

K 型温敏雄性不育系 KTP116A 育性转换规律的研究

钱焕焕, 张玲丽, 胡 甘, 宋喜悦

(西北农林科技大学农学院, 杨凌 712100)

摘要:基于两系杂交小麦系统的 K 型(*Aegilops kotshyi*) 细胞质小麦温敏雄性不育系, 在中国北方小麦正常生长季节表现完全雄性不育, 可用于杂交小麦种子生产, 在反季节播种表现育性部分恢复, 是一类非常有利用价值的小麦温敏雄性不育系。本研究以小麦温敏雄性不育系 KTP116A 为材料, 采用人工气候箱控温和涂抹法压片的方法对其育性转换的关键时期及败育的花粉发育过程进行更为精细的研究。研究发现, KTP116A 可育环境下能正常进行减数分裂并发育为成熟花粉粒; 不育环境下只有少数能经过第 2 次有丝分裂产生 2 个精细胞, 大部分为二细胞期花粉粒、异常花粉粒和没有原生质体的空壳花药, 不开裂, 自然条件下不散粉; KTP116A 育性敏感期为 2 个时期, 减数分裂期至单核早期和二细胞晚期至三细胞时期, 在自然条件下温度敏感历期为 10 d 左右; 从小麦外部发育进程来看, 抽穗前的 2~8 d 和扬花前的 3~5 d 为其敏感时期。本研究为进一步研究败育的机理, 分析败育的原因和更好地利用温敏不育系奠定基础。

关键词: 粘果山羊草; 雄性不育系; 温度敏感性; 败育

Study of Fertility Changes on K-type Thermo-sensitive Male-sterile Wheat Line KTP116A

QIAN Huan-huan, ZHANG Ling-li, HU Gan, SONG Xi-yue

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

Abstract: K-type(*Aegilops kotshyi*) thermo-sensitive cytoplasmic male sterile wheat based on two-line hybrid is a very useful sterile line, which shows complete male sterility in normal growing season of northern China, and can be used to produce hybrid wheat seed, while fertility restored partly in anti-season seeding. Through the use of more elaborate research methodology, we made a fine research on the fertility-conversion critical period, abortion of pollen development process of KTP116A by using artificial climate chamber and the smear method. The results showed that KTP116A could carry the normal meiosis and develop into mature pollen grains under fertile environment. While under sterile environment, only a few could go through the second mitosis and produce two sperm cells, most of them were binucleate grains, abnormal pollen grains, and shell anthers without protoplast. Two fertility sensitive periods of KTP116A were from meiosis to early microspore and binucleate to trinucleate, from the wheat external development process point of view, 2-8 d before heading and the 3-5 d before flowering were its sensitive stage, which lasted about 10 d. These findings would make a foundation for further study of abortion mechanism, abortion reasons analyzing, and the better use of thermo-sensitive male sterility.

Key words: *Aegilops kotshyi*; male-sterile wheat line; thermo-sensitivity; abortion

两系法因其制种程序简便和种子生产成本低等优点, 已成为小麦杂种优势利用的重要手段, 自 1992 年谭昌华等^[1]育成 C49S 系列、王丰青等^[2]育

成 ES 系列小麦温光敏雄性核不育系以来, 已先后发现和育成了一系列的温光敏雄性不育小麦, 如 337S^[3]、BNY-S^[4]、BS20^[5]、BS210^[6]、BNS^[7]、

收稿日期: 2013-02-28 修回日期: 2013-04-25 网络出版日期: 2013-10-22

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20131022.1541.012.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(31271792); 陕西省自然基金(2011JM3007)

第一作者研究方向为小麦雄性不育和分子生物学研究。E-mail: huanhuan2006.10@163.com

通信作者: 宋喜悦, 研究方向为小麦雄性不育和杂种优势利用研究。E-mail: songxiyue@126.com

K87S^[8]、XN291S^[9]、LT2123A^[10]、A3314^[11],这些温敏不育系在各自的生态区域有着重要的研究价值和应用前景,丰富了遗传资源,为两系法利用小麦杂种优势开辟了新的途径。

