

网络出版日期:2018-01-12
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20180112.0934.010.html>

冬春温度变化对小麦温敏雄性不育系 BNS 的育性转换影响

秦志英^{1,2}, 孙海燕¹, 付庆云¹, 卫笑¹, 巴爱丽¹, 茹振钢¹, 李友勇¹

(1. 河南科技学院 现代生物育种河南省协同创新中心, 河南新乡 453003;

2. 新乡市新良粮油加工有限责任公司, 河南新乡 453200)

摘 要 BNS 是一个主体受温度控制的新型小麦雄性不育系, 表现为花粉发育在低温下(<8 ℃)不育, 高温下(>12 ℃)可育。BNS 不育性稳定, 但年份间常有波动, 一些年份自交结实率上升显著。为了弄清楚 BNS 育性波动的原因, 连续 3 a 观察不同播期的 BNS 穗分化过程, 分析连续 6 a 调查的 BNS 自交结实率与对应年份的冬春温度变化, 结果发现, 冬季和春季温度的改变显著影响 BNS 的自交结实率。一般规律是, 暖冬年份自交结实率低, 寒冬较高, 暖春年份自交结实率高, 寒春较低。该现象的形成主要是 BNS 冬季生长发育速度所致, 暖冬年份 BNS 冬季仍保持生长, 到春季时完成温度敏感期前的发育, 较早进入温度敏感期, 此时的春季温度较低, 因此 BNS 不育; 然而在寒冬年份, BNS 停止生长, 春季需生长一定时间才进入温度敏感期, 进入时气温已较高, 因此诱导育性转换, 自交结实率增高。BNS 冬季生长发育速度在穗分化观察中得到验证。该机理解释了不同年份 BNS 自交结实率的波动, 并根据冬春温度可预测 BNS 的育性转换。

关键词 小麦; BNS 雄性不育; 自交结实率; 温度; 暖冬; 寒冬

中图分类号 S512.1⁺1 **文献标志码** A **文章编号** 1004-1389(2018)01-0031-07

植物雄性不育是指一些植物的基因型, 它的雄性器官发育不正常, 不能产生正常有功能的花粉粒, 但雌蕊发育正常, 能接受外源的花粉受精而结实。植物雄性不育是植物杂种优势利用的重要途径, 尤其对于自花授粉作物, 是唯一途径, 因此常把雄性不育系看作为这些植物利用杂种优势的“核心”材料。植物的雄性不育有多种类型, 如质核互作“三型”不育, 光温敏“二型”不育、化学杀雄“化杀”不育等^[1], 其中“二型”不育类型不育性高, 自身恢复性好, 利用程序简单, 是自花授粉作物最有利用潜力的不育类型, 水稻杂种优势利用已成功利用了“二型”雄性不育^[2], 目前小麦的研究重点也转移到该种类型上^[3]。

BNS 是一个对温度敏感的二型小麦雄性不育系^[4-7], 它的幼穗分化期即对温度敏感, 在较低(<8 ℃)温度下, 小孢子发育受阻, 花粉败育, 在较高温度下(>8 ℃), 育性逐步恢复, 部分小花结实, 12 ℃以上温度, 结实基本正常^[8-10], 15 ℃以上温度, 能显著促使 BNS 的育性转换^[11]。

BNS 不育和可育的育性转换调节非常简单, 在河南辉县地区, 10 月上旬播种的 BNS, 一般年份是高度不育的, 自交结实率低于 1%, 10 月中旬及以后播种, 育性开始恢复, 结实率逐步提高, 到 11 月中旬播种, 结实率达最高水平, 继续推迟播期, 由于生长期短, 发育不充分, 因此结实率有所下降, 二系的水稻也有类似现象^[12]。

虽然较多观察表明 BNS 不育和恢复特性稳定, 但同时也发现, BNS 自交结实率, 不同年份有波动^[4,9,13], 近些年还发现, 个别年份在典型不育播期播种的 BNS, 自交结实率超过 10%。

