

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

马晓娣¹, 王建树¹, 卢彦琦¹, 李素英², 刘国庆², 侯升林², 吕 芃², 籍贵苏², 杜瑞恒²

(¹河北工程大学 邯郸 056038; ²河北省农林科学院谷子研究所 石家庄 050031)

摘要:以回 18A 为母本、抗蚜保持系 130B 为父本, 回交 8 个世代育成夏播高粱不育系冀 130A。在选育过程中发现, 冀 130A 的不育度受温度影响。为进一步了解温度对该不育系育性的影响, 明确影响育性的临界温度, 为杂交制种提供依据, 对其进行了播期试验、异地种植和关键时期不同温度处理试验。结果表明: 旗叶伸展至抽穗期间平均气温低于 23℃, 不育度为 100%, 株间无差异; 平均气温高于 23℃, 部分花粉可育。随着温度升高, 可育花粉增多, 平均气温超过 26℃ 可明显观察到可育花粉, 自交结实率可达 30%, 株间有差异。通过石蜡制片及显微摄影观察, 对不同温度处理条件下花药和花粉特征进行了研究。结果显示: 低温导致绒毡层细胞出现明显异常, 主要表现为液泡化、径向肥大和延迟退化; 低温条件下早期败育的花药, 造孢细胞或花粉母细胞较早出现解体, 无单核花粉粒产生。旗叶伸展至抽穗期间温度高于 26℃ 时, 花粉母细胞减数分裂形成单核花粉粒, 之后部分花粉粒出现畸形, 但仍有约 40% 的正常花粉粒可以存活到花药开裂并散粉。低温导致绒毡层细胞出现异常, 是花粉败育的主要原因。冀 130A 的育成, 扩大了高粱不育系的差异, 有利于商业化的高粱杂交种选育, 同时为深入研究高粱不育系的败育机理提供了新种质资源。对冀 130A 育性转换特性研究为利用该不育系进行杂交种制种选择制种区域和播期奠定了基础。

关键词:高粱; 温敏性; 雄性不育; 花粉; 败育

Characterization of Fertility and Pollen Abortion of Sorghum Sterile Line Ji 130A under Different Temperature Conditions

MA Xiao-di¹, WANG Jian-shu¹, LU Yan-qi¹, LI Su-ying², LIU Guo-qing², HOU Sheng-lin²,
LV Peng², JI Gui-su², DU Rui-heng²

(¹Hebei University of Engineering, Handan 056038;

²Millet Crops Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050035)

Abstract: A new male sterile line Ji 130A was developed after backcrossing Hui 18A with an aphid-resistance parental line 130B for 8 generations. It was discovered that temperature affects sterility of Ji 130A. In order to understand the effect of temperature to sterility of Ji 130A, confirm critical temperature for the hybrid production, the Ji 130 was sown on different dates in different growing sites and various temperature conditions at key growing stages were applied. The results showed that Ji 130A was completely sterile when the mean temperature was below 23℃ during period from flag leaf to heading but fertile pollen appeared when temperature was above 23℃. Its selfing rate could reach 30% with variation among individual plant when temperature was over 26℃. The development of its anther and pollen under various temperature conditions was characterized by using paraffin sectioning and microphotography. The results showed that under low temperature conditions the tapetal cells appeared obvious deformity including vacuolation, radial expansion and delayed degradation. The sporogenous cell or pollen mother cell of early abortive anther disintegrated earlier than normal and no mononuclear pollen developed. When the mean temperature was over 26℃ during period from flag leaf to heading mononuclear pollen developed with deformity but some about 40% were normal and could

收稿日期: 2011-08-25 修回日期: 2011-11-28

基金项目: 国家现代高粱产业技术体系 (CARS-06-04-09)

作者简介: 马晓娣, 硕士研究生, 教授, 主要从事发育植物学研究。E-mail: maxiaodi@hebeu.edu.cn

通讯作者: 杜瑞恒, 研究员, 主要从事高粱遗传育种研究。E-mail: rhdu@hotmail.com

be released from anther. Low temperature causes tapetal cells abnormal, which may be the main reason causing pollen abortion. Ji 130A was identified and developed, it diversifies the cytoplasm and nuclear genetic base of sorghum hybrids and is beneficial to the commercial hybrid breeding programs. Ji 130A can be as a new germplasm to research the pollen abortion mechanism, the research on the characteristics of fertility alteration lays a foundation to select the region and sowing time for hybrid production.