K 型(*Aegilops kotschyii*)细胞质小麦温敏不育系 KTP116A,是以 A3314 为骨干亲本,与 K 型优良的小麦材料 116B(保持系)连续回交,同时利用剪穗再生分蘖技术转育而来,经异地播种试验证实,在一定区域正季播种表现完全雄性不育,可用于杂交小麦种子生产;在反季节播种条件下,育性恢复,可生产雄性不育系亲本种子,是一个非常有利用价值的细胞质小麦温敏不育系^[12]。本研究在前人研究的基础上,欲采用更为精细的方法对其育性转换的关键时期及败育的花粉发育过程进行研究,为进一步研究败育的机理,分析败育的原因,更好地利用温敏不育系奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

大田试验于 2011 年 10 月至 2012 年 6 月在陕西杨凌进行,位于 108°30'E,34°28'N,海拔 608 m。>10℃ 积温 4000 h,年均气温 12.9℃,年降雨量 608 mm。小麦拔节、挑旗、抽穗、开花等生育时期在 4-5 月,历史气象资料表明该地区在 3 月下旬气温增长变缓,4 月上旬后气温增加明显。试验期间,小麦生长季节大部分时间的气温均接近历史同期平均值。

1.2 试验材料

本研究包含 2 个粘果山羊草细胞质(K 型)小麦雄性不育系,KTP116A 和 K116A。K116A 是具有 1B/1R 核型的非温敏小麦细胞质雄性不育系,KTP116A 是具有非 1B/1R 核型的小麦细胞质雄性不育系,以 A3314 为母本,经杂交、回交和剪穗再生分蘖穗自交选育而来,1BS 染色体上携带有 K 型小麦温敏核基因 *rfv₁^{sp}*^[12],具有温敏特性。KTP116A 种子为 2010、2011 年春播 KTP116A 自交所得,K116A 种子为 2011 年保持系回交所得。

1.3 试验方法

2011 年 10 月种植 K 型小麦温敏雄性不育系 KTP116A(14 盆,编号 A~N)和对照非温敏小麦不育系 K116A(14 盆,编号 1~14)。花盆直径 30 cm,高 30 cm,花盆用土为施了底肥的大田耕层土,每盆播种 7 粒。将花盆置于西北农林科技大学灌溉站内,管理同大田。2012 年,自盆栽中 1/2 麦穗进入

拔节期(4 月 3 日)开始,利用人工气候箱进行可育条件(≥20℃)控温处理,设置人工气候箱参数为 13 h/11 h、22℃/20℃(昼/夜)、10000 Lux;处理至扬花期(5 月 2 日)结束。

2 盆 KTP116A(A,B)和 2 盆 K116A(1,2)作为人工气候箱内对照,处理时段为 4 月 3 日至 5 月 2 日,2 盆 KTP116A(M,N)和 2 盆 K116A(13,14)作为大田对照,不移入人工气候箱;同时用作细胞学研究;其他各盆材料,每隔 3 d 作 1 个处理,每次处理 KTP116A 和 K116A 各 1 盆,按照时间先后,依次移入 C,3;D,4……L,12(共 10 批),每盆材料只处理 1 次,不重复;每次处理前后分别记录小麦单株生育时期并挂牌标记,处理后放回原位置继续生长。

穗顶部抽出 2 cm 记为始穗,套上硫酸纸袋,待小麦成熟后调查自交结实率,自交结实率=(有效小穗基部 2 朵小花的结实数×100%)/(有效小穗数×2)。

1.4 细胞学镜检

用镊子小心夹取处理前和处理后各材料的中部颖花,取出一个花药,用刀片切成两半,一半采用醋酸洋红染色,另一半用 I₂-KI 染色进行镜检^[13],确定取其花药发育的具体时期和败育的类型;取人工气候箱对照(A,B)和大田对照(M,N)的各发育时期的幼穗,用卡诺固定液固定后,结合醋酸洋红和 DAPI 染色观察。其中 DAPI 染色参照 J. Tao 等^[14]方法进行。

2 结果与分析

2.1 K 型小麦雄性不育系 KTP116A 和 K116A 的花药发育

自拔节期始,观察大田对照 KTP116A(M,N)和 K116A(13,14)的生长发育情况,处理期间每隔 3 d 观察花药醋酸洋红和碘染结果,结果表明 2 种类型的不育系发育时期基本一致,可同时进行处理,大田条件下花药各发育时期与穗部外部形态见表 1。

根据西北农林科技大学灌溉站提供的气象资料,2012 年试验期间的气温与历年同期的变化幅度为 1~3℃;在光照培养箱中,KTP116A 的可育对照(A,B)从减数分裂期开始到完成开花过程历经 10 d,而在自然光温环境下可以持续 18 d 左右,可见该期间的较高温度促进小穗的发育进程作用较为明显。

