

网络出版时间:2015-03-12 14:17

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.04.034

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150312.1417.034.html>

小麦温敏雄性不育系 BNS 的遗传稳定性及恢复性

范晓静, 马小飞, 王震, 李雪垠, 张芳凝, 李桂冬, 张淼, 申芳嫡, 马翎健

(西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】研究小麦温敏雄性不育系 BNS 的遗传稳定性和恢复性。【方法】采用 BNS 分期播种(2011-10-08、10-28、11-11 及 2012-02-13、03-12)、BNS 与常规品种(680 个)测交、BNS 与 YS 型温敏雄性不育系 732A 正反交等方法, 研究 BNS 的遗传稳定性、可恢复性及其与其他温敏不育系的关系。【结果】(1)随播期的延迟 BNS 自交结实率逐渐提高, 国际法、国内法计算的自交结实率分别为 18%~126% 和 7%~79%, 但晚春播(2012-03-12)小麦育性较早春播(2012-02-13)下降; 不同播期的自交种正常秋播, 自交结实率均很低且保持稳定, 国际法、国内法计算的自交结实率分别为 11%~18% 和 3%~6%; 随着播期的延后, 孕穗期至抽穗期缩短明显, 由 19 d 缩短为 9 d。(2)在正常秋播的 BNS 小麦中发现的 3 株完全可育株(BNSB1、BNSB2 和 BNSB6), 单株收获并正常秋播, 各群体均为完全可育株, 自交结实率与小偃 22 接近。(3)测交的 680 个组合的杂种 F₁ 中, 16 个组合自交结实率(国际法)达到 90% 以上, 占总组合的 2.35%, 其中 7 个组合自交结实率达到 100%(国际法)以上, 且超过对应父本的自交结实率。(4)BNS 与 732A 的正反交 F₁ 均自交可育, 自交结实率(国际法)分别为 38.89% 和 40.63%, 且 732A 的强恢复系均不能成为 BNS 的恢复系。【结论】小麦的温敏雄性不育系 BNS 的温敏不育特性可稳定遗传, 是非 K 型细胞质的不育类型小麦。

【关键词】 温敏雄性不育系; BNS 小麦; BNSB 小麦; 732A 小麦; 遗传特性; 恢复性; 等位性

【中图分类号】 Q343.3⁺4

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)04-0053-06

Hereditary stability and restoration of thermo-photo-sensitive male sterile line BNS of wheat (*Triticum aestivum* L.)

FAN Xiao-jing, MA Xiao-fei, WANG Zhen, LI Xue-yin, ZHANG Fang-ning,
LI Gui-dong, ZHANG Miao, SHEN Fang-di, MA Ling-jian

(College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This paper investigated the hereditary stability and restoration of wheat male sterile line BNS. 【Method】 Sowing of BNS at different dates (2011-10-08, 2011-10-28, 2011-11-11, 2012-02-13, and 2012-03-12), crossing of BNS with 680 conventional cultivars, and reciprocal crossing between BNS and YS type thermo-photo-sensitive male sterile line 732A were conducted to study the hereditary stability and restoration of BNS, and the relationship between BNS and other thermo-photo-sensitive male sterile lines. 【Result】 (1) As the delay of sowing date, the booting stage to heading stage reduced significantly ranging from 19 to 9 d with the increasing self-seed rates of BNS, 18%—126% (international) and 7%—79% (national). However, the self-seed rate of BNS sowed in late spring was lower than that in early spring. The self-seed rates from different sowing dates were low and stable, 11%—18% (international) and 3%—6% (national). (2) Three fully fertile plants BNSB1, BNSB2 and BNSB6 were found from BNS

【收稿日期】 2013-11-21

【基金项目】 国家科技支撑计划项目(2011BAD35B03); 西北农林科技大学基础科研业务费项目(ZD2012001)