Key words: Sorghum; Thermosensitivity; Male-sterility; Pollen; Abortion

高粱是世界上仅次于小麦、水稻、玉米和大麦的第五大粮食作物。高粱具有抗旱、耐涝、耐瘠、耐高温等抗逆性,在干旱、半干旱、瘠薄、低洼易涝地区广泛种植,耐低投入特性突出。高粱用作粮食、饲料、饲草和生产生物燃料。为满足日益增长的人口对食物和能源的需求,在全球气候变暖和干旱的大趋势下,对有限淡水资源的需求量日益增加,并需要开垦利用边际土地,以提高粮食产量和发展生物质能源。这些因素暗示着像高粱这样的旱地作物的重要性在不断增长^[1-2]。在中国,高粱是酿造白酒的重要原料,是其他作物所不能代替的^[3]。

高粱具有明显的杂种优势,其杂种优势得益于细胞质雄性不育系的发现和利用,高粱不育系种质资源对高粱杂种优势起着关键作用^[4-10]。报道已发现的高粱细胞质雄性不育类型有 22 种之多,划分为 7 类,即 A1、A2、A3、A4、A5、A6 和 9E。细胞学研究表明,高粱细胞质雄性不育系雄性败育基本分为 3 种类型:一是小孢子败育,如 A1、A2、A6;二是花粉粒败育,如 A3;三是花药不开裂,如 A4 和 9E。目前仅有 A1、A2 两种细胞质不育系找到了恢复系,得到了利用,其他细胞质不育系均无恢复系而无法利用。由此可见,选育新的高粱不育类型是开拓高粱杂种优势利用前景的关键环节。

早在 1971 年 Downes 等^[11]的试验证明,在高粱花粉母细胞减数分裂期间 18°C /13°C(日/夜)的低温能够导致多数高粱品种的雄性不育,这一时期正处在旗叶吐出至伸展期,已证明是夜间温度而不是平均温度导致花粉败育的关键。Brooking^[12]进一步研究表明高粱对夜间低温的最敏感时期是在花粉母细胞发育期到减数分裂的细线期,对整个花序而言,敏感期从旗叶叶舌的出现到叶鞘伸长 20cm,约 6~7d,败育的原因是花粉缺乏淀粉和较低的自由脯氨酸造成的。2003 年 Osuna-Ortega 等^[13]研究认为温度对高粱花粉量和可育性的影响最大,灌水等其他因素在低温条件下影响不大。有报道认为,温度对 A1、A2 高粱细胞质雄性不育系的育性有影响。在花粉母细胞时期用 40°C 高温热激处理可产生可育的

黄色花药,低温促进不育,高温促进可育^[14-15]。Isao 等^[16]的研究表明一些高粱不育系受高温或低温影响,花粉的不育性转换的关键时期为液泡化花粉阶段的早期至花粉充满阶段。汤文光等^[17]、陈同旺等^[18]于 20 世纪 90 年代育成了高粱温敏不育系湘糯梁 S-1 和九疑糯梁 S-1,两者均为高温下可育、低温下不育,临界温度分别为 23.8°C 和 28°C,已利用这两个不育系育成了糯高粱杂交种在生产上应用。

本研究在利用 A1 细胞质不育系回 18A 和抗蚜保持系 130B 进行回交选育不育系时,发现其回交后代的育性受温度影响较大,为明确该不育材料受温度影响的大小、临界温度、敏感时期、败育机理等问题,2009-2010 年设置了异地种植试验、播期试验、关键时期温度处理试验、花药细胞学观察试验。对临界温度、敏感时期、败育特征的研究有助于理解 A1 细胞质不育系败育的机理并加以利用。

1 材料与方法

1.1 材料

以回 18A 为母本、130B 为父本进行杂交,组成回交组合。回 18A 是以承 16B × 1211B 选育出的保持系为父本与承 16A 回交育成的稳定不育系,承 16A 为 A1 高粱不育系,由原承德农科所育成。130B 为河北省农林科学院谷子研究所筛选鉴定出的抗蚜保持系,对高粱蚜有明显抗性。冀 130A 是以回 18A 母本与 130B 回交 8 代后的稳定不育材料。

1.2 方法

1.2.1 冀 130A 的选育 回交 2006 年冬季在海南三亚以回 18A 为母本,130B 为父本杂交,2007 年夏季在河北石家庄种植杂种一代,选择不育单株与 130B 回交。2007 冬季在海南种植夏季回交的材料,在后代中选择不育单株继续回交,2008 年夏季在石家庄种植,选择不育单株回交。如此反复异地加代,于 2008 年冬在海南选育出不育度 100%、不育株率 100% 的穗行。在石家庄,因与抽穗前一周内温度有关,不育度变化在 70%~95% 之间。