表 1 在大田条件下 K 型小麦雄性不育系花药各发育时期的穗部形态

Table 1 The spikes morphological characters in each anther stage of K-type sterile line in field

花药发育时期	穗部形态	花药发育时期	穗部形态
Anther stage	Spikes morphological characters	Anther stage	Spikes morphological characters
减数分裂期	旗叶的叶耳伸出旗下叶， 与旗下叶的叶耳间距为 2 ~ 4 cm	二细胞早期	麦穗露出旗叶叶鞘
四分体时期	旗叶叶耳和旗下叶叶耳之间的距离为 4 ~ 6 cm	二细胞中期	穗子抽出 1/2
单核早期	麦芒露出旗叶叶鞘	二细胞晚期	穗子完全抽出
单核中期	麦芒抽出 0 ~ 2 cm	三细胞时期	穗子完全抽出旗叶叶鞘 5 cm
单核晚期	麦芒抽出 2 ~ 5 cm		

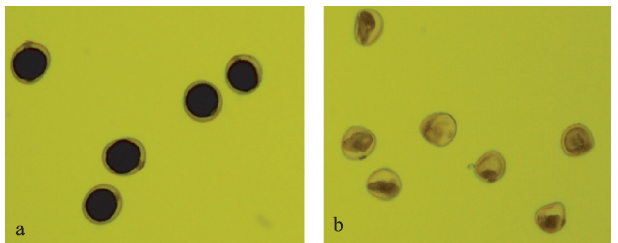
2.2 K 型小麦雄性不育系 KTP116A 和 K116A 的育性变化

在一定处理时期(4 月 3 日至 5 月 2 日)、一定温度(日平均温度为 21 ℃)下,KTP116A 自交结实率发生明显变化(37.8% ~ 55.7%);而 K116A 始终保持稳定不育性,自交结实率为 0,进一步证实了 KTP116A 的温度敏感特性。

2.3 KTP116A 的花药败育形态特征及细胞学证据

观察可育(光照培养箱)和不育(大田环境)条件下的花药醋酸洋红和 DAPI 荧光染料压片(每张制片观察 3 个视野,每个视野细胞数大于 30)发现:KTP116A(A,B)可育环境下,至少有 95% 花粉母细胞($n = 200$)能正常进行减数分裂(图 3a ~ f),并发育为成熟花粉粒(图 4a ~ c),大于 90% 的花粉粒能被 I_2 -KI 染成黑色($n = 1621$),呈规则的球形(图 1a),灌浆后期穗部形态如图 2a,平均套袋自交结实率为 61%;不育环境下(13,14)大多数的花药(90% ~ 95%, $n = 150$)亦能正常进行减数分裂(图 3g ~ i),产生小孢子(图 4d ~ i),但单核早期小孢子壁薄,单核晚期仍有部分皱缩(图 4d),所观察的花粉粒中约 85% ($n = 154$)能进行第 1 次有丝分裂产生生殖细胞和营养细胞(图 4e)进入二细胞时期,然而观察成熟花粉粒发现,只有少数(约 20%, $n = 126$)能经过第 2 次有丝分裂产生 2 个精细胞,且细胞核着色较浅,不易区分(图 4f),还有一部分(约 46%)不能正常分裂产生精细胞,停留在二细胞时期(图 4g),一部分(约 22%)发育成为异常花粉粒,这种花粉粒比正常花粉粒体积小,发育较晚(图 4h),一些成为没有原生质体的空壳(约 12%)(图 4i); I_2 -KI 染色发现只有约 28% 的花粉粒能被染成黑色($n = 1354$),其他花粉粒都染不上色或染色很浅,形状发生变化(图 1b);灌浆后期穗部形态如图 2b;套袋自交结实率为 0。K116A 在不育和可育环

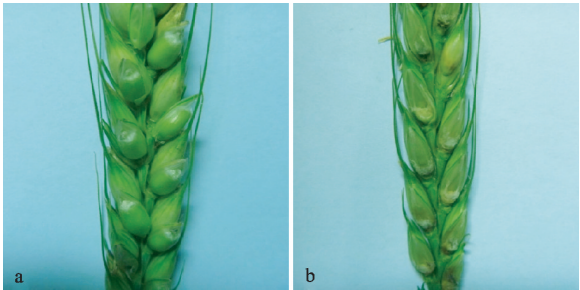
境下都不能发育成具有生活力的花粉粒,或只有个别有活力的花粉粒,但花药不开裂,自然条件下不散粉。



a:可育条件下的花粉粒;b:不育条件下的花粉粒
a: Mature pollen grains in fertile conditions,
b: Mature pollen grains in sterile conditions