雄性不育系自交结实率的波动是一个非常值得关注的现象, 因为自交结实率的上升意味着当该不育系用来生产杂交种时, F1 代至少有同比例的种子是母本不育系, 该比率极大影响 F1 种子的纯度, 严重时种子生产失败^[14]。小麦不育系不育性目前尚没有国家标准, 水稻不育系纯度国家标准是 99.9%^[15], 一些地方标准套袋自交结实率是 <0.05%, 目前 BNS 波动的自交结实率远大于

收稿日期: 2017-09-05 修回日期: 2017-10-23
基金项目: 河南省基础与前沿研究计划(122300410011, 162300410136)。
第一作者: 秦志英, 女, 助理农艺师, 研究方向为小麦遗传育种。E-mail: qin_zhiying@163.com
通信作者: 李友勇, 男, 教授, 研究方向为作物遗传育种和生物技术。Email: liyouyong@hist.edu.cn

该标准。

为了保证 BNS 的安全利用,研究 BNS 的育性改变的原因有重要意义。BNS 是温敏不育系,因此育性改变一定与温度改变有关。本试验将 BNS 从典型不育到恢复最高可育水平期间分期播种,测定各播期的套袋自交结实率,结合相应年份的温度气象资料,分析和探讨 BNS 自交结实率波动的成因,发现育性变化的规律,为杂交种生产中防控 BNS 自交结实率上升提供预测信息。

1 材料与方法

1.1 BNS 的种植和自交结实率调查

BNS 是原始 BNS 不育系,河南科技学院分子细胞遗传实验室每年套袋繁殖保存。对于 BNS 的种植,历年执行同一标准,即从 10 月 1 日开始,每 8 d 一个播期,到 11 月 18 日,共 7 个播期。BNS 材料种植在河南辉县小麦育种基地(113°23'E,35°17'N)。田间种植方式为,行长 3 m,行宽 0.23 m,种植 2 行隔 1 空行,每播期种植 20 行以上。单粒播种。分蘖后标记主茎和第一分蘖。自交结实率的测定采用套袋法,抽穗后将标记的主茎和第一分蘖穗分别套羊皮纸带,每个播期套袋 2 行,40 株左右。成熟后收取套袋穗,计数小穗数和结实粒数,每株取 2 穗的平均数。自交结实率的计算采用第 1、2 小花结实粒数算法^[3-6,16],自交结实率=第 1、2 小花结实粒数/(2×总小穗数,指穗基部到顶端有籽粒的全部小穗数)×100%。连续 6 a(2011—2012 至 2016—2017)的自交结实率整理后,对每个播期的自交结实率做年份间差异显著性检验,在 0.01 水平标记

差异显著性^[17]。

1.2 气象资料

温度气象资料来自新乡市气象局记录的标准气象资料数据,数据观测点距材料生长地约 10 km,纬度相同。

1.3 穗分化观察

冬前在越冬期,翌春自返青后开始,取材 BNS 的主茎,观察穗分化时期。前中期个体发育慢,每 7 d 取材 1 次,到 3 月底后,温度高发育快,每 3 d 取材 1 次。取材和观察方法是,每次取田间标记的主茎穗 2 个,剥出幼穗,在实体镜下观察,按照崔金梅的小麦穗分化阶段形态划分^[18],记录穗分化时期。

2 结果与分析

2.1 BNS 自交结实率

整理 2011—2012 至 2016—2017 共 6 a 的 BNS 自交结实率,比较每个播期的平均数年份间差异显著性检验,结果见表 1。从表 1 可看出,BNS 的自交结实率随播期的推迟而提高,这与相关报道的结果一致^[4-10];但同时还可看出,各播期自交结实率年份间存在差异,2015—2016 年的自交结实率在 6 a 中最高,与其他年份的差异达极显著水平。2011—2012、2014—2015 和 2016—2017 3 个年份自交结实率整体水平较低,2012—2013 晚播的自交结实率较高,2013—2014 年不育期播种的较高,后期可育期播种的自交结实率偏低。10 月 1 日和 10 月 9 日 2 个典型不育播期播种的 BNS,2015—2016 年差异显著,其他年份虽然差异不显著,但自交结实率仍高于原种的异籽

表 1 2011—2012 至 2016—2017 年 7 个播期的 BNS 自交结实率及平均数差异显著性检验($\bar{x}\pm s$)