【作者简介】 范晓静(1988—), 女, 陕西渭南人, 在读硕士, 主要从事小麦雄性不育研究。E-mail: fanxiaojing-ok@163.com

【通信作者】 马翎健(1967—), 男, 陕西榆林人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事小麦雄性不育机理及杂种优势利用研究。E-mail: malingjian@nwsuaf.edu.cn

sowed in autumn and all populations were also fully fertile plants after harvest and normal sowing in autumn. Their self-seed rates were close to that of Xiaoyan 22. (3) A total of 16 restorer lines with restoring rate up to 90% (international) were selected from the 680 combinations, accounting for 2.35% of the total. 7 out of the 16 restorer lines with restoring rate up to 100% (international) were higher than their male parents. (4) F_1 of reciprocal cross between 732A and BNS were all fully fertile plants with international self-seed rates of 38.89% and 40.63%, respectively, and promising restorer lines of 732A were not selected as the restorer lines of BNS. There were no allelic male sterile genes between BNS and 732A.

【Conclusion】 The thermo-sensitive male sterile characteristic of BNS can be inherited stably. BNS was non K type male sterile wheat line.

Key words: thermo-photo-sensitive male sterile line; BNS wheat; BNSB wheat; 732A wheat; heredity; restorative; allelism

小麦作为世界第二大粮食作物,在世界粮食安全中起着至关重要的作用。杂种优势利用是提高作物产量的重要途径之一^[1-2]。早在 1919 年,Free-man 报道了杂种 F_1 代的株高一般都超过其双亲的杂种优势现象。1951 年,日本学者 Kihara 将普通小麦细胞核导入尾形山羊草中产生小麦雄性不育系(CMS),从此人们开始了小麦杂种优势利用的研究^[3-4]。目前,小麦杂种优势利用研究主要集中于三系法(核质互作雄性不育)、化杀法(化学杀雄技术)和两系法(光温敏雄性不育)^[5]。与前 2 种方法相比,两系法具有明显的优点,如不需要保持系、一系两用、不存在异源细胞质对农艺性状的负效应、操作简单、杂交制种成本低等^[6-7]。光温敏雄性不育小麦根据光温反应特性可以分为 3 类:(1)受光周期影响的光敏感雄性不育型,如 PCMS^[8-9]、A31^[10]、901S^[11]等;(2)受温度控制的温敏型雄性不育型,如 LT-1-3A^[12]、C86S^[5]、A3314^[13]等;(3)同时受光照和温度影响的雄性不育型,如 CS^[14]系列和 ES^[15]系列。国内目前已利用优良的温(光)敏雄性不育系培育出了很多优良的杂交种,如绵阳 32^[16]、云杂系列品种^[17]等,在小麦生产中发挥了重要作用。

BNS 生态型小麦雄性不育系是河南科技学院利用 52-24 小麦与 BNY-S 杂交得到的,与温度敏感的小麦自然突变体 BNY-S 相比,育性完全,因此可能在未来的小麦杂交育种中发挥更大的作用^[18]。但目前选育出的 BNS 恢复系较少,而且有关 BNS 不育系与其他不育类型的不育基因等位性关系也不明确。为此,本研究采用 BNS 分期播种,以及与常规品种测交、BNS 与 YS 型温敏雄性不育系 732A 正反交等方法,探讨 BNS 的遗传稳定性、可恢复性及其与其他温敏不育系的关系,为温敏雄性不育系小麦生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

BNS 小麦温光敏雄性不育系由河南科技学院茹振钢教授惠赠;BNSB 是在纯合的正常秋播 BNS 不育群体中发现的稳定可育株;680 个小麦常规品种(系)、YS 型温敏雄性不育系 732A,均来自于西北农林科技大学农学院。