图 1 I_2 -KI 染色示不育和可育条件下的成熟花粉粒(200 ×)

Fig. 1 I_2 -KI staining showing mature pollen grains in sterile and fertile conditions (200 ×)



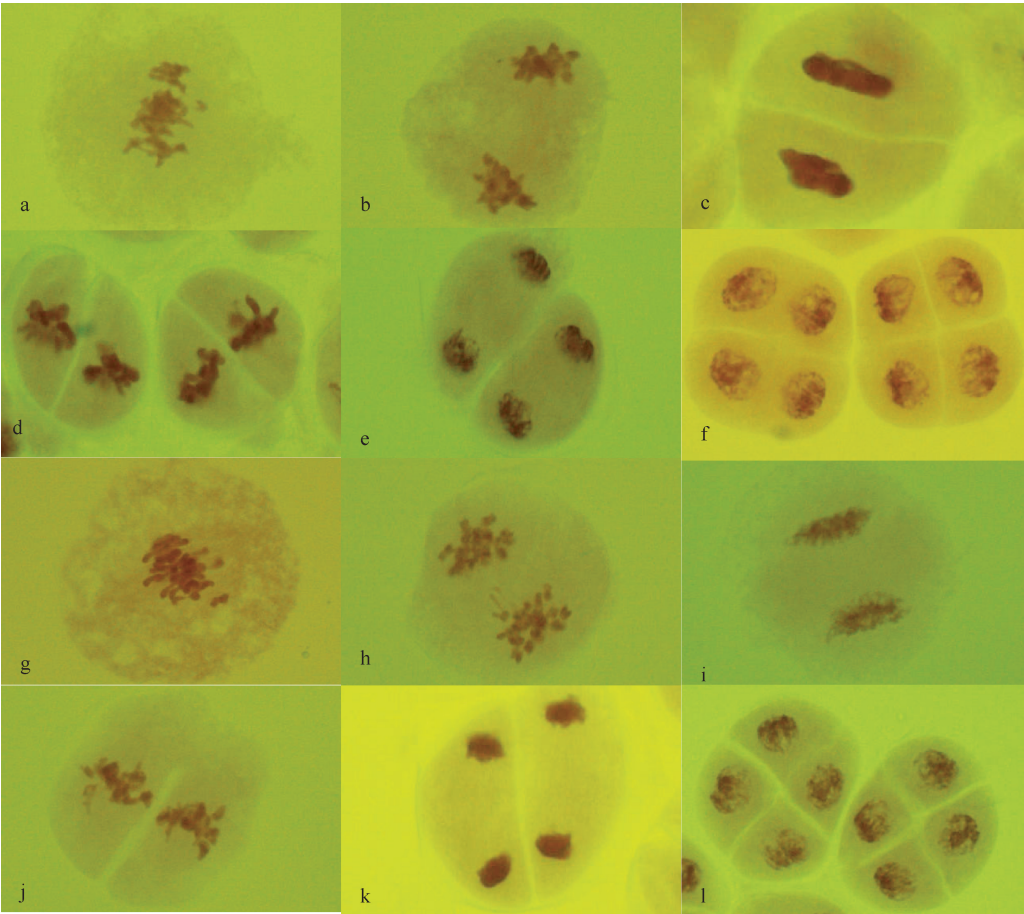
a:可育穗;b:不育穗 a: Fertile spike, b: Sterile spike

图 2 灌浆后期穗部形态

Fig. 2 The spike morphology at late grain filling stage

2.4 育性转换的温度敏感关键时期

从未进行处理的 2 盆 KTP116A(M,N)和 2 盆 K116A(13,14)的育性来看,大田生长条件下,拔节至扬花期间的日均温在 13.88 ~ 19.63 ℃之间,但二者的育性没有变化,自交结实率均为 0。



a ~ f:不育条件下减数分裂;g ~ l:可育条件下减数分裂。a、g:减 I 中期;b、h:减 I 后期;
c、I:减 II 前期;d、j:减 II 中期;e、k:减 II 后期;f、l:四分体期
a-f:Male meiosis in sterile conditions,g-l:Male meiosis in fertile conditions,a、g:Metaphase I,b、h:Anaphase I,
c、I:Prophase II,d、j:Metaphase II,e、k:Anaphase II,f、l:Tetrad