自交 在石家庄选择自交穗,在海南种植,鉴定

其育性。

杂交 在海南和石家庄选择不育穗和不同高粱恢复系杂交,组配组合并鉴定育性,选育优势组合。

不育度、不育株率调查统计 调查套袋自交不育穗的小花数和子粒数(结实小花数),不育度 = (小花总数 - 子粒数) / 小花总数 / 100。套袋自交不育穗行的单株,群体在 50 株以上,成熟时调查各株的结实情况,结实率低于 50% 的记为不育株,不育株率 = 不育株数 / 总株数 / 100。

1.2.2 不同播期试验 2009 年在石家庄安排播期试验,播期为 5 月中旬、5 月下旬、6 月上旬、6 月中旬、6 月下旬、7 月上旬,每期种植 100 份,行长 2m,每份种植 15~20 株,使旗叶伸展期分别处在 7 月下旬、8 月上旬、8 月中旬、8 月下旬、9 月上旬、9 月中旬。

1.2.3 异地种植试验 2010 年在石家庄的鄯马,张家口的宣化、崇礼、蔚县以及海南三亚进行异地种植,种植回交的材料 100~500 份不等,行长 2m,每份种植 15~20 株。在石家庄 8 月 10 日左右高粱处在旗叶伸展期,日平均温度在 26℃ 左右,最高气温在 32~38℃。在张家口 7 月 20 日左右高粱处在旗叶伸展期,日平均温度在 23~26℃,最高气温在 34~39℃。在海南三亚 1 月 20 日左右高粱处在旗叶伸展期,日平均气温在 23℃ 左右,最高气温在 25~29℃。

1.2.4 不同时期不同温度处理试验 2009 年在直径 40cm 的花盆内种植 3 个回交稳定的 130A 穗行,每个种 6 个花盆。每个花盆种植 3 株,7 月中旬开始,每 7d 播一期,共播 3 期。当最高气温降到 30℃ 以下时,每期的 3 盆放在温室内,保持平均温度 26℃ 以上,最高温度在 38℃ 左右;另 3 盆放在室外,保持低温,最高温度在 30℃ 以下,在搬入温室前标明每株发育进程,如旗叶的伸展情况和穗的抽出情况。开花时观察花药的大小、颜色和花粉散落情况,取穗中部的小花固定,在显微镜下观察育性特征。开花前每株套袋自交,统计结实性。

1.2.5 花药细胞学观察 取材与固定 以不同温度处理的高粱为试材,选首次抽出的穗,取中部小花,分别放在盛有卡诺固定液的小瓶中,抽真空。卡诺固定液固定 24h 后,转移到 70% 乙醇中保存。

石蜡制片 取出固定后保存的小花,剥取花药,按常规石蜡制片程序脱水、浸蜡、包埋及切片,横切花药,切片厚度为 5μm,番红-固绿双重染色,光学树脂胶封藏。

显微摄影 Olympus 显微镜镜检切片,并进行显微摄影。

2 结果与分析

2.1 冀 130A 的生物学特点

经 4 年 8 个世代的回交选育,育成稳定的冀 130A,该不育系株高 140cm,中部节间直径 1.2cm,坚韧抗倒伏,总叶片数 18,叶片上举,旗叶短小,功能叶可达 12 叶,叶色青秀不早衰。子粒棕色,千粒重 31g,每穗 2000 粒左右,单穗粒重 60g,纺锤穗型,中等偏紧,穗长 30cm。春播生育期 120d,夏播 100d。抗高粱蚜和麦蚜、抗旱、抗渍、抗叶病。抽穗前 7d,即旗叶伸展期在平均气温 23℃ 的气温环境下,不育度 100%,不育株率 100%;在平均气温高于 23℃ 的情况下,随着温度的升高,不育度逐渐减低,变化在 70%~98% 之间,在石家庄自交结实的子粒,冬天在海南种植仍为不育株,不育度 100%,不育株率 100%。冀 130A 在较好的环境条件下种植有二次开花现象,二次开花多为可育花药,在套袋自交的情况下自交结实,自交结实的子粒下代种植,仍为不育株。用 300 多个 A1 类型的恢复系和冀 130A 杂交,Fi 代均为可育,说明该不育系的细胞质仍为 A1 类型,且杂种优势明显,容易找出理想的恢复系。Fi 的抗病性和抗蚜性明显好于其他不育系的 Fi 代,表明利用冀 130A 能够明显提高杂交种的抗病性和抗蚜性,容易选出抗蚜的杂交种。

2.2 冀 130A 不育性与温度

冀 130A 的育性受温度影响的特点是在异地选育过程中发现的。将 2008 年冬海南收获的 100 对回交后代于 2009 年夏在石家庄分 6 期种植,各期的不育度情况如表 1。

