

# 黄淮麦区冬小麦品种耐热性比较研究

方保停,李向东,邵运辉,王汉芳,岳俊芹,张德奇,杨程,秦峰  
(河南省农业科学院小麦研究所/小麦国家工程实验室/河南省小麦生物学重点实验室/农业部黄淮中部小麦生物学与遗传育种重点实验室/农业部中原地区作物栽培科学观测实验站,河南 郑州 450002)

**摘要:**以黄淮麦区生产上大面积应用的16个冬小麦品种为材料开展大田试验,通过人工模拟高温胁迫处理,分析不同冬小麦品种旗叶叶绿素含量、籽粒千粒质量、产量及其热感指数,筛选耐热品种,以期为黄淮麦区冬小麦高效生产品种选择提供理论依据。结果表明,与田间自然生长的对照相比,热胁迫降低了灌浆中后期冬小麦旗叶SPAD值,并随灌浆进程推进降幅增大,且SPAD值降幅在不同品种间有明显差异。不同时期旗叶SPAD值与冬小麦千粒质量热感指数、产量热感指数关系均不显著。通过对千粒质量热感指数、产量热感指数进行综合分析,筛选出千粒质量热感指数、产量热感指数均小于1的综合耐热性较强的冬小麦品种:周麦18、矮抗58、西农979、平安8号、良星99、郑麦7698。

**关键词:**冬小麦;热胁迫;耐热品种;热感指数;千粒质量;籽粒产量  
**中图分类号:**S512.1      **文献标志码:**A      **文章编号:**1004-3268(2019)07-0019-05

## Comparative Study on Heat Tolerance of Winter Wheat Cultivars in Huang-Huai Region

FANG Baoting, LI Xiangdong, SHAO Yunhui, WANG Hanfang, YUE Junqin, ZHANG Deqi, YANG Cheng, QIN Feng  
(Wheat Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences/National Engineering Laboratory for Wheat/Key Laboratory of Wheat Biology of Henan Province/Key Laboratory of Wheat Biology and Genetic Breeding in Central Huang-Huai Region, Ministry of Agriculture/Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in Central Plain, Ministry of Agriculture, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** A field experiment was conducted using 16 winter wheat cultivars which were widely grown in Huang-Huai region, and the artificial simulation of heat stress treatment was conducted. The chlorophyll content, 1 000-grain weight, yield and their thermal indexes of different winter wheat varieties were analyzed, and the heat-tolerant varieties were screened, so as to provide theoretical basis for selection of winter wheat variety with high-efficient production of winter wheat in Huang-Huai region. The results showed that the SPAD value of flag leaf decreased under heat stress compared to natural growth treatment (CK) at the middle-late filling stage, the decrease range of SPAD value increased with the progress of the filling process, and the decrease ranges of SPAD value were obviously different among different varieties. Moreover, the correlations between flag leaf SPAD value and thermal indexes of 1 000-grain weight and yield were not significant in different periods. Based on the analysis of thermal indexes of 1 000-grain weight and yield, heat-tolerant varieties whose thermal indexes of 1 000-grain weight and yield were all less than one were screened, such as Zhoumai 18, Aikang 58, Xinong 979, Ping'an No. 8, Liangxing 99 and

收稿日期:2018-12-23  
基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0300404, 2017YFD0301102, 2018YFD0300700);河南省农业科学院优秀青年基金项目(2018YQ001)  
作者简介:方保停(1976-),男,河南淮滨人,副研究员,博士,主要从事小麦生理生态与耕作研究。  
E-mail:fangbaoting@126.com  
通信作者:李向东(1967-),男,河南遂平人,研究员,博士,主要从事小麦生理生态与耕作研究。E-mail:hnlxd@126.com

Zhengmai 7698.

