

光照强度对温光敏细胞核雄性不育小麦育性的影响

张建奎¹, 董 静^{1,2}, 余国东³, 宗学风¹, 李伯群³

(¹西南大学农学与生物科技学院/农业部生物技术与作物品质改良重点开放实验室, 重庆 400716; ²湖北省农业科学院, 武汉 430064; ³重庆市农业科学院, 重庆 402160)

摘要:以具有低温不育、高温可育特性的温光敏细胞核雄性不育小麦 C412S 和 C404S 为材料, 以其回交转育亲本、育性正常的 C412 和 C404 为对照, 用人工气候箱研究了光照强度对温光敏细胞核雄性不育小麦育性表达的影响。结果表明, 在低温条件下(日温 8℃/夜温 6℃), C412S 和 C404S 在不同光照强度(160 μmol/m²·s 和 300 μmol/m²·s)下自交结实率都为 0, 表现为完全不育。在较高温度条件下(日温 18℃/夜温 14℃), 从花粉母细胞形成期到开花期的光照处理, C412S 在 160 μmol/m²·s 弱光照下的自交结实率仅为 5.4%, 表现为高不育, 在 300 μmol/m²·s 较强光照下的自交结实率高达 65.0%, 表现为高度可育; 而另一不育系 C404S 在 2 种光照强度下的自交结实率分别为 69.9% 和 73.2%, 都达到了高度可育水平。表明光照强度对温光敏细胞核雄性不育小麦的雄性育性表达具有重要影响, 但不同材料对光照强度的响应程度有所差异。

关键词: 小麦; 温光敏细胞核雄性不育性; 光照强度; 育性

Effect of Light Intensity on Fertility Alternation of Thermo-Photo-Sensitive Genic Male Sterile Wheat

ZHANG Jian-kui¹, DONG Jing^{1,2}, YU Guo-dong³, ZONG Xue-feng¹, LI Bo-qun³

(¹Key Laboratory of Biotechnology and Crop Quality Improvement, Ministry of Agriculture/College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400716; ²Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064; ³Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 402160)

Abstract: Light-intensity-affected fertility of thermo-photo-sensitive genic male sterile (TGMS) wheat (*Triticum aestivum* L.) lines C412S and C404S, which were reported to be sterile under low temperature condition and normal fertility under high temperature condition, was investigated in growth chambers, with normally fertile wheat lines C412 and C404, the recurrent parents of C412S and C404S, as control. The plants were treated during the developmental period from pollen mother cells (PMCs) formation stage to the anthesis stage in growth chambers at two temperature levels (8°C day temperature, 6°C night temperature, and 18°C day temperature, 14°C night temperature) and two light intensity levels (160 and 300 μmol/m²·s) with photoperiod 12 hours day time and 12 hours night time. The results showed that under low temperature condition (8°C day temperature and 6°C night temperature), both C412S and C404S showed complete sterility with self-fertilized seed setting rate of 0% whether at high light intensity level (300 μmol/m²·s) or at low light intensity level (160 μmol/m²·s). Meanwhile, under high temperature condition (18°C day temperature and 14°C night temperature), C412S showed highly sterility with self-fertilized seed setting rate of 5.4% when treated with low light intensity of 160 μmol/m²·s, but showed normal fertility with self-fertilized seed setting rate of 65.0% when treated with high light intensity of 300 μmol/m²·s. On the other hand, C404S showed normal fertility whether under high light intensity (300 μmol/m²·s) or under low light intensity (160 μmol/m²·s), with self-fertilized seed setting rate of 69.9% and 73.2% when treated with light intensity of 160 and 300 μmol/m²·s, respectively. These results suggested that light intensity had important effect on fertility alternation of TGMS wheat.

Key words: Wheat; Thermo-photo-sensitive genic male sterility; Light; Fertility

收稿日期: 2009-05-31 修回日期: 2010-12-02

基金项目: 重庆市科技攻关项目(CSTS2009AB1104); 西南大学博士基金项目(99945-932001)