Table 1 Self-fertility rate of BNS of different sowing dates from 2011—2012 to 2016—2017 and its test of difference significant among average of self-fertility rate of BNS %

年份 Year	播期 Sowing date						
	10-01	10-09	10-17	10-25	11-02	11-10	11-18
2011—2012	1.21±2.36 B	1.52±2.84 B	15.44±11.68 ABC	29.06±21.91 B	32.86±22.49 CD	39.92±17.02 C	—
2012—2013	0.55±1.23 B	2.04±3.31 B	10.60±7.25 BC	30.68±6.46 D	53.39±26.08 AB	76.14±26.71 A	75.77±4.72 A
2013—2014	1.85±2.80 B	6.51±7.94 B	26.49±24.46 A	29.42±13.66 BC	46.34±17.50 BC	48.43±15.56 BC	36.17±19.07 B
2014—2015	0.96±2.34 B	1.05±2.17 B	7.09±8.13 C	11.56±10.87 CD	13.17±6.27 E	38.81±19.83 C	34.14±15.32 B
2015—2016	14.15±8.09 A	15.74±12.57 A	21.42±13.27 AB	61.83±14.88 A	67.48±6.19 A	77.02±4.90 A	70.80±10.10 A
2016—2017	0.00±0.00 B	0.69±1.18 B	4.27±4.68 C	12.99±9.35 CD	18.06±7.00 DE	62.47±12.76 AB	49.49±12.29 B

注:“—”是由于取样失败而致的数据缺失;不同字母表示 LSD 分析在 0.01 水平差异显著。
Note: the “—” in the table is missing data caused by sampling failure;different letters within columns mean significantly different at 0.01 level by LSD.

率水平($<0.05\%$),只有 2016—2017 年度 10 月 1 日播期的 BNS 不育水平符合要求,其余年份和播期,不采取补救措施,杂交种生产将失败。

2.2 冬春温度及其与结实率的联系

表 2 是 2011—2012 至 2016—2017 年的小麦生育期间的温度气象资料,有 3 个积温参数,一是 BNS 从播种到抽穗的总积温,该参数反映年份总温度水平。从表中可看出,2011—2012 和 2012—2013 连续 2 a 总积温较低,属低温年份,后 4 a 属高温年份,积温都超过 $1\,900\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。BNS 的育性在高温下被诱导转换,但 2014—2015、2016—2017 是高温年份,自交结实率却在低水平,尤其 2016—2017 是最低的年份,说明 BNS 的育性转换并不完全与总积温相关;第 2 个参数是 3 月和 4 月份积温,该积温反映春季温度特征。3 月份后 BNS 进入温度敏感期,因此,此阶段高温促使育性转换,低温不利于育性转换。杜黎君等^[11]发现该阶段的 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上积温能显著促进 BNS 的育性转换,但表 2 和表 1 中显示 3 月和 4 月总积温与自交结实率也不完全相关,如 2011—2012 年,3 月和 4 月份总积温很低,但自交结实率比 2014—2015 和 2016—2017 年高;第 3 个参数是负积温,负积温反映冬季温度状况。2014—2015 和 2016—2017 两个年份负积温最小,而这两个年份的 BNS 是低自交结实率,尤其是典型不育播期,10 月 1 日和 10 月 9 日的 BNS,都在最低结实率水

平。该相关性说明暖冬不利于 BNS 育性转换,而有利于不育性保持。

上述 3 个温度参数,单个指标不能构成温度与育性之间的有价值的联系,但如果把冬季温度、春季温度,以及个体发育结合起来,冬春温度对育性转换的影响就容易理解:第 1 种情况是暖冬。暖冬负积温小,个体发育快,因此到春季时进入温度敏感期早,若此时遇高温,将促进育性转换,但这种情况少见,暖冬年份春季往往温度偏低,即使是正常温度年份,暖冬使 BNS 在春季进入温度敏感期较早,因此,幼穗发育处于低温之下,育性不转换,自交结实率较低。2014—2015 和 2016—2017 年即是该类型(图 1);第 2 种情况是寒冬,寒冬年份个体冬季生长停止,到春季温度回升后才开始生长,这样的年份 BNS 春季发育到感温期一定比暖冬年份晚,此时温度已回升,育性转换快,结实率升高,2011—2012 年和 2012—2013 年即是该类型;寒冬若遇暖春年份,育性转换更快,自交结实率更高,2015—2016 年是该类型的典型年份,寒冬暖春,两个高转换因素叠加,因此是最高自交结实率年份(图 1);第 3 种情况是冬季在平均温度水平,该类年份主要看春季温度,高温可使自交结实率偏高,低温使自交结实率偏低,2013—2014 年是平均负积温,次年春季温度较高,因此有较高的自交结实率。