**Key words:** Winter wheat; Heat stress; Heat-tolerant varieties; Thermal index; 1 000-grain weight; Grain yield

小麦是我国主要的粮食作物之一,黄淮地区是我国小麦的主要产区,但该区域小麦生长后期常遭遇高温胁迫<sup>[1-2]</sup>。研究表明,灌浆期出现高温、干热风天气,小麦将遭受“高温逼熟”灾害<sup>[3]</sup>,造成籽粒灌浆速率降低、灌浆时间缩短,旗叶抗氧化酶活性下降、膜脂过氧化物含量上升,导致小麦减产 10% ~ 20%,而且影响小麦品质,降低出粉率<sup>[4-10]</sup>。在模拟高温胁迫条件下,利用热害指数、热感指数等指标鉴定作物耐热性的人工模拟直接鉴定法被广泛应用<sup>[7,11-17]</sup>。同时利用千粒质量和产量热感指数对小麦耐热性进行评价的研究较少<sup>[11,15]</sup>,且至今尚未见同时利用千粒质量和产量热感指数对黄淮麦区生产上大面积应用冬小麦品种进行耐热性鉴定的研究。为此,本研究选用黄淮麦区生产上大面积应用的冬小麦品种,结合以往的热胁迫研究方法<sup>[7-8,11,18]</sup>,人工模拟增温热胁迫处理,综合利用千粒质量热感指数和产量热感指数,研究不同冬小麦品种旗叶叶绿素含量、籽粒千粒质量和产量的差异,筛选出耐热品种,为黄淮麦区冬小麦高效生产品种的选择提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况及试验材料

试验于 2015—2016 年在河南省现代农业研究开发基地(新乡市平原新区,35°00'N、113°40'E)进行,试验田地势平坦,灌溉条件良好,土质为壤土,中等肥力,肥力均匀,前茬玉米掩青。耕层土壤含有机质 11.58 g/kg、全氮 1.18 g/kg、速效氮 78.4 mg/kg、速效磷 9.0 mg/kg、速效钾 98.8 mg/kg。

供试材料为 16 个黄淮麦区大面积应用的冬小麦品种,包括河南省大面积应用的矮抗 58、周麦 18、豫麦 49 - 198、周麦 22、郑麦 7698、西农 979、郑麦 366、平安 8 号和兰考 198,河北省大面积应用的石麦 22 和石麦 19,山东省大面积应用的良星 99、济麦 22 和山农 20,安徽省大面积应用的淮麦 33 和安农 0711。

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,主区为温度,副区为冬小麦品种。设置热胁迫和田间自然生长(对照,CK)2 个温度处理。热胁迫处理每品种播种 6 行,行长 2 m、行距 20 cm。田间自然生长处理每品种播种 12 行,行长 6 m、行距 20 cm。副区内 16 个冬小麦品种随机排列,3 次重复。播种量均为 180 kg/hm<sup>2</sup>,肥水等统一管理,2015 年 10 月 11 日播种,热胁迫处理 2016 年 5 月 30 日收获,田间自然生长处理 2016 年 6 月 4 日收获。

试验采用人工遮盖塑料棚模拟高温环境进行热胁迫处理,自 2016 年 5 月 13 日开始,5 月 30 日结束,除去多云、降雨等天气,总计增温 11 d。每天于 10:30 开始盖棚(棚宽 6 m、高 2 m,上边搭盖无色透明聚乙烯薄膜,内挂 4 个温、湿度计,离地面约 0.9 m),分别于 11:00、12:00、13:00、14:00、15:00、16:00 记录温度和湿度,16:00 后取消遮盖,同时记录对照温度和湿度,分别取 6 个时间点的平均值为当天的温度、湿度(表 1)。热胁迫处理较对照平均每天增温 3.1 ~ 7.1 ℃,尤其是 5 月 16 日—25 日,热胁迫处理温度达到重度干热风天气的温度。

表 1 热胁迫处理温度、湿度  
Tab.1 Temperature and humidity under heat stress

指标 Index	处理 Treatment	日期/(月-日) Date/(Month-Day)											
		05-13	05-15	05-16	05-17	05-18	05-19	05-22	05-24	05-25	05-29	05-30	
温度/℃ Temperature	热胁迫 Heat stress	26.1 ± 1.9	29.2 ± 2.3	33.7 ± 1.7	33.0 ± 2.2	34.3 ± 2.9	34.5 ± 2.9	37.9 ± 2.2	37.0 ± 2.4	36.7 ± 2.2	41.2 ± 1.7	40.0 ± 2.5	
	CK	23.0 ± 1.0	25.7 ± 0.8	29.2 ± 1.3	29.0 ± 1.4	29.7 ± 2.7	28.2 ± 1.8	31.2 ± 2.1	31.5 ± 2.0	32.1 ± 2.8	34.1 ± 2.1	34.5 ± 3.1	
湿度/% Humidity	热胁迫 Heat stress			31.4 ± 2.2	17.7 ± 3.8	45.0 ± 5.1	58.0 ± 6.8	44.3 ± 8.2	34.7 ± 7.8	28.2 ± 1.9	33.5 ± 5.1	28.0 ± 6.6	
	CK			23.1 ± 3.6	36.3 ± 2.3	39.2 ± 5.9	38.8 ± 3.1	32.3 ± 4.0	22.8 ± 3.4	24.3 ± 3.6	16.4 ± 3.8	17.7 ± 4.6	