图 3 KTP116A 不育和可育条件下减数分裂过程醋酸洋红压片(400 ×)

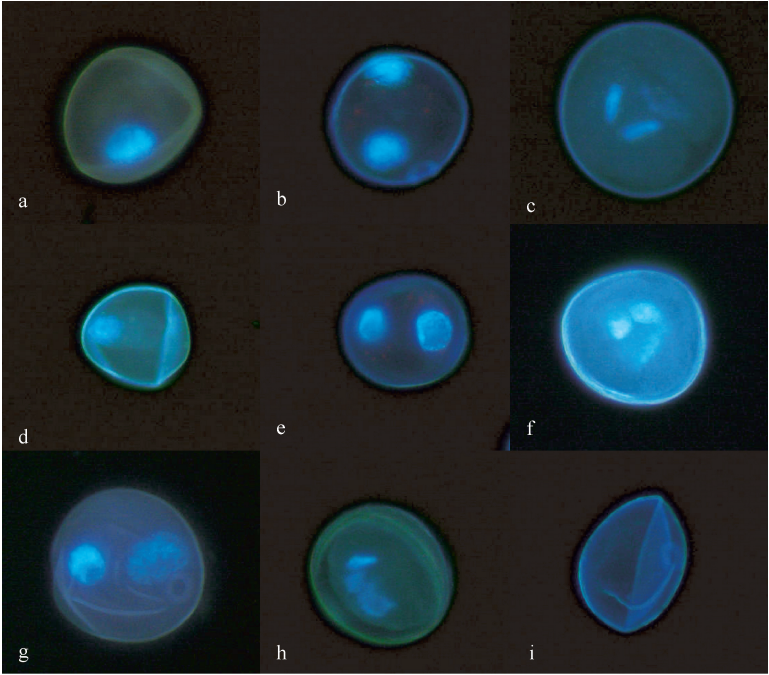
Fig. 3 Male meiosis in sterile and fertile conditions of KTP116A stained with aceto carmine(400 ×)

由表 2 可以看出,温敏型小麦在减数分裂前期育性转换的概率几乎为 0;从处理前的减数分裂期到处理后的单核期,小麦的自交结实率为 6.7% ~ 54.5%,育性转换幅度较大,可视为该材料育性转换的一个关键时期;由处理前的四分体期到处理后的二细胞期,自交结实率为 0,育性并没有发生转换;在二细胞晚期至三细胞晚期,其自交结实率在 14.3% ~ 60.7% 之间,育性转换幅度明显增大;在三细胞时期以后小麦的自交结实率又降至 0。而 K116A 无论是在大田生产条件下还是人工气候箱处理条件下,不育性稳定,自交结实率始终为 0,进一步说明 KTP116A 的温敏特性。其他时期处理的材料结实率均为 0,表明 KTP116A 在这些时期对温度不敏感,即便是在可育温度下,其育性也不会发生转变。综上所述,KTP116A 育性敏感期为 2 个时期,即减数分裂期至单核早期和二细胞晚期至三细

胞时期,在自然条件下温度感应历期为 10 d 左右。而从小麦外部发育进程来看,抽穗前的 2 ~ 8 d 和扬花前的 3 ~ 5 d 为其敏感时期。

3 讨论

光温敏不育系在杂种优势利用中有重要作用、前景广阔,目前已对其育性转换规律进行了诸多研究,研究方法主要包括分期播种、异地多点正季播种^[15]、剪穗再生分蘖等,配合人工气候箱、人工冷水池^[16]等进行精确的控温、光、水处理。本试验采用人工气候箱,设定温敏不育系较为适宜的可育环境,以 3 d 为 1 个周期,较为精细地划分了花粉发育的全过程;为确定花药发育的具体时期,所取的幼穗中部颖花的一个花药一半碘染,一半用醋酸洋红染色,保证了花药发育时期和育性的一致性。花药制片发现不育花药的染色体能正常进行减数分裂,正常发



a ~ c: 可育花药发育; d ~ i: 不育花药发育; a, d: 单核晚期; b, e: 二细胞期; c, f: 三细胞时期;
g ~ i: 不正常的成熟花粉粒; g: 滞留在二细胞期的花药; h: 小花粉粒; i: 败育花粉粒

a-c: Fertile pollen development, d-i: Sterile pollen development, a, d: Late microspore, b, e: Bicellular pollen, c, f: Tricellular pollen, g-i: Abnormal pollen at mature pollen stage, g: Arrested bicellular pollen, h: Small pollen, i: Aborted pollen