作者简介: 张建奎, 博士, 副教授, 从事小麦遗传生理研究。E-mail: jkzhang@swu.edu.cn

小麦生态遗传型雄性不育系的育性受遗传基因控制,但育性的表达却受生态条件调节,在不同的生态条件下表现出不同的育性,可以在不育条件下进行杂交制种,在可育条件下进行自交繁殖,在两系法杂种优势利用体系中具有重要作用^[1-2]。Sasakuma等^[3]报道具粗厚山羊草、牡山羊草和瓦维洛夫山羊草细胞质(均为D²型细胞质)的农林26(Norin 26)具有在长日照下雄性不育、短日照下可育的特性,Murai等^[4]借鉴中国两系法杂交水稻的经验,于1993年提出利用D²型光敏细胞质雄性不育“二系系统”配制小麦杂交种。何觉民等^[5]和谭昌华等^[6]分别报道育成小麦光温敏或温光敏雄性核不育系ES-3、C49S等,并测配了两系杂交小麦组合。此后,陆续报道了多个小麦生态遗传型雄性不育系,如BS210^[7]、A3314^[8]等。

明确生态遗传型雄性不育系育性转换的生态条件是两系法利用杂种优势的基础,研究者从温度、日长等方面对小麦生态遗传型雄性不育系育性转换的条件和育性敏感期等进行了大量研究。邹应斌等^[9]研究认为,ES-3表现为短日低温(<12h, <10℃)不育,长日高温(>12h, >10℃)可育,育性转换敏感时期为雌雄蕊原基分化期至四分体形成期。赵凤梧等^[10]研究表明,LT-1-3A育性敏感期为雌雄蕊分化期到花粉粒成熟期,敏感期内日均温度<18℃表现不育,日均温度>18℃表现可育。Xing等^[11]认为BNY-S在敏感期内日均温度<10℃表现不育,日均温度>10℃表现可育。张凤廷^[12]指出,BS210的育性主要受温度影响,光周期的作用不明显,温度临界值为12℃,温度敏感期为药隔期至花粉粒单核期。张建奎等^[13]指出,C49S的育性转换以温度敏感为主,从花粉母细胞形成期到花粉成熟期对温度都有一定程度的敏感性,其中最敏感的时期是花粉母细胞减数分裂期,日照长度对其育性转换也有重要影响。关于光照强度对植物生态遗传型雄性不育系育性转换的影响还未见报道。本课题组在进行盆栽试验和人工气候箱试验时发现,除温度和日照长度外,光照强度对温光敏细胞核雄性不育小麦的育性表达也有重要影响。本文以具有低温不育、高温可育特性的温光敏细胞核雄性不育系C412S和C404S为试材,以其回交转育亲本、育性正常的C412和C404为对照,通过人工气候箱试验,研究了不同温度条件下,光照强度对其育性表达的影响,旨在进一步明确温光敏细胞核雄性不育小麦的育性转换条件,提高其

育性稳定性,对提高两系杂交小麦杂交制种时的种子纯度和自交繁殖时的种子产量具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为小麦温光敏细胞核雄性不育系C412S和C404S。C412S是重庆市农业科学院用温光敏细胞核雄性不育系C49S^[6]作为不育基因的供体,与常规小麦高代稳定品系C412杂交,F₁与C49S回交得到BC₁F₁,BC₁F₁再与C49S回交得到BC₂F₁,然后自交,从F₂中选择不育株,经连续几个世代不育株的选择,获得稳定不育系C412S。C404S是用同样的原理和程序选育而成的,不育基因的供体仍然为C49S,但育性受体材料为育性正常的来自河南的常规小麦品种豫麦66(种质编号为C404)。

2003-2008年,经田间育性鉴定^[14-15],C412S和C404S都具有低温不育、高温可育的育性转换特性。在田间自然生长条件下,C412S于10月26日播种,可育花粉率和自交结实率都为0,表现为完全不育;11月20日以后播种的可育花粉率升高到70%以上,最高达到80%,自交结实率升高到50%以上,最高达到近70%,表现为可育。C404S于10月26日播种,可育花粉率为0,表现为完全不育;12月10日播种为52.8%,表现为可育。而其回交转育亲本C412和C404,在不同的播种期条件下,它们的育性始终处于高度可育状态,C412的可育花粉率始终处于80%以上,自交结实率为71.3%~81.4%,C404的可育花粉率为72%~81%。

1.2 方法

参试材料育苗后于二叶期挑选植株大小、长势一致的植株移栽到钵钵,每钵均匀栽植8株,每处理10钵。人工气候箱光照强度设置2种水平,分别是160μmol/m²·s(P₁)、300μmol/m²·s(P₂)。温度设置2个水平,分别是日温8℃/夜温6℃(T₁)、日温18℃/夜温14℃(T₂)。光照长度均设置为12h,箱内湿度保持在60%。植株在人工气候箱内进行光温处理的时段有4个,分别是花粉母细胞形成期-开花期(D₁)、减数分裂第一次分裂早期(细线期-粗线期)-开花期(D₂)、减数分裂第一次分裂中后期(双线期-末期I)-开花期(D₃)、减数分裂第二次分裂期-开花期(D₄)。及时去分蘖、浇水、防治病虫害。花粉成熟后取小穗考察花粉育性。开花前主