1.3 测定项目及方法

1.3.1 叶绿素含量 分别于 5 月 13 日、16 日、18 日、20 日、24 日、26 日和 28 日 17:00 测定热胁迫处理、对照的叶绿素含量,每小区各选取 10 片旗叶,用

SPAD-502 测定每片叶片不同部位,取平均值。

1.3.2 千粒质量、产量及其热感指数 收获期,将热胁迫处理冬小麦全部收获,对照区收获 6 行宽、2 m 长区域冬小麦,然后脱粒称质量,折合单位面积

产量,并调查千粒质量。

目前,常采用千粒质量、产量的热感指数(S)进行小麦耐热性评价,其计算公式为 $S = (1 - YD/YP)/(1 - \overline{YD}/\overline{YP})^{[7,11-12,19-20]}$ 。其中,YD 为热胁迫下某品种的千粒质量或产量,YP 为田间自然生长条件下某品种的千粒质量或产量, $\overline{YD}$ 为热胁迫下所有品种的千粒质量或产量的平均值, $\overline{YP}$ 为田间自然生长条件下所有品种的千粒质量或产量的平均值。 $S < 1$ ,说明该品种为耐热品种; $S \geq 1$ ,说明该品种为热敏感品种。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据处理和作图。

2 结果与分析

2.1 热胁迫对不同冬小麦品种旗叶叶绿素含量的影响

由图 1 可知,与对照相比,热胁迫处理前期(5 月 18 日及之前),冬小麦旗叶 SPAD 值升高,热胁迫处理中后期(5 月 20 日及之后)旗叶 SPAD 值开始降低,并随灌浆进程的推进降低幅度增大。

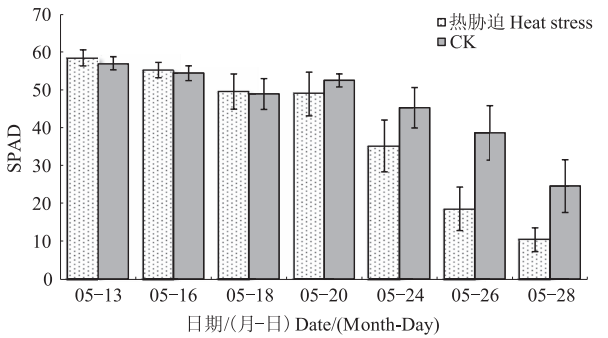


图 1 热胁迫对冬小麦旗叶 SPAD 值的影响  
Fig.1 Effect of heat stress on SPAD value of flag leave of winter wheat

对不同冬小麦品种热胁迫处理前期(5 月 18 日及之前)和热胁迫处理中后期旗叶 SPAD 值分别进行分析(表 2)发现,热胁迫处理前期仅有豫麦 49 - 198、周麦 22、良星 99、周麦 18 和矮抗 58 的 SPAD 值较对照降低,且周麦 22、良星 99、周麦 18 降低幅度较小,其他品种 SPAD 值均增加,济麦 22 增幅最大,达到 11.32%。热胁迫中后期各品种 SPAD 值均较对照降低,安农 0711 降幅最小,西农 979 降幅最大,随后依次为矮抗 58、石麦 19。

表 2 热胁迫对不同冬小麦品种旗叶 SPAD 值的影响  
Tab.2 Effect of heat stress on SPAD value of flag leave of different winter wheat varieties