1.2 BNS 的分期播种及稳定性试验

本研究所有试验均在西北农林科技大学北校区试验田进行。采用分期播种试验方法,将 BNS 不育系材料分别于 2011-10-08(正常秋播),10-28,11-11 及 2012-02-13(早春播)和 03-12(晚春播)分期播种,共 5 个播期,每个播期种 10 行,栽培管理同大田。2012 年调查孕穗期、抽穗期和开花期,在群体开花前每行套袋 10 穗,调查自交结实率,并收获各分期播种的种子。2012 年秋将各分期播种种子均正常秋播,各种 2 行;2013 年开花前将所有单株主茎穗套袋,调查自交结实率。

1.3 BNSB 的来源探究

在 2011 年正常秋播 BNS 群体中收获 6 株完全可育株。2012 年秋季将各单株种植成株系,分别命名为 BNSB1、BNSB2、BNSB3、BNSB4、BNSB5 和 BNSB6。2013 年开花前将所有单株主茎穗套袋,调查自交结实率。

1.4 BNS 恢复系的测交筛选

2012-05 以温光敏雄性不育系 BNS 为母本,与国内不同生态区的 680 个小麦常规品种(系)(含 732A 的 99 个强恢复系)杂交。每个杂交组合配制 15 穗,6 月份收获种子。2012 年秋将杂种 F_1 和亲本同时种植,单行区,不设重复。2013 年在群体开花前选取主茎穗,每行套袋 10 穗,调查自交结实率。

1.5 BNS 与 732A 不育基因的等位性测验

2012 年 4 月下旬将正常秋播的 BNS 和 732A 不育系各主茎套袋 15 穗,5 月中旬分别与早春播的 732A 和 BNS 可育株杂交,即 BNS 与 732A 正反交,6 月份收获种子。2012 年秋季将 F₁ 种植成群体。2013 年在开花前将所有单株主茎穗套袋,调查自交结实率。

1.6 结实率调查与数据分析

结实率计算分为国际法和国内法 2 种:

结实率(国际法) = (穗粒数 / (小穗数 × 2)) × 100%;

结实率(国内法) = (每小穗基部 2 朵小花结实数 / (小穗数 × 2)) × 100%。

采用 Excel 2007 及 SPSS 19.0 对试验结果进行计算分析。

2 结果与分析

2.1 不同播期 BNS 的生育期及育性表现

由表 1 可知,2011-10-08 正常秋播的自交结实

率最低,仅为 18%(国际法)和 7%(国内法);2012-02-13 早春播的自交结实率最高,达到 126%(国际法)和 79%(国内法);2012-03-12 晚春播的自交结实率较早春播有所降低,为 73%(国际法)和 60%(国内法)。说明 BNS 自交结实率随播期的延迟逐渐提高,但晚春播会降低其育性。不同播期处理所获得的套袋自交种正常秋播,次年自交结实率均很低,且保持稳定,结实率为 11%~18%(国际法)和 3%~6%(国内法)。说明播期只能影响 BNS 当代种子育性,与后代种子育性无关。

随着播期的延后小麦的整个生长周期缩短,早春播和晚春播分别比正常秋播小麦的生长周期缩短了 90 和 120 d。播期的延后使孕穗期、抽穗期和开花期均往后推移,孕穗期至抽穗期时间也逐渐缩短,2011-10-08、10-28、11-11 及 2012-02-13、03-12 播种小麦孕穗期至抽穗期时间分别为 19,13,11,10 和 9 d,变化范围较大;抽穗期至开花期时间也发生变化,分别为 13,11,10,10 和 10 d,变化范围不大。说明孕穗期至抽穗期可能是影响 BNS 育性的关键时期。

表 1 不同播期 BNS 的生育期及育性表现

Table 1 Growth stages of BNS with different sowing dates

播期 Sowing date	孕穗期 Booting	抽穗期 Heading	开花期 Flowering	BNS 自交结实率/% Self-seed rate of BNS		自交种(正常秋播)次年结实率/% Self-seed rate in the following year	
				国际法 International	国内法 National	国际法 International	国内法 National
				2011-10-08	03-28	04-16	04-29
2011-10-28	04-06	04-19	04-30	52	36	16	6
2011-11-11	04-17	04-28	05-08	91	63	13	3
2012-02-13	05-02	05-12	05-22	126	79	18	6
2012-03-12	05-04	05-13	05-23	73	60	13	4