茎穗套袋,成熟后考察自交结实情况。

自交结实率(%)=(有效小穗基部小花结实粒数/有效小穗数×2)×100%

2 结果与分析

2.1 常规对照品系在不同温度和光照强度处理下的育性表现

在小麦雄性细胞发育的关键时段——花粉母细胞形成期到开花期,2个常规对照品系 C412 和 C404 在 2 个温度(日温 8℃/夜温 6℃、日温 18℃/夜温 14℃)和 2 个光照强度水平的处理下,前者自交结实率变动范围在 70.1%~73.3%,后者自交结实率为 69.5%~72.1%,2 个对照的育性都属于正常可育范围。方差分析结果表明,温度间、光照强度间的差异都没有达到显著水平,一方面说明对照品系的育性是稳定的,不随温度和光照强度的变化而发生显著变化,另一方面说明试验设置的温度和光照强度水平是合适的。

2.2 光照强度对温光敏细胞核雄性不育系 C412S 育性表达的效应

经过不同温光处理,温光敏细胞核雄性不育系 C412S 的育性发生了变化,其自交结实率列于表 1。由表 1 可以看出,光照强度和温度对温光敏细胞核雄性不育系的育性表达都有重要作用。

表 1 不同温度和光照强度处理下温光敏细胞核雄性不育系 C412S 的自交结实率

Table 1 Seed setting rate of TGMS wheat line C412S under different temperature and light intensity conditions (%)

处理时段 Development stage	低温处理		高温处理	
	Low temperature treatment		High temperature treatment	
	弱光照 Weak light	强光照 Strong light	弱光照 Weak light	强光照 Strong light
D ₁	0	0	5.4 ± 0.18	65.0 ± 1.70
D ₂	0	0	5.4 ± 0.23	47.7 ± 2.14
D ₃	0	0	5.2 ± 0.20	29.0 ± 0.80
D ₄	0	0	2.0 ± 0.06	15.4 ± 0.53

D₁: 花粉母细胞形成期-开花期; D₂: 减数分裂第一次分裂早期-开花期; D₃: 减数分裂第一次分裂中后期-开花期; D₄: 减数分裂第二次分裂期-开花期; 低温: 日温 8℃/夜温 6℃; 高温: 日温 18℃/夜温 14℃; 弱光照: 160 μmol/m²·s; 强光照: 300 μmol/m²·s; 生长箱光照时间为 12h。下同

D₁: PMC formation to anthesis; D₂: Earlier stage of the first division of meiosis to anthesis; D₃: Later stage of the first division of meiosis to anthesis; D₄: The second division of meiosis to anthesis; Low temperature: 8℃ at day and 6℃ at night; High temperature: 18℃ at day and 14℃ at night; Weak light: 160 μmol/m²·s; Strong light: 300 μmol/m²·s; The day-time in growth chambers is 12 hours. The same as below

2.2.1 低温条件下不同光照强度对 C412S 育性的影响 从表 1 可以看出,在低温条件下(日温 8℃/夜温 6℃),不管是弱光照处理还是强光照处理,开花之前不管是较长时段处理还是短期处理,C412S 都表现为完全不育,自交结实率全部为 0。表明低温是温光敏细胞核雄性不育系 C412S 表现不育的决定因子,只要温度低于临界值时就能表现不育,此时光照强度对育性的表现就起不到实质性影响,有可能是光照强度对育性的作用被低温对育性的强大作用所掩盖。

2.2.2 高温条件下不同光照强度对 C412S 育性的影响 在较高温度条件下(日温 18℃/夜温 14℃),弱光照处理(光照强度 160 μmol/m²·s)与强光照处理(光照强度 300 μmol/m²·s)之间,C412S 的自交结实率存在极显著差异(P < 0.01)。在不同光照强度下处理的时段越长,这种差异越明显。在花粉母细胞形成期-开花期这一较长时段进行弱光照处理,C412S 的自交结实率仅为 5.4%,表现为高度不育;而在强光照下,C412S 的自交结实率高达 65.0%,表现为高度可育。在减数分裂第二次分裂期-开花期进行较短时段的弱光照和强光照处理,C412S 的自交结实率分别为 2.0%和 15.4%,分别属于高不育和低不育类型。