图 4 DAPI 压片示不育和可育条件下小孢子发育(400 ×)

Fig. 4 Pollen development in sterile and fertile conditions by DAPI staining(400 ×)

育形成小孢子,但小孢子的壁很薄,很容易产生褶皱,小孢子第 2 次有丝分裂时染色体才表现出异常,这可能是由于从感受到不育温度到不育性的表达需要一定时间,或是除染色体外其他部位表现出的异常用醋酸洋红和 DAPI 染色不能判定,具体原因需做进一步研究。

小麦不同温敏材料的育性转换敏感期不同,其育性转换的临界温度也不同。王志等^[17]认为雄性不育 363S 在绵阳 6-7 月的自然长日下育性转换的临界温度约 26 ℃;吴秋云等^[18]在研究生态雄性不育小麦 ES-50 的育性转换温度时发现,其育性转换的临界温度约为 13 ℃,育性转换的温度敏感期为抽穗前 21 ~ 13 d;赵凤梧等^[10]发现冬小麦温敏型雄性不育系 LT-1-3A 敏感期内(雌雄蕊分化期 ~ 花粉粒成熟期)日平均温度 < 18 ℃,不育系表现不育;日平均温度 > 18 ℃,表现可育;何立人等^[19]发现温敏不育系 C49S 的育性转换受减数分裂期至孕穗前 5 d 的平均最低温度和平均温度的调节,当该时期平均最低温度高于 11.5 ℃ 时育性恢复正常;李红燕等^[20]证实 YM 型小麦温敏雄性不育系育性转换的敏感期为孕穗至抽穗期,育性转换临界温度约

18.18 ℃;王丰青等^[21]发现高温不育小麦周 13S-1 抽穗前 25 ~ 21 d 平均日均温在 20 ~ 32 ℃ 以上时表现完全不育;低于 19 ℃ 表现部分不育,能够自交结实,且育性随着温度的降低而升高;张自阳等^[22]探讨低温雄性不育小麦 BNS 的育性转换规律时发现其育性转换敏感期在抽穗前 5 ~ 18d,在此期间,温度低于 8 ℃ 时表现彻底不育,8 ~ 12 ℃ 是育性转换温度,温度高于 12 ℃ 时表现完全可育。张建奎等^[23]研究表明 C412S 在育性温度敏感期平均温度低于 12.40 ℃、平均日长小于 11.64 h 的条件下表现不育,在育性温度敏感期平均温度高于 13.33 ℃、平均日长大于 11.85 h 的条件下表现可育。杨木军等^[8]研究 K78S 在云南地区适应性时发现 K78S 和 C49S-87 在昆明由不育转为可育的临界温度分别为 12.8 ℃ 和 10.7 ℃,何蓓如等^[11]研究发现 A3314 的育性转换温敏时期是孕穗前后 7 ~ 10 d,其育性转换的临界温度是 18.3 ℃。光温敏雄性不育小麦应用实践证明,具有较高临界温度的低温敏感雄性不育系有较高的应用价值^[24]。本研究发现 KTP116A 有 2 个温度敏感期,即减裂后期至四分体时期,以及二细胞后期至三细胞时期,稳定可育温度在 20 ℃ 以

表 2 不同处理时期 K 型温敏小麦雄性不育系 KTP116A 的育性

Table 2 The seed sets for thermo-sensitive male sterile line KTP116A in each treatment period