2.2 BNSB 的来源探究

将 2011 年正常秋播的 BNS 群体中收获的 6 株

完全可育株在 2012 年正常秋播后,其自交结实率见表 2。

表 2 BNSB 的自交结实率

Table 2 Self-crossing seed rate of BNSB

材料 Material	调查群体数量 Number of groups	自交结实率/% Self seed ratio		T 值 T value	
		国际法 International	国内法 National	国际法 International	国内法 National
BNSB1	78	82.17	50.88	21.40	15.47
BNSB2	63	116.51	76.67	65.82	43.20
BNSB3	64	6.67	2.03	1.69	1.13
BNSB4	89	15.82	7.01	2.39**	2.45**
BNSB5	58	5.32	2.11	1.54	1.14
BNSB6	75	69.82	47.79	35.83	22.00
BNS	58	13.00	6.00	2.88	2.31
小偃 22 Xiaoyan 22	15	109.62	76.03	63.19	40.92

注: ** . 群体自交结实率差异显著。

Note: ** . Mean significant difference of self-crossing seed.

由表 2 可知,BNSB1、BNSB2、BNSB6 的群体均为可育群体,各群体结实率稳定,其中 BNSB2 群体的自交结实率最高,达到了 116.51%(国际法)和

76.67%(国内法),略高于常规品种小偃 22;BNSB1 和 BNSB6 群体自交结实率略低于常规品种小偃 22,但远高于正常秋播的 BNS 小麦。BNSB4 群体

整体可育,但自交结实率不高,国内法结实率低于 10%,国际法仅为 15.82%,且整个群体采用国际法和国内法计算的自交结实率差异显著。BNSB4 群体自交结实率与正常秋播的 BNS 不育系自交结实率差异不明显。BNSB5 和 BNSB3 群体育性较 BNS 小麦更稳定,国际法和国内法自交结实率均比正常秋播的 BNS 小麦低。

2.3 BNS 恢复系的筛选

由表 3 可知,680 个杂交组合中 F_1 自交结实率(国际法) $\leq 50\%$ 以下的组合有 619 个(含 732A 的 99 个强恢复系),占总组合的 91.03%,其中自交结实率 $\leq 10\%$ 的组合有 513 个,说明 680 个材料中大部分都不能恢复 BNS 的不育性;自交结实率(国际法) $> 50\%$ 的组合有 61 个, $> 90\%$ 的组合有 16 个,占总组合的 2.35%,说明仅有极少数材料可以恢复 BNS 的不育性。

由表 4 可知, F_1 自交结实率(国际法)达到 90%

表 4 自交结实率(国际法) $> 90\%$ 的 16 个 F_1 组合及其相应父本的结实率

Table 4 Seed ratios of male parent and F_1 hybrids of 16 recombinations (seed rate $> 90\%$) in 2012