品种 Variety	胁迫前期 Early stage after stress			胁迫中后期 Mid-late stage after stress		
	热胁迫 Heat stress	CK	较 CK ± % Increase or decrease rate compared with CK	热胁迫 Heat stress	CK	较 CK ± % Increase or decrease rate compared with CK
豫麦 49 - 198 Yumai 49-198	50.3	53.5	- 5.98	22.5	30.8	- 26.95
石麦 22 Shimai 22	54.9	54.7	0.37	27.2	37.6	- 27.66
周麦 22 Zhoumai 22	54.2	55.0	- 1.45	30.5	43.2	- 29.40
济麦 22 Jimai 22	59.0	53.0	11.32	29.3	41.0	- 28.54
良星 99 Liangxing 99	56.4	57.1	- 1.23	32.0	41.6	- 23.08
郑麦 7698 Zhengmai 7698	54.2	52.5	3.24	30.1	44.6	- 32.51
石麦 19 Shimai 19	53.0	52.1	1.73	26.7	42.5	- 37.18
淮麦 33 Huaimai 33	57.6	53.3	8.07	34.3	49.5	- 30.71
兰考 198 Lankao 198	55.8	51.4	8.56	24.1	35.2	- 31.53
平安 8 号 Ping'an No. 8	55.3	50.8	8.86	32.3	42.8	- 24.53
安农 0711 Annong 0711	53.4	52.6	1.52	33.8	41.7	- 18.94
山农 20 Shannong 20	56.8	55.6	2.16	29.5	40.5	- 27.16
郑麦 366 Zhengmai 366	54.8	53.8	1.86	25.4	35.9	- 29.25
周麦 18 Zhoumai 18	53.5	54.6	- 2.01	30.4	40.0	- 24.00
西农 979 Xinong 979	49.0	48.5	1.03	19.6	34.8	- 43.68
矮抗 58 Aikang 58	52.1	55.3	- 5.79	24.3	41.9	- 42.00

2.2 不同冬小麦品种的千粒质量、产量及其热感指数比较分析

由表 3 可知,自然生长条件下,济麦 22、山农 20、周麦 18、周麦 22、良星 99、郑麦 7698、石麦 19 的千粒质量较高,均超过 45 g;热胁迫条件下,山农 20、周麦 18、济麦 22、良星 99、郑麦 7698 的千粒质量较高,均超

过 45 g,尤其是山农 20、周麦 18,均超过 46 g。良星 99、郑麦 7698、淮麦 33、山农 20、周麦 18、矮抗 58、豫麦 49 - 198、平安 8 号、西农 979 的千粒质量热感指数均小于 1,属于耐热品种;其他 7 个品种的千粒质量热感指数均大于 1,属于热敏感品种,尤其是郑麦 366,其千粒质量热感指数最大,达到 3.20。



表 4 千粒质量、产量热感指数与不同时期冬小麦旗叶 SPAD 值的相关系数

Tab. 4 Correlation coefficients between thermal indexes of 1 000-grain weight,yield and SPAD values of flag leave of winter wheat in different periods

处理 Treatment	指标 Index	05 - 13	05 - 16	05 - 18	05 - 20	05 - 24	05 - 26	05 - 28
高温胁迫 Heat stress	千粒质量热感指数 Thermal index of 1 000-grain weight	-0.136	0.116	0.091	0.125	-0.057	0.056	-0.192
	产量热感指数 Thermal index of yield	0.228	0.149	0.080	-0.362	-0.010	-0.193	0.016
CK	千粒质量热感指数 Thermal index of 1 000-grain weight	-0.390	-0.180	0.205	-0.155	-0.030	0.072	-0.274
	产量热感指数 Thermal index of yield	-0.045	0.103	0.387	0.125	-0.245	-0.339	-0.297

3 结论与讨论

温度是影响小麦产量的最重要的环境因子之一,而全球气温一直在不断上升<sup>[20]</sup>。因此,培育、筛选、利用耐热性强的小麦品种应对气候变化,对保障小麦高产稳产具有重要意义。筛选耐热品种的方法有田间直接鉴定法、人工模拟直接鉴定法和间接鉴定法<sup>[21]</sup>。其中,覆盖薄膜模拟高温胁迫环境直接鉴定法得到广泛应用<sup>[7,11-12]</sup>。本研究采用人工覆盖薄膜模拟高温胁迫,模拟温度超过 33 ℃,较对照高 3.1~7.1 ℃,对灌浆期冬小麦具有一定的热胁迫效应。以往研究<sup>[11-13,19]</sup>都强调增温在灌浆后期进行,有的是灌浆 15 d 开始,本研究是灌浆 20 d 开始,这与前人所强调的增温应在灌浆后期进行是一致的。另外,本试验在雨天或多云天气也没有盖棚,因为降雨天气盖棚会造成棚内土壤湿度与棚外自然条件的土壤湿度不一致,多云天气盖棚会造成棚内温度较棚外自然条件高,但一般达不到热胁迫的效应。