处理时间(日/月) Treatment time	编号 Code	花药发育时期 Anther stage		结实率(%) Seed setting rate
		处理前	处理后	
		Before treatment	After treatment	
3/4 – 6/4	C1	花粉母细胞时期	减数分裂前期 I	0
	C2	花粉母细胞时期	二分体期	0
6/4 – 9/4	D1	花粉母细胞时期	减数分裂 I 后期	0
	D2	减数分裂前期 I	四分体期	6. 7
9/4 – 12/4	E1	减数分裂中期 I	单核早期	26. 9
	E2	减数分裂 II 前期	单核早期	39. 5
12/4 – 15/4	F1	二分体期	单核中期	30. 8
	F2	单核早期	单核晚期	0
15/4 – 18/4	G1	四分体期	单核晚期	54. 5
	G2	单核中期	二细胞早期	0
18/4 – 21/4	H1	单核早期	二细胞早期	0
	H2	单核晚期	二细胞中期	0
21/4 – 24/4	I1	二细胞早期	二细胞晚期	60. 7
	I2	二细胞晚期	三细胞时期	14. 3
24/4 – 27/4	J1	二细胞中期	三细胞时期	57. 1
	J2	三细胞时期	成熟花粉时期	0
27/4 – 30/4	K1	三细胞时期	成熟花粉时期	0
	K2	始花期	成熟花粉时期	0
30/4 – 2/5	L1	始花期	成熟花粉时期	0
	L2	三细胞时期	成熟花粉时期	0
3/4 – 2/5	M1	花粉母细胞时期	成熟花粉时期	0
	M2	花粉母细胞时期	三细胞时期	0
	N1	花粉母细胞时期	成熟花粉时期	0
	N2	花粉母细胞时期	成熟花粉时期	0

第 1 盆处理材料的 2 株记为(C1,C2),第 2 盆处理材料的 2 株记为(D1,D2)……,最后一批记为(L1,L2);2 盆对照材料(M,N)在整个试验期内置于大田内,未做控温处理,各单株记为(M1,M2)和(N1,N2)

Two spikes from the first pot filled with treatment materials are denoted as C1and C2,and two spikes from the second pot are denoted as D1and D2,so the last one is L1 and L2,while two pots of control materials(namely M and N)are placed in the field throughout the test period without temperature control, the spikes from which are denoted as M1 and M2 as well as N1and N2,separately

上,与前人研究结果相比,增加了二细胞后期至三细胞时期的敏感期,这可能是由于该材料在繁殖高代以后发生育性漂变^[20]。育性基因的表达与环境条件联系紧密,在人工气候箱较为理想的发育条件下,推测第 2 个关键时期育性得以表达,也造成了该材料自交可育。

在光温敏雄性不育系的利用中,育性稳定性在很大程度上决定了其应用前景^[25],应保证不育性在生产应用时的制种安全性。本研究发现温敏不育系 KTP116A 在第 1 个育性转换关键时期的自交结实

率为 6. 7% ~ 54. 5%,第 2 个时期的自交结实率为 14. 3% ~ 60. 7%,说明该材料在处于可育的温度条件下便能繁殖不育系,加之在此期间试验地所在地区连续出现日均温≥20 ℃ 的极端天气可能性很小,因此能够保证不育系的稳定性和配制杂交种的安全。