F_1 组合名称 F_1 hybrid	杂种 F_1 的自交结实率/% Self seed rate of F_1		对应父本 Male parent	相应父本的自交结实率/% Self seed rate of male parents	
	国际法 International	国内法 National		国际法 International	国内法 National
	BNS/陕农 70 BNS/Shaanong 70	122.22		88.89	陕农 70 Shaanong 70
BNS/武农 6 号 BNS/Wunong 6	112.50	82.50	武农 6 号 Wunong 6	110.54	78.25
BNS/中麦 349 BNS/Zhongmai 349	113.16	76.32	中麦 349 Zhongmai 349	106.23	79.34
BNS/现农 1 号 BNS/Xiannong 1	94.44	55.56	现农 1 号 Xiannong 1	93.68	70.66
BNS/天麦 989 BNS/Tianmai 989	134.72	93.06	天麦 989 Tianmai 989	108.998	3.52
BNS/淮麦 05155 BNS/Huaimai 05155	127.63	79.50	淮麦 05155 Huaimai 05155	103.43	78.93
BNS/98343-3	115.00	65.00	98343-3	102.11	80.23
BNS/009Y37	94.12	58.82	009Y37	99.87	79.63
BNS/荔高 6 号 BNS/Ligao 6	129.41	85.29	荔高 6 号 Ligao 6	101.89	80.12
BNS/10ZC02	90.48	66.67	10ZC02	97.74	76.53
BNS/10ZC03	97.50	67.50	10ZC03	99.32	76.34
BNS/群喜 1 号 BNS/Qunxi 1	94.44	63.89	群喜 1 号 Qunxi 1	96.37	78.84
BNS/洛麦 24 BNS/Luomai 24	97.83	58.70	洛麦 24 Luomai 24	90.26	73.92
BNS/西农 9062 BNS/Xinong 9062	93.81	76.43	西农 9062 Xinong 9062	121.18	76.03
BNS/K460	91.38	67.22	K460	106.54	84.15
BNS/N9209	91.67	68.79	N9206	114.68	79.49

2.4 BNS 和 732A 不育基因的等位性

本试验 BNS 与 732A 正反交结实性的差异情

表 5 BNS 与 732A 正反交结实性的差异

Table 5 Difference in seed rates of F_1 hybrids between the crossing and reciprocal crossing of BNS and 732A

正交群体 Group of crossing				反交群体 Group of reciprocal crossing			
调查群体 Number of groups	结实率/% Seed rate			调查群体 Number of group	结实率/% Seed rate		
	国际法 International	国内法 National			国际法 International	国内法 National	
64	38.89	35.66		53	40.63	34.86	

由表 5 可以看出,732A/BNS 的 F_1 正交群体共 64 株,均表现可育,结实率为 38.89%(国际法)和 35.66%(国内法); F_1 反交群体共 53 株,也均表现

以上的 16 个组合中,有 7 个组合的自交结实率超过了 100%,且超过了父本的自交结实率,分别为 BNS/陕农 70、BNS/武农 6 号、BNS/中麦 349、BNS/天麦 989、BNS/淮麦 05155、BNS/98343-3 和 BNS/荔高 6 号,其中 BNS/天麦 989 的 F_1 自交结实率最高,达到 134.72%(国际法)和 93.06%(国内法)。说明这 16 个材料可以作为 BNS 较好的恢复源,有进一步研究利用价值。

表 3 BNS 与常规品种杂交 F_1 代自交结实率(国际法)的分布

Table 3 Self-seed rate (international method) distribution of F_1 of BNS and conventional cultivars

F_1 自交结实率/% F_1 self seed rate	F_1 个数 F_1 number	所占比例/% Proportion
≤ 10	513	75.45
$> 10 \sim \leq 30$	78	11.47
$> 30 \sim \leq 50$	28	4.12
$> 50 \sim \leq 70$	26	3.82
$> 70 \sim \leq 90$	19	2.79
> 90	16	2.35

况如表 5 所示。

可育,结实率为 40.63%(国际法)和 34.86%(国内法)。说明 BNS 和 YS 型温敏雄性不育系 732A 的不育基因为非等位基因。BNS 与 YS 型温敏雄性不

育系的 99 个强恢复系杂交,其 F_1 的自交结实率均小于 50%。因此 YS 型温敏雄性不育系的恢复系不能有效地恢复 BNS 的育性,更进一步可以说明 YS 型温敏雄性不育系 732A 与 BNS 的不育基因为非等位基因。