表 2 2011—2012 到 2016—2017 小麦生育期间两个区段的总积温和全年负积温
Table 2 Total accumulated temperature and negative accumulated temperature during wheat development from 2011—2012 to 2016—2017 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$

项目 Item	年 份 Years						6 a 平均 Average of 6 years
	2011—2012	2012—2013	2013—2014	2014—2015	2015—2016	2016—2017	
10 月—4 月 Oct. -Apr.	1 342.4	1 589.8	1 943.4	1 985.7	1 998.3	1 912.6	1 795.4
3 月—4 月 Mar. -Apr.	497.6	785.3	905.3	836.5	911.7	811.5	791.3
负积温 Negative	-46.6	-86.5	-38.0	-3.6	-50.4	-7.4	-38.8

2.3 穗分化进程

暖冬、寒冬对 BNS 自交结实的影响是通过冬季生长量到春季进入温度敏感期的早或晚实现的。为了证明该推断,从 2014 年开始,连续 3 a 观察 BNS 的穗分化进程,结果见表 3。从表 3 可看出,BNS 3 个年份越冬前穗分化时期一致,是单棱末期,但到 3 月初,穗分化时期已明显拉开距离,2014—2015 和 2016—2017 年,穗分化已进入小花分化期,而 2015—2016 年,3 月初仅发育到护颖分化期(图 1),小花分化期延后到 3 月 12

日,比 2014—2015 和 2016—2017 年发育延迟 1 周以上。前期多数研究均认为 BNS 的温度敏感期是小花分化期到雌雄蕊分化期^[4,10],因此穗分化结果完全支持低结实率年份 BNS 进入感温期早,高结实率年份 BNS 进入感温期晚的生长发育机制。进入感温期晚,相当于推迟播种期。正是这种冬季温度影响下的生长发育差异,导致 BNS 进入温度敏感期的早晚差异,进而导致育性转换发生,从而影响到结实率。



a,b. 2016 年, 寒冬, 二棱后期和护颖分化初期 Late double ridge stage and glume differentiation stage in 2016(cold winter); c,d. 2017 年, 暖冬, 小花分化初期和中期 Early and middle floret differentiation stage in 2017(warm winter); e. 2014—2015 年, 暖冬, 10 月 1 日播期的不结实穗 The sterile ears without grain of BNS sown on Oct. 1 in 2014(warm winter); f. 2014—2015 年, 暖冬, 10 月 9 日播期, 中下部有小花结实 The sterile ears of BNS sown on Oct. 9 of 2014(warm winter), there are a few grains; g. 2015—2016 年, 寒冬, 中下部小花结实较多 The sterile ears of BNS sown in 2015(cold winter), there are more grains than in 2014; h. 2016—2017 年, 暖冬, 10 月 1 日和 9 日播期的 BNS, 均高度不育 High degree sterile ears of BNS sown on Oct. 1 and Oct. 9 in 2016(warm winter)

图 1 暖冬和寒冬年份不育播期的 BNS 在 3 月 5 日的穗分化时期和结实套袋的穗子

Fig. 1 Spike differentiation stages on March 5, and bagged ears of BNS sown in sterile sowing date in both years of warm and cold winter

表 3 2014—2015 至 2016—2017 年典型不育播期播种的 BNS 穗分化进程

Table 3 Spike differentiation process of BNS in typical sterile sowing dates from 2014—2015 to 2016—2017