从 C412S 在较高温度环境下不同光照强度处理间自交结实率的多重比较结果(表 2)可以看出,强光照下的平均结实率为 39.3%,而弱光照下的平均结实率仅为 4.5%,两者达到了极显著差异。表明,在较高温度条件下,光照强度对温光敏细胞核雄性不育系 C412S 的育性表达都有重要作用。

表 2 C412S 在高温环境下不同光照强度处理间自交结实率的多重比较(SSR 测验)

处理		平均结实率
Treatment		Average seed setting rate
光照强度	强光照	39.3 a A
Light intensity	弱光照	4.5 b B
处理时段	D ₁	35.2 a A
Development stage	D ₂	26.6 b B
	D ₃	17.1 c C
	D ₄	8.7 d D

表中大小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平下的差异显著性,下同

Large and small letters mean significance at level of 0.01 and 0.05, respectively. The same as below

性不育系 C412S 的育性表达具有重要作用,一般来讲,强光照对雄性育性具有非常明显的促进作用,而弱光照对雄性育性具有抑制作用,C412S 表达高可育不仅需要较高温度而且还需要强光照。从表 2 还可以看出,在高温强光照条件下,不同处理时段之间,C412S 的育性差异达到了极显著水平,表明高温强光照对雄性育性的促进作用具有累加效应,处理时段越长,促进作用越明显。

2.3 光照强度对温光敏细胞核雄性不育系 C404S 育性表达的效应

从花粉母细胞形成期到开花期经过不同温光水平处理,温光敏细胞核雄性不育系 C404S 的自交结实率列表 3。

表 3 不同温度和光照强度处理下温光敏细胞核雄性不育系 C404S 的自交结实率

Table 3 Seed setting rate of TGMS wheat line C404S under different temperature and light intensity conditions (%)

处理时段 Development stage	低温处理 Low temperature treatment		高温处理 High temperature treatment	
	弱光照 Weak light	强光照 Strong light	弱光照 Weak light	强光照 Strong light
	D ₁	0	0	69.9 ± 1.01
D ₂	0	0	50.1 ± 2.15	55.5 ± 1.80
D ₃	0	0	27.3 ± 0.98	32.4 ± 1.15
D ₄	0	0	14.1 ± 0.65	14.1 ± 0.65

从表 3 可以看出,在日温 8℃/夜温 6℃ 的低温条件下,不管是弱光照处理还是强光照处理,开花之前不管是较长时段处理还是短期处理,C404S 都表现为完全不育,自交结实率全部为 0。表明,低温是温光敏细胞核雄性不育系 C404S 表现不育的决定因子,只要温度低于临界值时就能表现不育,这个结果与温光敏细胞核雄性不育系 C412S 的表现相同。

在日温 18℃/夜温 14℃ 的较高温度条件下,在花粉母细胞形成期 - 开花期的较长时段,弱光照下 C404S 的自交结实率为 69.9%,强光照下的自交结实率为 73.2%,都达到了高度可育水平;在减数分裂第二次分裂期 - 开花期进行较短时段的处理,C404S 在 2 种光照水平的自交结实率都为 14.1%,表现为低不育。方差分析结果表明,C404S 的自交结实率在弱光照处理与强光照处理之间的差异不显著(表 4)。这个结果与温光敏细胞核雄性不育系 C412S 的表现不同。说明光照强度对温光敏细胞核雄性不育系育性表达的影响程度在不同不育系间有

所不同,C412S 的育性表达对光照强度比 C404S 更敏感。

表 4 C404S 在高温环境下不同光照强度处理间自交结实率的多重比较(SSR 测验)

Table 4 Multiple comparisons of seed setting rate of C404S under high temperature and different light intensity treatments using shortest significant ranges test (%)

处理 Treatment		平均结实率 Average seed setting rate
光照强度 Light intensity	强光照	43.8 a A
	弱光照	40.4 a A
处理时段 Development stage	D ₁	71.6 a A
	D ₂	52.8 b B
	D ₃	29.9 c C
	D ₄	14.1 d D