参考文献

[1] 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]. 西南农业学报,1992,5(4):1-6

[2] 王丰青,何觉民,周斌,等. 光温敏雄性不育小麦的研究进展[J]. 湛江海洋大学学报,2004,24(6):80-84

- [3] 荣德福,李少华,郭拥军,等. 两极光温敏感型小麦雄性不育系 337S 的选育[J]. 湖北农业科学,2001(5):13-16
- [4] Xing Q, Ru Z, Zhou C, et al. Genetic analysis, molecular tagging and mapping of the thermo-sensitive genic male-sterile gene (*wtms1*) in wheat [J]. Theor Appl Genet, 2003, 107 (8): 1500-1504
- [5] Li Y, Zhao C, Zhang F T, et al. Fertility alteration in the photo-thermo-sensitive male sterile line BS20 of wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Euphytica, 2006, 151 (2): 207-213
- [6] 张立平,赵昌平,单福华,等. 小麦光温敏感雄性不育系 BS210 育性的主基因 + 多基因混合遗传分析[J]. 作物学报,2007, 33(9):1553-1557
- [7] 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
- [8] 杨木军,顾坚,刘琨,等. 小麦温光敏感雄性核不育系 K78S 在云南的生态适应性研究[J]. 作物学报,2006, 32 (11): 1618-1624
- [9] Dong P, Hu Y, Guo G, et al. Inheritance and chromosome location of photoperiod-thermo sensitive male sterility in wheat line Xinong 291S [J]. Plant Breeding, 2012, 131: 695-699
- [10] 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, 15 (2): 65-69
- [11] 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
- [12] 宋喜悦,何蓓如,马翎健,等. 小麦温敏不育系 A3314 温敏不育性的遗传研究[J]. 中国农业科学,2005, 38(6): 1095-1099
- [13] 郑卓,张蓓玲,段世华,等. 水稻新资源温敏核不育系长 S 的遗传学研究[J]. 植物遗传资源学报,2012, 13(6): 979-983
- [14] Tao J, Zhang L, Chong K, et al. *OsRAD21-3*, an orthologue of yeast *RAD21*, is required for pollen development in *Oryza sativa* [J]. Plant J, 2007, 51 (5): 919-930
- [15] 马晓娣,王建书,卢彦琦,等. 不同温度条件下高粱温敏雄性不育系冀 130A 育性变化规律及花粉败育研究[J]. 植物遗传资源学报,2012, 13(2): 212-218
- [16] 徐孟亮,周广洽. 矮矮 64S 育性表达的温敏感部位研究[J]. 杂交水稻,1996(2):28-30
- [17] 王志,王凡,王茂理,等. 核质互作型低温敏不育系 363S 育性转换规律及育性遗传[J]. 西南农业学报, 1998, 11 (11): 111-114
- [18] 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,2001, 27(2):89-91
- [19] 何立人,李正玮,张建奎,等. 温敏型雄不育小麦 C49S 育性转换与温度的关系[J]. 西南农业大学学报, 1996, 18 (4): 328-332
- [20] 李红燕,何蓓如,胡银岗,等. 小麦温敏不育系 YM3314 的温敏特性及育性转换[J]. 西北植物学报,2009, 29(5): 867-873
- [21] 王丰青,何觉民,魏荷,等. 高温不育小麦育性转换特性研究[J]. 麦类作物学报,2007, 2(27): 211-215
- [22] 张自阳,冯素伟,李笑慧,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(2): 5-9
- [23] 张建奎,董静,宗学风,等. 温光敏核不育小麦 C412S 的育性转换及其 *APRT* 基因的表达[J]. 作物学报,2009, 35 (4): 662-671
- [24] 权威,孙辉,赵昌平,等. 小麦光温敏感雄性不育转换规律研究进展[J]. 安徽农业科学,2007, 35(21): 6349-6350
- [25] 邓启云,符习勤. 光温敏核不育水稻育性稳定性研究: III. 不育起点温度漂移及其控制技术[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,1998, 24(1): 8-13

欢迎订阅 2014 年《林业科学》

《林业科学》是中国林学会主办、中国科协主管的林业综合性学术期刊,创刊于 1955 年。曾两次荣获中国期刊最高奖“国家期刊奖”。2013 年入选国家新闻出版广电总局“百强科技期刊”。目前已被 CA、AJ、ZR、JST、CSCD 等国内外 20 多个重要检索系统与数据库收录。

主要刊登林业及相关领域的最新科研成果,内容包括森林培育、森林生态、林木遗传育种、森林保护、森林经理、森林与环境、生物多样性保护、野生动植物保护与利用、经济林、水土保持与荒漠化治理、森林工程、木材科学与技术、林产化学加工工程、林业经济、林业可持续发展等方面。以学术论文、研究报告、综述为主,还设有学术问题讨论、研究简报、植物新品种与良种等栏目。读者对象为国内外从事林业及相关领域研究的科技人员、管理人员以及高等院校的师生。本刊接受英文稿件(附中文摘要)。

月刊,每月 25 日出版,大 16 开,每期 128 页。单价 25 元,全年 300 元。公开发行。国内统一刊号:CN11-1908/S,邮发代号 82-6;国际刊号:ISSN 1001-7488,发行代号:BM44。可以直接向编辑部订阅。

地址:(100091)北京万寿山后中国林学会《林业科学》编辑部

电话:010-62889820 62888579

网址:<http://www.linyekexue.net>

E-mail:linyex@forestry.ac.cn

期刊博客:<http://blog.sina.com.cn/linyex>

欢迎订阅 2014 年《草业学报》

《草业学报》由中国草学会、兰州大学草地农业科技学院共同主办,是国内外公开发行的学术性期刊。

双月刊,定价 25 元,全年 150 元。国内邮发代号:54-84,

地址:(730020)兰州市嘉峪关西路 768 号《草业学报》编辑部

电话、传真:0931-8913494

E-mail:cyxb@lzu.edu.cn

网址:<http://cyxb.lzu.edu.cn>