3 讨 论

本研究中,BNS 自交结实率随播期的延迟呈渐趋提高的态势,但是晚春播会降低其育性,这可能是因为晚春播 BNS 小麦生长周期太短,其生理生长和生殖生长时期都缩短,导致麦穗小,顶端不结实。不同播期 BNS 收获的自交种子正常秋播后仍表现较好的不育性,说明播期只能影响 BNS 当代种子育性,并未影响其温敏不育特性。播期的延后会使 BNS 孕穗期至抽穗期的时间逐渐缩短,对抽穗期至开花期时间影响不大,因此推测孕穗期至抽穗期可能是影响 BNS 育性的关键时期。

在所获得的 BNSB 材料中,BNSB3、BNSB4 和 BNSB5 子代育性很低,与同年正常秋播 BNS 材料育性差异不大,推测此 3 个株系的获得有以下 2 种可能:(1)BNS 小麦接受其他品种(系)花粉所得;(2)BNS 在特殊年间的表达差异所致。BNS 小麦雄性不育系的育性表现相对较为稳定,但因年份间的温度变化常产生自交结实现象。所以推测 BNSB3、BNSB4 和 BNSB5 仍然是 BNS 植株。BNSB1、BNSB2 和 BNSB6 为连续 2 年自交结实率均达到常规品种自交结实水平、农艺性状与 BNS 相同且群体稳定的材料,推测这 3 种材料的获得可能是 BNS 纯合自交系在遗传过程中发生基因突变,即 BNSB1、BNSB2 和 BNSB6 可能为新的变异材料,需要进一步研究其与 BNS 的关系。

在 680 个恢复性测交组合中仅筛选到 16 个恢复度较高的杂交组合,其 F_1 自交结实率(国际法)达到 90% 以上,占总组合的 2.35%,说明对 BNS 恢复性强的小麦品种(系)较少。李罗江等^[19]研究发现,BNS 雄性不育的恢复源较为普遍,但恢复性强的品种(系)并不多,目前仅发现山农 055525 对 BNS 具有较强的恢复能力。宁江权等^[20]研究表明,测交的 78 个杂种 F_1 组合中仅 BNS/9833、BNS/SN-055525 和 BNS/CL0442 的自交结实率较高,分别为 118.54%,104.564% 和 102.021%。张自阳^[21]在 26 个材料中筛选到 3 个 BNS 恢复系,分别为川麦 41、绵阳 33 和 SN014975,且 3 个组合的育性达到了正常对照水平。BNS 的强恢复系比较少,这与本研

究结论一致。王茂婷^[22]研究表明,BNS 的雄性不育性受 2 对主基因和多基因的共同控制,2 对主基因对育性的遗传影响较大,其加性效应远远大于显性效应,说明 BNS 的育性不易恢复,与本研究结论一致。

肖海峰等^[23]研究表明,YS 型不育系 732A 育性转换主要是由温光条件的明显改变而引起的,因而其具有温光敏感特性。张保雷等^[24]通过遗传效应分析,发现 BNS 也存在一定的胞质效应。732A 与 BNS 的温敏表现一致,对二者不育基因等位性进行探究,可以很好地理清 2 个不育系之间的关系,为选育优良温敏不育系奠定良好基础。本研究中 BNS 与 732A 的正反交 F_1 代自交结果显示,正反交 F_1 代均为可育株,只是育性恢复度比较低,说明 732A 与 BNS 的不育基因为非等位关系。而 732A 的 99 个强恢复系中没有一个是能有效恢复 BNS 的育性,从另一方面也证实 732A 与 BNS 的不育基因为非等位关系,说明 BNS 是非 K 型细胞质的小麦不育类型。目前关于这方面的研究还未见报道,因此需要进一步深入探究 BNS 不育基因的来源及遗传特性。