3 讨论

光作为信号,调节植物整个生命周期中的许多生长、分化、发育和形态建成过程。植物在从营养生长向生殖生长的发育过程中,光周期信号与温度信号协同对发育具有决定性作用。元生朝等^[16]提出,湖北光敏核不育水稻农垦 58S 存在 2 个光周期敏感期和 3 个发育阶段的发育特性,即发育诱导阶段、育性诱导阶段和育性表达阶段。对于生态遗传型雄性不育小麦来说,首先作为低温短日照植物,根据其冬春性的不同,要满足一定的低温和短日照条件才能完成幼穗分化,光周期敏感期一般在单穗或二棱期至雌雄蕊分化期^[17];其次,在阶段发育之后,根据其育性表现对温度和光周期的要求不同,要满足一定的温度和光周期条件才能完成不育性或可育性表达。BS210 在药隔期至花粉粒单核期的敏感期,当平均温度低于 10℃ 表现不育^[7]。小麦的光周期反应对光照强度的要求并不高,20lx 曙光照和 10lx 暮光照具有与光期的强光(120000lx)相同的效果^[17]。本试验中的 2 个光照强度水平 160 μmol/m²·s 和 300 μmol/m²·s,都属于光周期反应的有效光照,它们的光照时间都设置为 12h,因此可以排除在光周期信号方面的差异。

除作为光周期信号外,光照还提供能量参与植物的光合作用。小麦子粒灌浆期光照不足,导致子粒重显著降低^[18-19]。杨文平等^[20]研究表明,在开花期,随着光照强度在一定范围内增加,小麦旗叶光合速率、气孔导度、蒸腾速率和水分利用率均表现不同

程度增大。刘霞等^[21]研究表明,花后弱光处理 3d 后,旗叶 PS II 最大光化学效率(Fv/Fm)和光合速率(Pn)显著降低。张黎萍等^[22]研究认为,灌浆期弱光处理使小麦千粒重下降的机理是弱光降低了小麦的叶绿素荧光参数,抑制了光合系统 PS II 的活性。上述光照强度试验所用的材料都是常规小麦品种(系),光照处理时间都在开花期或之后的灌浆期,试验结果都证实光照强度不足导致小麦穗粒数减少,粒重降低,但其结实范围还属于正常范围,育性是正常的。

本试验中,对对照常规品系 C412 和 C404 在不同光温处理下,自交结实率没有发生显著性变化,都在正常可育范围。而不育系 C412S 在较高温度环境下,从减数分裂第二次分裂期-开花期进行处理,C412S 在弱光照和强光照下的自交结实率分别为 2.0% 和 15.4%,分别表现为高不育和低不育;从花粉母细胞形成期-开花期进行处理,弱光照下的自交结实率仅为 5.4%,表现为高不育,而在强光照下自交结实率高达 65.0%,表现为高度可育,表明光照强度对 C412S 的雄性育性表达具有重要影响,C412S 表达高可育不仅需要高温还需要强光照。当然,不同不育系对光照强度的响应程度有所不同,C412S 的育性表达对光照强度比较敏感,而 C404S 的育性对光照强度的要求比较宽松。此外,光照强度对雄性育性表达的作用与温度之间有一定互作,在低温条件下,不同光照强度处理对 C412S 和 C404S 育性表达的作用都未能表现出来,它们都表现为完全不育,表明只要温度低于临界值时就能表现不育,此时光照强度对育性的作用被低温对育性的强大作用所掩盖。张建奎等^[23]曾报道,在人工气候箱中对温光敏核不育小麦 C49S 进行 15h 长日照和 8h 短日照处理,结果显示 15h 长日照提高了 C49S 的自交结实率,8h 短日照降低了其结实率,但在盆栽场用日光灯延长不同播期 C49S 光照长度至 15h,并未达到促进结实的效果。这可能与气候箱与日光灯的光强差异有关(前者约 $200\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$,后者仅 $10\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 左右)。

由于本试验的光周期都是 12h,在排除了光周期信号因素之后,初步认为,光照强度引起温光敏细胞核雄性不育小麦育性发生变化可能与光合作用不足、能量代谢失衡有关。在花粉发育过程中,能量代谢或者细胞分化的过程中任何一个环节出现问题,都可能引起雄性不育。多种作物的花粉败育研究都表明花药中 ATP 含量与育性密切相关,可育株的

