麦113,郑135,郑麦583,郑麦05871,存利1号,武农988,创麦58,郑育麦958,周麦26,周麦28,中育1220,WH104,WH2324,存麦7号,丹试819,丰德存麦16
51~60	49	丰德存麦16-1,宿553,瑞泉麦168,新麦25,新麦32,新麦35,新麦36,赛德麦5号,许科918,天民346,泰禾麦2号,泰禾麦5号,瑞华1101,秦农28,秦农33,西农115,西农214,西农223,西农822,西农836,小偃315,小偃327,陕垦6号,咸农2341,WH混系,武农36,武优麦1号,西农4199,育德1号,远航168,豫农186,豫麦47优系,郑麦119,郑麦314,郑麦366,郑麦583-1,郑麦0943,郑麦1860,武农6号,濮麦1165,郑育麦16,周麦32,中农麦4007,西农733,漯2267,乐麦206,农大108,泉麦890,鹤麦1307
61~70	17	西农1517,苏研麦018,赛德麦8号,轮选166,中农麦4008,九丰4号,西农235,郑品麦25,丰韵麦6号,驻麦328,中育1215,中育1121,WH120,WH3510,存麦8号,丰德存麦24,冠麦2号
71~80	20	涡麦1212,高翔306,轮选2000,漯麦109,漯麦6010,漯2511,粮源66,百农418,濮兴5号,新麦2111,鹤麦1310,泛麦29,西农109,郑7698,周麦30,中麦170,ZY14,ZYF48,西农958,洛麦33
81~90	12	机麦211,黎丰6号,安科1502,西农916,许资1704,众麦166,机麦212,豫研麦10号,郑品麦25,周麦36,中育01089-1,90554选1
91~100	19	存麦4号,周麦31,中育1401,郑麦151,西农719,西农1123,郑麦1836,郑育麦21,中育1326,资12-6,郑大1501,丰德存麦21,徐0054,安农0817,宿9908,豫教6号,郑麦05706,郑选979,博农6号

在小麦生产中,倒春寒灾害分为零上低温冷害和零下低温冻害两种类型^[13]。赵虹等^[7]和安晓东等^[9]研究认为黄淮麦区3月下旬到4月中上旬,4℃以下的低温就会对小麦造成明显冻害。在实践中发现,在2018年春季发生的严重倒春寒危害中,虽然0℃以下低温仅在4月7日早晨发生,但试验结果显示有3个抽穗期的材料受害率都在90%以上,说明低温冻害发生了2次或多次,0℃以上低温或剧烈降温也有可能造成严重的倒春寒危害。2021年春季,3月中下旬平均温度都在5℃以上,但在下旬出现过最低气温-2.5℃;4月上旬和中旬最低气温分别为4.7℃、4.3℃,大田生产和国家区域试验中均发生了冻害,表现为上部小穗不孕或下部缺位小穗数多达5~8个,灌浆后多数材料出现尖穗或者穗子中部缺粒等症状。说明小麦拔节期的低温或孕穗期剧烈降温也会对小麦造成明显冻害。

2020年春季试验田小麦多数材料开颖严重,且主要表现为开颖。调查发现其他小麦主产区如河南、山东、河北都遇到小麦抽穗后开颖现象。开颖虽然并未严重影响大田小麦产量,但致使种子纯度难以保证,2021年小麦抽穗后穗层混杂现象非常突出。2020年气象资料显示,4月上旬只有4月6日出现过2.5℃的低温;3月中旬和下旬出现过-2.8℃和2.4℃的低温。所以,3月中下旬和4月上旬的低温,会对小麦造成明显冻害。

2021年4月上中旬的最低温度都在4℃以上,当最低气温是4.5℃或5℃时会不会对孕穗期的小麦造成伤害?还是3月下旬拔节期的那次-2.5℃低温起主要作用?所以,小麦从拔节到抽穗的发育进程对应不同时期、不同程度低温,小麦倒春寒危害症状表现以及春季温度波动幅度多大会引起冻害,都需要进一步研究。