年份 Year	播种期 Sowing date	观察日期 Observation date										抽穗期 Heading date
		12-03	12-10	02-28	03-05	03-12	03-19	03-26	03-29	03-31	04-02	
2014—2015	10-01	单棱中 Mid-SR	单棱末 Late-SR	小花初 Early-FD	小花中 Mid-FD	雌雄蕊初 Early-PSD	雌雄蕊中 Mid-PSD	药隔 AD	减数分裂 Meiosis	单核 Monuclear		04-12
	10-09	单棱初 Early-SR	单棱中 Mid-SR	护颖 GD	小花初 Early-FD	小花中 Mid-FD	雌雄蕊初 Early-PSD	药隔 AD	减数分裂前 Pre-Meiosis	减数分裂 Meiosis		04-13
2015—2016	10-01	单棱中 Mid-SR	单棱末 Late-SR	二棱末 Late-DR	护颖 GD	小花中 Mid-FD	雌雄蕊初 Early-PSD	药隔 AD	减数分裂前 Pre-Meiosis	减数分裂 Meiosis	单核 Monuclear	04-14
	10-09	单棱初 Early-SR	单棱中 Mid-SR	二棱中 Mid-DR	二棱末 Late-DR	护颖·小花 GD-FD	雌雄蕊中 Mid-PSD	药隔 AD	减数分裂前 Pre-Meiosis	减数分裂 Meiosis	四分体 Tetrad	04-15
2016—2017	10-01	单棱中 Mid-SR	单棱末 Late-SR	小花中 Mid-FD	小花后 Late-FD	雌雄蕊 PSD	药隔形成 AD	减数分裂前 Pre-Meiosis	减数分裂 Meiosis	单核 Monuclear		04-10
	10-09	单棱初 Early-SR	单棱中 Mid-SR	护颖 GD	小花中 Mid-FD	小花后 Late-FD	雌雄蕊中 Mid-PSD	药隔期 AD	减数分裂前 Pre-Meiosis	四分体 Tetrad		04-11

注: SR, 单棱; DR, 二棱; GD, 护颖; FD, 小花分化; PSD, 雌雄蕊分化; AD, 药隔形成。
Note: SR, single ridge; DR, double ridge; GD, glume differentiation; FD, floret differentiation; PSD, pistal and stamen differentiation; AD, anther differentiation.

3 讨论

BNS 是一个对温度敏感的“二型”小麦雄性不育系,典型不育播种期播种,花粉不育性稳定,不育彻底,但部分年份不育性波动严重。为了探明 BNS 不育性波动的成因,对近 6 a 的分期播种的 BNS 自交结实率 and 对应年份的冬春温度变化进行分析,得到有价值的结果。

3.1 年份间冬春温度改变显著影响 BNS 的育性转换

从观察结果可以看出,近 6 a 来,BNS 的自交结实率不是常数,6 a 的冬春温度也非一致。年份间同一时段温度变化是气温非周期性变化引起的。由于年份间总积温改变较小,近 30 a 不超过 $1\text{ }^{\circ}\text{C}^{[19]}$,因此,大气温度一定是一个时期较低,另一个时期较高。这种相互平衡的时期周期可能较短,如 1 个月内,也可能较长,如冬春之间,春夏之间等。这些改变对农作物来说,一般情况是影响生长发育速率进而影响到生育期,但对 BNS 来说,不仅影响生育期,而且影响育性转换。尤其是冬季温度不确定性改变,与春季温度配合,使 BNS 的自交结实率年份间出现显著差异。根据结果,一般规律和现象是,暖冬往往伴随春季总积温较低,BNS 育性不发生转换,自交结实率低;寒冬年份,往往伴随春季快速温度回升,有利 BNS 育性转换,提高 BNS 的自交结实率。

3.2 冬春温度变化影响结实率的机制是冬季生长发育的积累

当把冬春温度变化影响结实率的现象与 BNS 生长发育联系起来,不难理解这种现象的机制是冬季生长发育的积累引起的。在观察结果中可以看出,冬季高温,BNS 生长发育快,在冬季即完成了感温期前的发育,春季进入感温期早,如 2014—2015 和 2016—2017 年,此时气温较低,因此 BNS 的穗分化在较低温度下进行,因此表现不育;当冬季温度较低时,冬期 BNS 生长基本停止,感温期前的生长发育在开春后完成,因此进入温度敏感期晚,此时温度一定较高,有利于育性转换,从而表现育性波动。如 2015—2016 年的 BNS 发育。