ATP 含量比不育株高数倍,而且影响 ATP 分解反应和转换速率的 ATP 酶的活性也以可育株比不育株强^[24]。在生物体内,ATP 的合成主要依赖于 2 条途径,即从头合成途径和嘌呤补救途径。其中嘌呤补救途径有 2 个基本路线,一个是一步法,即腺嘌呤直接转化为一磷酸腺苷酸(AMP),另外一个是一步法,即腺嘌呤先转化为腺苷酸,再进行磷酸化。在 ATP 的这些合成途径中,一步法补救途径能直接利用细胞中的代谢产物腺嘌呤合成 AMP,进一步转化为 ATP 而显得更加节能有效,因而在生物体分化、发育的最旺盛器官(例如植物的花器官)中显得尤为重要^[25]。腺嘌呤磷酸核糖基转移酶(APRT)是一步法中催化底物腺嘌呤碱基和磷酸核糖焦磷酸(PRPP)转化为 AMP 的关键酶。最近研究表明,温光敏核不育小麦 C412S 在早播低温短日照的不育条件下,花粉母细胞时期、减数分裂期、单核早期和单核中晚期等时期的 APRT 基因的转录水平要比高温长日照的可育条件下下调^[14],这为能量代谢失衡引起温光敏细胞核雄性不育小麦发生育性转换提供了初步证据。

在两系法利用杂种优势中,如何简便、高效地生产出高纯度的杂交种及繁殖亲本是关键之一。本研究表明,由于光照强度对温光敏细胞核雄性不育小麦的雄性育性表达具有重要影响,因此,在应用生态遗传型雄性不育系进行两系法杂交制种和亲本繁殖时要注意光照强度对育性表达的影响,以提高其杂交制种时的种子纯度和自交繁殖时的种子产量。