4 结 论

播期延后只能提高 BNS 当代种子育性,BNS 的温敏不育特性仍稳定遗传;孕穗期至抽穗期可能是影响 BNS 小麦结实率的关键时期;BNS 小麦雄性不育系的育性表现相对较为稳定,但因年份间的温度变化常产生自交结实现象,BNSB1、BNSB2 和 BNSB6 可能为新的材料,需要进一步研究;对 BNS 恢复性强的品种(系)较少。732A 与 BNS 的不育基因为非等位关系,BNS 是非 K 型细胞质的不育类型小麦。

[参考文献]

- [1] Cox T S. Genetic improvement in milling and baking quality of hard red wheat cultivars [J]. *Corp Sci*, 1989, 29(3): 626-631.
- [2] Kramer T H. A comparison of soft red winter wheat F_2 population, their F_1 hybrids and parents [J]. *Prod Agr*, 1990, 3(3): 363-367.
- [3] 黄铁城. 杂种小麦研究进展 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
Huang T C. Research progress in hybrid wheat [M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993. (in Chinese)
- [4] 姚景珍, 张建诚, 王秋叶. CHA 杂种小麦国内外研究进展与现状 [J]. *现代农业科技*, 2006, 6(2): 56-58.
Yao J Z, Zhang J C, Wang Q Y. Research progress and situation of CHA hybrid wheat in the world [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2006, 6(2): 56-58. (in Chinese)