3.3 冬春温度特征可用来预测不育期播种的 BNS 的自交结实率

根据冬春温度改变影响 BNS 育性转换和自交结实率的现象和规律,到 3 月中下旬即可初步

预测 BNS 的育性转换。负积温是反映冬季温度的最好指标。低负积温年份,BNS 冬季发育较快,预期 BNS 育性转换率低,应用安全;高负积温年份,意味着 BNS 冬季生长较慢,自交结实率有大的提高的风险。近 6 a 负积温的平均值为 $-38.8\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,极端值是 $-86.5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 和 $-3.6\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,负积温的高低可依据年平均值确定。另外,当冬季温度处于平均负积温水平时,春季温度就成为控制 BNS 自交结实率的决定因子,当春季温度回升正常或偏低,不育期播种的 BNS 预期育性转换度低,不育性利用安全,若 3 月上中旬温度较高,则预期育性转换率高,自交结实率将升高。

3.4 BNS 的感温期覆盖小花分化到花粉成熟

BNS 感温的基本特性是低温不育高温可育,但感温期的生长发育指标,各报道不完全一致。2009 年李罗江等^[4]最早观察认为 BNS 的感温期是小花原基分化期至雌雄蕊分化期,临界温度 $7.4\sim 11.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,王茂婷等^[10]观察认为感温期是雌雄蕊原基分化期和药隔期,临界温度 $8.4\sim 12.6\text{ }^{\circ}\text{C}$;张自阳等^[5]观察认为感温期是雌雄蕊分化期至四分体形成期,转换温度为 $8\sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这些差异,一方面可能来自观察年份,因为不同年份,冬春温度不同,BNS 的发育进程不同,因而有发育时期和临界温度的差异;另一方面也存在时间概念差异,李罗江等^[4]描述的是一个短时间段,即感温初期,其他的研究描述是一个长时段,即感温期。而对 BNS 来说,对温度的感应实际上覆盖小花分化到花粉成熟整个阶段,研究发现开花前 4 d 的温度对 BNS 的育性影响仍达显著水平^[11]。因此,前期观察研究的感温期和临界温度都是正确的。李罗江等^[4]的感温初期指标有重要意义,它的发育早晚决定幼穗分化所处的温度环境水平,较早进入感温期,后期的分化均在较低温度下,晚进入时,后期的分化一定在较高温度下,对育性的影响是显而易见的。

综上所述认为,BNS 是一个受温度控制的小麦雄性不育系,典型不育期播种的 BNS 一般育性较低,但个别年份自交结实率会显著提高。6 a 的 BNS 自交结实率和温度分布分析发现,暖冬可保持 BNS 高不育率,寒冬则提高 BNS 自交结实率,该现象的原因是冬季温度影响 BNS 越冬期生长,继而影响春季进入感温期的早晚,最后影响到结实率。该现象和机制不仅说明冬春温度变化改变

BNS 自交结实率的机理,而且可在 3 月下旬时预测当年 BNS 的育性转换程度,为后期人工实施调控措施,降低 BNS 利用风险,提供充足时间。

参考文献 Reference:

- [1] MURAI K, TSUTUI I, KAWANISHI Y, *et al.* Development of photoperiod-sensitive cytoplasmic male sterile (PC-MS) wheat lines showing high male sterility under long-day conditions and high seed fertility under short-day conditions[J]. *Euphytica*, 2008, 159(3): 315-323.
- [2] 黄惠芳, 鄂志国, 祁永斌, 等. 中国两系杂交稻的发展现状及光温敏雄性不育基因研究进展[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(5): 893-899.
HUANG H F, E ZH G, QI Y B, *et al.* Current situation for development of two-line hybrid rice in China and research progress of rice photoperiod-and thermo-sensitive genic male sterility gene[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2015, 27(5): 893-899.
- [3] 赵昌平. 中国杂交小麦研究现状与趋势[J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(2): 5-8.
ZHAO CH P. Status and trends of hybrid wheat research in China[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2010, 12(2): 5-8.
- [4] 李罗江, 茹振刚, 高庆荣, 等. BNS 小麦的雄性不育性及其温光特性[J]. 中国农业科学, 2009, 42(9): 3019-3027.
LI L J, RU ZH G, GAO Q R, *et al.* Male sterility and thermo-photosensitivity characteristics of BNS in wheat[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(9): 3019-3027.
- [5] 张自阳, 胡铁柱, 茹振钢, 等. 温敏核雄性不育小麦 BNS 的育性转换规律初探[J]. 河南农业科学, 2010(7): 5-9.
ZHANG Z Y, HU T ZH, RU ZH G, *et al.* A preliminary study on fertility alteration of thermo-sensitive genic male sterile wheat line BNS[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2010(7): 5-9.
- [6] 周美兰, 茹振钢, 骆叶青, 等. 两系小麦不育系 BNS 雄性育性的转换[J]. 核农学报, 2010, 24(5): 887-894.
ZHOU M L, RU ZH G, LUO Y Q, *et al.* Male fertility transformation of two-line wheat sterile lines BNS[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2010, 24(5): 887-894.
- [7] 张保雷, 张卫东, 高庆荣, 等. 温光敏雄性不育小麦 BNS 育性的遗传效应分析[J]. 中国农业科学, 2013, 46(8): 1533-1542.
ZHANG B L, ZHANG W D, GAO Q R, *et al.* Genetic analysis on male sterility of thermo-photo-sensitive male sterile line BNS in wheat[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(8): 1533-1542.
- [8] 刘玉平, 茹振刚, 陈希勇, 等. 小麦不育系 BNS 在石家庄地区育性转换规律的研究[J]. 河北农业科学, 2011, 15(6): 46-49.
LIU Y P, RU ZH G, CHEN X Y, *et al.* Study on fertility al-
- teration of wheat male sterile line BNS in Shijiazhuang[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2011, 15(6): 46-49.
- [9] 宁江权, 茹振刚, 郑炜君, 等. BNS 小麦雄性不育性表现及其恢复性的研究[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(4): 642-647.
NING J Q, RU ZH G, ZHENG W J, *et al.* Male sterility and restoration of thermo-photo-sensitive male sterile line BNS of common wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2011, 31(4): 642-647.
- [10] 王茂婷, 高庆荣, 孙正娟, 等. BNS 小麦穗分化进程与其雄性不育性的表现[J]. 分子植物育种, 2011, 9(3): 294-301.
WANG M T, GAO Q R, SUN ZH J, *et al.* Spike differentiation process and the male sterility of BNS in wheat[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2011, 9(3): 294-301.
- [11] 杜黎君, 孙海燕, 苏 晴, 等. 15 ℃ 以上平均气温显著影响温敏雄性不育小麦 BNS 的育性转换[J]. 中国农业气象, 2016, 37(5): 555-563.
DU L J, SUN H Y, SU Q, *et al.* Average temperature above 15 ℃ significantly affect fertility conversion of thermo-sensitive male sterile wheat BNS[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2016, 37(5): 555-563.
- [12] 廖伏明, 袁隆平, 杨益善. 水稻实用光温敏核不育系培矮 64S 不育性稳定化研究[J]. 中国水稻科学, 2001, 19(1): 1-6.
LIAO F M, YUAN L P, YANG Y SH. Sterility purification of the photo-thermo sensitive genic male sterile rice line Pei'ai 64S[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2001, 19(1): 1-6.
- [13] 秦志英, 杨 靖, 马亚朝, 等. BNS 小麦雄性不育系育性的稳定性和波动性[J]. 西北农业学报, 2013, 22(4): 39-43.
QIN ZH Y, YANG J, MA Y CH, *et al.* Stability and variability of male infertility of wheat BNS line [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2013, 22(4): 39-43.
- [14] 肖文静. 国内外杂交小麦研究概况及发展趋势[J]. 北京农业, 2014(3): 11-13.
XIAO W J. Study and development trend of hybrid wheat at home and abroad [J]. *Beijing Agriculture*, 2014(3): 11-13.
- [15] 毛秋云. 农作物种子质量标准(2008)[J]. 农家参谋种业大观, 2011(2): 16-17.
MAO Q Y. Quality Standards for Crops Seed (2008) [J]. *Farmers' Participation in Seed Industry*, 2011(2): 16-17.
- [16] 王凤平, 梅明华, 徐才国, 等. 光敏核不育水稻农垦 58S 与正常品种“农垦 58”在 pms1 区段无育性基因分离[J]. 植物学报, 1997, 39(10): 922-925.
WANG F P, MEI M H, XU C G, *et al.* pms1 is not the locus relevant to fertility difference between the photoperiod-sensitive male sterile rice Nongken 58s and normal rice “Nongken 58”[J]. *Acta Botanica Sinica*, 1997, 39(10): 922-925.
- [17] 南京农业大学. 田间试验和统计方法(第 2 版)[M]. 北京: 农业出版社, 1979: 96-100.