参考文献

- [1] Zhang J K, Zong X F, Yu G D, et al. Relationship between phytohormones and male sterility in thermo-photo-sensitive genic male sterile (TCMS) wheat[J]. *Euphytica*, 2006, 150: 241-248
- [2] 李生荣, 杜小英, 陶军, 等. 小麦温光型两系恢复系 MRI68 的选育与利用初报[J]. *植物遗传资源学报*, 2009, 10 (2): 306-308
- [3] Sasakuma T, Ohtsuka I. Cytoplasmic effects of *Aegilops* species having D² genome in wheat: I. Cytoplasmic differentiation among five species regarding pistillody induction[J]. *Seiken Zihou*, 1979, 27: 59-65
- [4] Murai K, Tsunewaki K. Photoperiod-sensitive cytoplasmic male sterility in wheat with *Aegilops crassa* cytoplasm[J]. *Euphytica*, 1993, 67: 41-48
- [5] 何觉民, 戴君伟, 邹应斌, 等. 两系杂交小麦研究 I: 生态雄性不育小麦的发现、培育及其利用价值[J]. *湖南农业科学*, 1992, 18(5): 1-3
- [6] 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
- [7] 赵吕平, 张立平, 李云伏, 等. 小麦温光敏雄性不育相关基因的 DDRT-PCR 分析及功能预测[J]. *中国生物化学与分子生物学报*, 2007, 23(1): 56-62
- [8] 何佰如, 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
- [9] 邹应斌, 周美兰, 何觉民, 等. 两系杂交小麦研究 II. 生态型雄性不育小麦的育性转换机制[J]. 湖南农业科学, 1992, 18(6): 5-7
- [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] Xing Q H, Ru Z G, Zhou C J, et al. Genetic analysis, molecular tagging and mapping of the thermo-sensitive genic male-sterile gene (*wts1*) in wheat [J]. Theor Appl Gene, 2003, 107: 1500-1504
- [12] 张凤廷. 光温敏核雄性不育小麦的育性转换特点及恢复性研究[D]. 北京: 中国农业科学院作物科学研究所, 2004: 14-42
- [13] 张建奎, 冯丽, 何立人, 等. 温光型核雄性不育小麦育性转换的温度敏感期和临界温度研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 57-60
- [14] 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
- [15] 张建奎, 董静, 宗学风, 等. 温光敏细胞核不育小麦雌性败育的细胞学观察[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(3): 411-418
- [16] 元生朝, 张自国, 许传桢. 光照诱导湖北光敏感核不育水稻育性转变的敏感期及其发育阶段的探讨[J]. 作物学报, 1988, 14(1): 7-12
- [17] 余遥. 四川小麦[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1998: 31-102
- [18] Wardlaw I F, Moncur L. The response of wheat to high temperature following anthesis I. The rate and duration of kernel filling [J]. Aust J Plant Physiol, 1995, 22: 391-397
- [19] 李永康, 于振文, 梁晓芳, 等. 小麦产量和品质对灌浆期不同阶段低光照强度的响应[J]. 植物生态学报, 2005, 29(5): 807-813
- [20] 杨文平, 郭天财, 刘胜波, 等. 两种穗型冬小麦品种旗叶光合特性和水分利用对光强的响应[J]. 华北农学报, 2008, 23(2): 9-11
- [21] 刘霞, 尹燕桦, 姜春明, 等. 花后不同时期弱光和高温胁迫对小麦旗叶荧光特性及籽粒灌浆进程的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2117-2121
- [22] 张黎萍, 荆奇, 戴廷波, 等. 温度和光照强度对不同品质类型小麦旗叶光合特性和衰老的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(2): 311-316
- [23] 张建奎, 何立人, 冯丽, 等. 日长和温度对雄性核不育小麦 C49S 育性转换的影响[J]. 西南农业大学学报, 1999, 21(6): 518-521
- [24] 姚雅琴, 张改生. K 型小麦雄性不育及其保持系花药小孢子不同发育期 ATP 酶活性变化[J]. 中国农业科学, 2000, 33(3): 97-99
- [25] Moffatt B A, Pthe C, Laloue M. Metabolism of benzyladenine is impaired in a mutant of *Arabidopsis thaliana* lacking adenine phosphoribosyltransferase activity [J]. Plant Physiol, 1991, 95: 900-908
- ~~~~~
- (上接第 300 页)
- [37] 舒庆尧, 陈善福, 吴殿星, 等. 带叶色标记三系不育系龙特甫 A-全龙 A[J]. 福建稻麦科技, 1999(4): 18
- [38] 叶荣国. 带叶色标记杂交水稻三系不育系的选育. 浙江农业科学, 1999(6): 254-256
- [39] 曹立勇, 钱前, 朱旭东, 等. 紫色标记轴型光-温敏核不育系中紫 S 的选育及其配组的杂种优势[J]. 作物学报, 1999, 25(1): 44-49
- [40] 杨腾帮, 许旭明, 张受刚. 具有隐性紫叶标记性状的轴型光敏核不育系明紫 02S 的选育[J]. 福建农业科技, 2005(1): 3-5
- [41] 杨腾帮, 许旭明, 张受刚, 等. 隐性紫叶光温敏核不育水稻明紫 03S 的选育[J]. 福建农业科技, 2005(5): 54-55
- [42] Zhang X P, Rhodes B B, Bridges W C. Phenotype, inheritance and regulation of expression of a new virescent mutant in watermelon: juvenile albino [J]. J Amer Soc Hort Sci, 1996, 121(4): 609-615