本研究综合分析了黄淮大面积应用小麦品种的千粒质量热感指数、产量热感指数及旗叶 SPAD 值,结果表明,周麦 18、矮抗 58、西农 979、平安 8 号、良星 99 和郑麦 7698 的耐热性较强。

参考文献:

[1] BARNABAS A,JAIFER K. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals[J]. Plant Cell & Environment,2008,31(1):11-38.

[2] SCHLENKER W,ROBERTS M J. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2009,106(37):15594-15598.

[3] 赵俊芳,赵艳霞,郭建平,等. 过去 50 年黄淮海地区冬小麦干热风发生的时空演变规律[J]. 中国农业科学,2012,45(14):2815-2825.

[4] 杨霁云,朱玉洁,刘伟昌. 华北冬麦区干热风发生规律及风险区划[J]. 自然灾害学报,2013,22(3):112-121.

[5] 权畅,景元书,谭凯炎. 高温热害对华北地区冬小麦灌浆和产量的影响[J]. 河南农业科学,2014,43(1):28-32.

[6] 吴宏亮,周续莲,康建宏. 花后高温干旱对小麦淀粉形成的研究进展[J]. 农业科学研究,2011,32(3):67-71.

[7] 韩利明,张勇,彭惠茹,等. 从产量和品质性状的变化分析北方冬麦区小麦品种抗热性[J]. 作物学报,2010,36(9):1538-1546.

[8] 刘萍,郭文善,浦汉春,等. 灌浆期高温对小麦剑叶抗氧化酶及膜脂过氧化的影响[J]. 中国农业科学,2005,38(12):2403-2407.

[9] 郭文善,施劲松,彭永欣,等. 灌浆期高温对小麦光合产物运转的影响[J]. 核农学报,1998,12(1):21-27.

[10] 安晓东,靖金莲,刘玲玲,等. 花后高温对晋南冬小麦籽粒灌浆速率的影响[J]. 山西农业科学,2018,46(9):1444-1447,1464.

[11] 耿晓丽,张月伶,臧新山,等. 北方冬麦区与黄淮北片优良小麦品种(系)耐热性评价[J]. 麦类作物学报,2016,36(2):172-181.

[12] 赵彦坤,王秀堂,王静,等. 热胁迫对不同小麦品种灌浆速率的影响[J]. 中国生态农业学报,2016,24(9):1239-1245.

[13] 徐如强,孙其信,张树榛. 春小麦耐热性的筛选方法与指标[J]. 华北农学报,1997,12(3):22-29.

[14] 闫长生,肖世和,张秀英,等. 冬小麦品种生育后期的耐热性评价[J]. 华北农学报,2003,18(3):15-17.

[15] 傅晓艺,何明琦,史占良,等. 灌浆期高温胁迫对小麦灌浆特性和品质的影响[J]. 麦类作物学报,2015,35(6):867-872.

[16] 李小玲,华智锐,李静. 油菜素内酯对秦岭高山杜鹃耐热性的影响[J]. 河南农业科学,2017,46(8):126-130.

[17] 吴莎,金晓玲,张旻桓,等. 外源水杨酸对高温胁迫下牡丹幼苗耐热性的影响[J]. 河南农业科学,2018,47(6):98-103.

[18] 张平平,何中虎,夏先春,等. 高温胁迫对小麦蛋白质和淀粉品质影响的研究进展[J]. 麦类作物学报,2005,25(5):129-132.

[19] 陈希勇,孙其信,孙长征,等. 春小麦耐热性表现及其评价[J]. 中国农业大学学报,2000,5(1):43-49.

[20] BITA C E,GERATS T. Plant tolerance to high temperature in a changing environment;Scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops[J]. Frontiers in Plant Science,2013,273(4):1-18.

[21] 马小娣,彭惠茹,汪茅,等. 作物耐热性的评价[J]. 植物学通报,2004,21(4):411-418.