Nanjing Agricultural University. Field Experiment and Statistical Methods(2nd edition)[M]. Beijing:China Agricultural Press,1979:96-100.

[18] 崔金梅,吉凌芬. 冬小麦幼穗分化不同时期形态特征的图解[J]. 植物学通报,1985,3(4):60-64.

CUI J M,JI L F. Illustration of morphological characteristics of winter wheat spike differentiation at different stages

[J]. *Chinese Bulletin in Botany*,1985,3(4):60-64.

[19] 任国玉,初子莹,周雅清,等. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究,2005,10(4):701-716.

REN G Y,CHU Z Y,ZHOU Y Q,*et al.* Recent progresses in studies of regional temperature changes in China[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2005, 10(4): 701-716.

Study on Significant Effects of Temperature Changes in Winter and Spring on Fertility Conversion in Wheat Thermo-sensitive Male Sterile Line BNS

QIN Zhiying^{1,2},SUN Haiyan¹,FU Qingyun¹, WEI Xiao¹,
BA Aili¹, RU Zhengang¹ and LI Youyong¹

(1. Henan Institute of Science and Technology/Collaborative Innovation Center of Modern Biological Breeding, Xinxiang Henan 453003,China;2. Xinxiang Xinliang Ccereals and Oil Processing Co. ,Ltd. ,Xinxiang Henan 453200,China)

Abstract During the stage of pollen development, BNS is a new type of wheat male sterile line that is mainly controlled by low temperature of <8 ℃, BNS would develop sterile. when temperature is high (>12 ℃), it can converse its pollen into fertile itself. Generally, BNS’ sterility is stable, but in some years, it can change, even significantly change. In order to clarify the reason why BNS changes its sterility, both of parameters of BNS self-fertility rate and winter / spring temperature in recently 6 years were investigated and analyzed, and the spike differentiation process of BNS sown in different dates was observed for 3 consecutive years. The results showed that, in the year of warm winter, BNS’ self-fertilization rate was low, and in the year of cold winter, the self-fertility rate was high. In the year of warm spring, the self-fertility rate was high, and cold spring, it low. This phenomenon was caused mainly by the different growth and development of BNS in winter. In warm winter, BNS growth and development did not stop, in the Spring, BNS had completed pre-development of temperature-sensitive period. At this time, the atmosphere temperature was low, so BNS developing was infertile. However, in the year of cold winter, BNS’ growth was slow. In spring, before it developed into temperature-sensitive period, BNS needed another some days to grow for completing pre-development. Therefore, when BNS developed into temperature-sensitive period, the atmosphere temperature was high that could induce the line fertility conversion, and the self-fertility rate must increase. The differential development of BNS in winter was validated in spike differentiation observation. This growth and development mechanism satisfactorily explained the fluctuation of temperature on BNS self-fertility rate, and self-fertility rate, sterility of BNS could be predicted correctly according to temperature in winter and spring.

Key words Wheat; BNS male sterility; Self-fertility rate; Temperature; Warm winter; Cold winter

Received 2017-09-05 **Returned** 2017-10-23

Foundation item Basic and Frontier Plan of Henan(No. 122300410011, No. 162300410136).

First author QIN Zhiying, female, assistant agronomist. Research area: wheat genetic breeding. E-mail: qin. zhiying@163. com

Corresponding author LI Youyong, male, professor. Research area: genetic breeding and biotechnology of crops. E-mail: liyouyong@hist. edu. cn

(责任编辑: 成 敏 **Responsible editor: CHENG Min**)