- [43] 王坤波, 张香娣, 刘方, 等. 子叶期卡那霉素快速鉴定转基因棉花[J]. 中国棉花, 2001(2): 20-21
- [44] 谭小力, 戚存扣, 张丽丽, 等. 不同抗生素对油菜种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学, 2006, 22(5): 27-29
- [45] 张艳敏, 杨帆, 温之雨, 等. 卡那霉素筛选转基因小麦种子关键技术研究[J]. 河北农业科学, 2006, 10(1): 1-4
- [46] 吕淑平, 赵元明. 具有标记性状的棉花核不育系的创建初探[J]. 农业生物技术科学, 2004, 20(2): 8-9
- [47] 苏晨光, 周巧云, 于春霞. 应用花粉直感现象鉴定黄早四作父本的杂交种纯度[J]. 种子科技, 1998(6): 38-39

光照强度对温光敏细胞核雄性不育小麦育性的影响

作者: 张建奎, 董静, 余国东, 宗学风, 李伯群, ZHANG Jian-kui, DONG Jing, YU Guo-dong, ZONG Xue-feng, LI Bo-qun

作者单位: 张建奎, 宗学风, ZHANG Jian-kui, ZONG Xue-feng(西南大学农学与生物科技学院/农业部生物技术与作物品质改良重点开放实验室, 重庆, 400716), 董静, DONG Jing(西南大学农学与生物科技学院/农业部生物技术与作物品质改良重点开放实验室, 重庆400716; 湖北省农业科学院, 武汉430064), 余国东, 李伯群, YU Guo-dong, LI Bo-qun(重庆市农业科学院, 重庆, 402160)

刊名: 植物遗传资源学报 

英文刊名: JOURNAL OF PLANT GENETIC RESOURCES

年, 卷(期): 2011, 12(2)

参考文献(25条)

1. 杨文平; 郭天财; 刘胜波 [两种穗型冬小麦品种旗叶光合特性和水分利用对光强的响应](#) [期刊论文] - [华北农学报](#) 2008(02)
2. 李永庚; 于振文; 梁晓芳 [小麦产量和品质对灌浆期不同阶段低光照强度的响应](#) [期刊论文] - [植物生态学报](#) 2005(05)
3. Wardlaw I F; Moncur L [The response of wheat to high temperature following anthesis I. The rate and duration of kernel filling](#) 1995
4. 元生朝; 张自国; 许传祯 [光照诱导湖北光敏感核不育水稻育性转变的敏感期及其发育阶段的探讨](#) 1988(01)
5. 张建奎; 董静; 宗学风 [温光敏细胞核雄不育小麦雄性败育的细胞学观察](#) [期刊论文] - [植物遗传资源学报](#) 2009(03)
6. 姚雅琴; 张改生 [K型小麦雄性不育及其保持系花药小孢子不同发育期ATP酶活性变化](#) 2000(03)
7. 张建奎; 何立人; 冯丽 [日长和温度对雄性核不育小麦C49S育性转换的影响](#) 1999(06)
8. 张黎萍; 荆奇; 戴廷波 [温度和光照强度对不同品质类型小麦旗叶光合特性和衰老的影响](#) [期刊论文] - [应用生态学报](#) 2008(02)
9. 刘霞; 尹燕桦; 姜春明 [花后不同时期弱光和高温胁迫对小麦旗叶荧光特性及籽粒灌浆进程的影响](#) [期刊论文] - [应用生态学报](#) 2005(11)
10. Murai K; Tsunewaki K [Photoperiod-sensitive cytoplasmic male sterility in wheat with Aegilops crassa cytoplasm](#) [外文期刊] 1993
11. Sasakuma T; Ohtsuka I [Cytoplasmic effects of Aegilops species having D2 genome in wheat: I. Cytoplasmic differentiation among five species regarding pistillody induction](#) 1979
12. 李生荣; 杜小英; 陶军 [小麦温光型两系恢复系MR168的选育与利用初报](#) [期刊论文] - [植物遗传资源学报](#) 2009(02)
13. Moffatt B A; Pthe C; Laloue M [Metabolism of benzyladenine is impaired in a mutant of Arabidopsis thaliana lacking adenine phosphoribosyltransferase activity](#) [外文期刊] 1991
14. Zhang J K; Zong X F; Yu G D [Relationship between phytohormones and male sterility in thermo-photoperiod-sensitive genic male sterile \(TGMS\) wheat](#) [外文期刊] 2006(1/2)
15. 张建奎; 董静; 宗学风 [温光敏核不育小麦C412S的育性转换及其APRT基因的表达](#) [期刊论文] - [作物学报](#) 2009(04)
16. 张建奎; 冯丽; 何立人 [温光型核雄不育小麦育性转换的温度敏感期和临界温度研究](#) [期刊论文] - [应用生态学报](#) 2003(01)
17. 张凤廷 [光温敏核雄性不育小麦的育性转换特点及恢复性研究](#) 2004
18. Xing Q H; Ru Z G; Zhou C J [Genetic analysis, molecular tagging and mapping of the thermo-sensitive](#)

[genic male-sterile gene \(wtms1\) in wheat](#) [外文期刊] 2003(8)

19. [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](#) [期刊论文]-[核农学报](#) 2001(02)
20. [邹应斌;周美兰;何觉民](#) [两系杂交小麦研究II.生态型雄性不育小麦的育性转换机制](#) 1992(06)
21. [何蓓如;董普辉;宋喜悦](#) [小麦温度敏感不育系A3314温敏特性研究](#) [期刊论文]-[麦类作物学报](#) 2003(01)
22. [赵昌平;张立平;李云伏](#) [小麦光温敏雄性不育相关基因的DDRT PCR分析及功能预测](#) [期刊论文]-[中国生物化学与分子生物学报](#) 2007(01)
23. [谭昌华;余国东;杨沛丰](#) [重庆温光型核不育小麦的不育性研究初报](#) [期刊论文]-[西南农业学报](#) 1992(04)
24. [何觉民;戴君惕;邹应斌](#) [两系杂交小麦研究I:生态雄性不育小麦的发现、培育及其利用价值](#) 1992(05)
25. [余遥](#) [四川小麦](#) 1998

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zwyczyxb201102022.aspx