- [5] 谭昌华,余国东,杨沛丰,等. 重庆温光型核不育小麦的不育性研究初报 [J]. 西南农学报, 1992, 5(1): 1-4.
Tan C H, Yu G D, Yang P F, et al. Preliminary study on sterility of thermo-photo-sensitive genic male sterile wheat in Chongqing [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 1992, 5(1): 1-4. (in Chinese)
- [6] Reddy O U K, Siddiq E A, Sarma N P, et al. Genetic analysis of temperature sensitive male sterility in rice [J]. Theor Appl Genet, 2000, 100: 794-801.
- [7] Lopez M T, Virmani S S. Development of TGMS lines for developing two-line rice hybrids for the tropics [J]. Euphytica, 2000, 114: 211-215.
- [8] Sasakuma T I, Ohtsuka. Cytoplasmic effects of *Aegilops* species having D2 genome in wheat: I. Cytoplasmic differentiation among five species regarding pistillody induction [J]. Seiken Zihoh, 1979, 28: 59-65.
- [9] Murai K, Tsumewaki K. Photoperiod sensitive cytoplasm male sterility in wheat with *Aegilops crassa* cytoplasm [J]. Euphytica, 1993, 67: 41-48.
- [10] 何蓓如,董普辉,马翎健,等. 光敏小麦雄性不育系 A31 雄性育性对光周期的反应 [J]. 作物学报, 2004, 30(11): 1176-1178.
He B R, Dong P H, Ma L J, et al. The response of the male sterility of A31 to photoperiod [J]. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30(11): 1176-1178. (in Chinese)
- [11] 张少华,杨赞林,甘斌杰. 小麦光敏不育系统 901S 研究初报 [J]. 安徽农业大学学报, 1995, 23(2): 97-99.
Zhang S H, Yang Z L, Gan B J. Study of PTS male sterile wheat 901S [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 1995, 23(2): 97-99. (in Chinese)
- [12] 赵凤梧,李慧敏,李爱国. 冬小麦温敏型雄性不育系 LT-1-3A 选育及育性转换与遗传研究 [J]. 核农学报, 2001, 5(2): 65-67.
Zhao F W, Li H M, Li A G. Development, fertility transition and fertility inheritance of a thermo-sensitive male sterile of winter wheat (LT-1-3A) [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2001, 5(2): 65-67. (in Chinese)
- [13] 何蓓如,董普辉,宋喜悦,等. 小麦温度敏感不育系 A3314 温敏特性研究 [J]. 麦类作物学报, 2003, 23(1): 1-6.
He B R, Dong P H, Song X Y, et al. Study on the thermo-sensitivity of male-sterile wheat line A3314 [J]. Journal of Triticeae Crops, 2003, 23(1): 1-6. (in Chinese)
- [14] 张建奎,刘刚,冯丽,等. 温光敏细胞核雄性不育小麦 C49S 的育性及其适应性分析 [J]. 麦类作物学报, 2002, 22(2): 38-41.
Zhang J K, Liu G, Feng L, et al. Analysis of the fertility and its adaptability of thermo-photo-sensitive genic male sterile wheat line C49S [J]. Journal of Triticeae Crops, 2002, 22(2): 38-41. (in Chinese)
- [15] 吴秋云,何觉民,罗红兵,等. 生态雄性不育小麦 ES-50 育性转换机制的研究 [J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2011, 27(2): 89-91.
Wu Q Y, He J M, Luo H B, et al. Mechanism of fertility alter-
- ation of ecological male sterile wheat ES-50 [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2011, 27(2): 89-91. (in Chinese)
- [16] 庞启华,黄光永,李生荣,等. 两系杂交小麦绵阳 32 的选育及其配套技术 [J]. 中国种业, 2003(12): 50-51.
Pang Q H, Huang G Y, Li S R, et al. Breeding and supporting technology of two line hybrid wheat Mianyang 32 [J]. China Seed Industry, 2003(12): 50-51. (in Chinese)
- [17] 杨木军,顾坚,周金生. 温光敏两系杂交小麦新组合-云杂 3 号 [J]. 麦类作物学报, 2003, 23(3): 152.
Yang M J, Gu J, Zhou J S. The new combination of thermo-sensitivity of Male-sterile wheat line Yunza 3 [J]. Journal of Triticeae Crops, 2003, 23(3): 152. (in Chinese)
- [18] 姬俊华,茹振钢,张改生. 小麦温敏雄性不育系 BNY 的花粉育性及自交结实性研究 [J]. 麦类作物学报, 2004, 24(2): 24-26.
Ji J H, Ru Z G, Zhang G S, et al. Study on pollen fertility and selfed seedset of thermo-sensitive male sterile wheat line BNY [J]. Journal of Triticeae Crops, 2004, 24(2): 24-26. (in Chinese)
- [19] 李罗江,茹振钢,高庆荣,等. 小麦雄性不育系 BNS 及其杂种 F₁ 的育性分析 [J]. 麦类作物学报, 2009, 9(4): 583-587.
Li L J, Ru Z G, Gao Q R, et al. Analysis on the fertility of wheat male-sterile line BNS and its F₁ hybrids [J]. Journal of Triticeae Crops, 2009, 9(4): 583-587. (in Chinese)
- [20] 宁江权,茹振钢,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 Z G, Zheng W J, et al. Male sterility and restoration of thermo-photo sensitive male sterile line BNS of common wheat (*Triticum Aestivum* L.) [J]. Journal of Triticeae Crops, 2011, 31(4): 642-647. (in Chinese)
- [21] 张自阳. 小麦温敏核雄性不育系 BNS 育性转换规律及其恢复性研究 [D]. 河南新乡: 河南科技学院, 2010.
Zhang Z Y. Fertility changing and restoration of thermo-sensitive genic male sterile wheat line BNS [D]. Xinxiang, Henan: Henan Institute of Science and Technology, 2010. (in Chinese)
- [22] 王茂婷. BNS 小麦雄性不育性恢复基因遗传特性和 QTL 初步定位 [D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2011.
Wang M T. Genetic analysis and QTL preliminary mapping for fertility of BNS [D]. Taian, Shandong: Shandong Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- [23] 肖海峰,解松峰,丁朋辉,等. 两种不同类型 K 型细胞质不育系的初步研究 [J]. 华北农学报, 2010, 25(5): 99-103.
Xiao H F, Xie S F, Ding P H, et al. The study of k-cytoplasmic male sterile lines in two different types [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2010, 25(5): 99-103. (in Chinese)
- [24] 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. (in Chinese)