欧行奇等^[2]认为材料耐倒春寒能力强弱与6类性状存在正相关,即材料的冬春性和抽穗期,材料生长发育的光温反应特性,植株健壮度,越冬期抗寒性,穗部结实性,受害后的恢复能力,这6类性状可通过目测鉴定,对指导小麦耐倒春寒育种工作有一定的参考价值。本研究发现,抗倒春寒性状与抽穗期迟早没有明显关系,且这些性状并非完全决

定倒春寒抗性,倒春寒的危害受多种因素影响,可结合材料的光周期反应、栽培条件、苗情等,对干旱+低温、苗情+低温、其他多重逆境叠加后不同小麦材料对春季低温的抗耐性加以研究,以期指导育种。

本研究进行了单个地区单个冻害严重年份小麦倒春寒受害情况分析,这些小麦材料在多个冻害年份、其他地区及其受倒春寒危害后的表现,有待进一步研究。

参考文献

- [1] 高艳,唐建卫,殷贵鸿,韩玉林,黄峰,王丽娜,于海飞,李楠楠,张倩,杨光宇,李新平.倒春寒发生时期和次数对冬小麦产量性状的影响.麦类作物学报,2015,35(5): 687-692
- [2] 欧行奇,王玉玲.黄淮南片麦区小麦耐倒春寒育种研究初探.麦类作物学报,2019,39(5): 560-566
- [3] 张军,孙树贵,王亮明.孕穗期低温对冬小麦生理生化特性和产量的影响.西北植物学报,2013,33(11): 2249-2256
- [4] 李春燕,徐雯,刘立伟,雷晓伟,杨景,周冬冬,朱新开,郭文善.药隔至开花期低温对小麦产量和生理特性的影响.麦类作物学报,2016,36(1): 77-85
- [5] 刘丽杰,苍晶,李怀伟,于晶,王兴,王健飞,黄儒,徐琛.外源ABA对冬小麦越冬期呼吸代谢关键酶与糖代谢的影响.麦类作物学报,2013,33(1): 65-72
- [6] 陈翔,林涛,林非非,张妍,苏慧,胡燕美,宋有洪,魏凤珍,李金才.黄淮麦区小麦倒春寒危害机理及防控措施研究进展.麦类作物学报,2020,40(2): 243-250
- [7] 赵虹,王西成,胡卫国,曹廷杰,李博.黄淮南片麦区小麦倒春寒冻害成因及预防措施.河南农业科学,2014,43(8): 34-38
- [8] 陈贵菊,陈明丽,王福玉,高国良,江涛,尹逊利,李根英,宋国琦.药隔期低温对小麦生长发育的影响.山东农业科学,2015,47(2): 25-28
- [9] 安晓东,靖金莲,阎翠萍.冬小麦不同材料倒春寒抗性差异鉴定分析.山西农业科学,2017,45(2): 156-159,171
- [10] 刘平湘,郭天财,韩巧霞,王永华,吴晓.不同类型冬小麦材料抗晚霜冻能力的鉴定.中国农学通报,2010,26(19): 94-98
- [11] 薛辉,余慷,马晓玲,刘晓丹,宋艳红,朱保磊,刘冬成,张爱民,詹克慧.黄淮麦区小麦材料耐倒春寒相关性状的评价及关联分析.麦类作物学报,2018,38(10): 1174-1188
- [12] 欧行奇,李璐,李新华,王等娣,王紫娟,欧阳娟,刘源海.强筋小麦材料耐倒春寒性状分析.种子,2020,39(7): 137-141
- [13] 刘方方,万映秀,曹文昕,张琪琪,李耀,李炎,张平治.小麦倒春寒抗性鉴定研究进展.植物遗传资源学报,2021,22(5): 1193-1199

(收稿日期: 2021-12-23)