表 1 不同播期冀 130A 的育性变化

Table 1 Fertility change of Ji 130A with different sowing dates

地点	播期	旗叶伸展期气温(℃)		不育度(%)	不育株率 (%)
		Temperature in the period			
		Place	Sowing date	of flag	leaf extending
		平均	最高		
三亚	11 月中旬	23	30	100	100
石家庄	5 月中旬	27	40	70 ~ 80	100
石家庄	5 月下旬	28	40	70 ~ 90	100
石家庄	6 月上旬	26	36	90 ~ 100	100
石家庄	6 月中旬	25	30	95 ~ 100	100
石家庄	6 月下旬	23	35	100	100
石家庄	7 月上旬	20	32	100	100

表 1 数据表明, 旗叶伸展期及其前后约 7d 的气温和育性有明显关系。在高温条件下不育度降低, 低温条件下不育度提高。从平均气温看, 23 ~ 24℃ 是育性的临界温度, 但最高温度也值得关注。旗叶伸展期及其前后约 7d 内的极端高温会明显促进结实, 这一观点由 2010 年的异地种植试验证实, 试验结果见表 2。

表 2 异地种植冀 130A 的育性变化

Table 2 Fertility change of Ji 130A in different growing places

地点 Place	播期 Sowing date	旗叶伸展期气温(℃) Temperature in the period of flag leaf extending		不育度 (%)	不育株率 (%)
				Sterility	Sterile
		平均	最高	rate	plant rate
海南三亚	11 月中旬	23	30	100	100
石家庄鄯马	6 月上旬	27	38	70 ~ 90	100
张家口宣化	5 月上旬	26	40	50 ~ 80	100
张家口崇礼	5 月中旬	26	36	90 ~ 100	100
张家口蔚县	5 月下旬	23	34	90 ~ 100	100

表 2 中, 表现最为明显的是张家口宣化 5 月上旬播期, 旗叶伸展期正值 7 月下旬, 最高温度达 40℃, 花药黄色、肥大, 有一定花粉, 但不是很多, 不育度在 50% ~ 80% 之间。而在张家口的蔚县 5 月下旬播种, 旗叶伸展期在 8 月上旬, 最高温度仅达 34℃ 左右, 不育度明显提高到 90% ~ 100%。两地在旗叶伸展期平均气温差异不大, 但最高气温差异较大, 据此推断, 最高温度对育性的影响可能大于平均温度。这和 Downes 等^[11] 研究有所不同, 本研究导致花粉可育的夜间温度多在 15℃ 以上, 白天多在 25℃ 以上。温度对高粱花粉败育的影响是夜间和白天温度变化综合作用的结果。

2009 年观察到在旗叶伸展期前期遇到强降雨天气, 持续了 3d 的低温, 而后是雨后的闷热天气, 结果出现了不育系自交穗上部不育度 100%, 下部不育度 80% 的特殊表现。历年的结果表明, 温度对冀 130A 育性的影响总体规律是低温促进不育, 最高温度不长期超过 30℃, 日平均温度低于 23 ~ 24℃ 时, 不育度达 100%, 不育株率 100%; 旗叶伸展期日最高温度超过 30℃, 日平均气温超过 23℃ 时, 不育度下降; 旗叶伸展期日最高温度在 38℃ 以上, 不育度降低到 50%。因此, 制种时要选择冷凉地区作为适宜制种区, 选择适当播期, 使旗叶伸展期的平均温度在 23℃ 左右。

2.3 冀 130A 不育系的温度敏感期

不同时期温度处理试验结果见表 3。从表 3 看出, 当高粱幼穗抽出 1/2 时, 冀 130A 育性不受温度变化的影响, 花药的大小和颜色没有差异, 高温和低温处理之间不育度均为 100%。当旗叶完全展开, 开始抽穗时, 下半部的花药变大、变黄, 有少量花粉散出, 但自交结实极低, 不育性受影响较小。当旗叶刚抽出 1/2 时整穗的花药变大, 变黄, 有少量花粉散出, 有 8% 的自交结实, 说明不育性受到温度的一定影响。当旗叶露头时开始接受温度处理, 花药变大、变黄, 有少量花粉散出, 不育度在 90% 左右, 育性受到温度影响较大。在温室内, 温度对冀 130A 的育性影响不像田间影响那么显著, 可能和温室光比较弱有关。上述结果表明, 冀 130A 的温度敏感期在旗叶伸展期及其前后, 这一时期大约为 7d。这一结果和 Brooking 等^[12, 16] 研究结果相一致。

表 3 不同发育时期不同温度处理冀 130A 育性变化(2009)

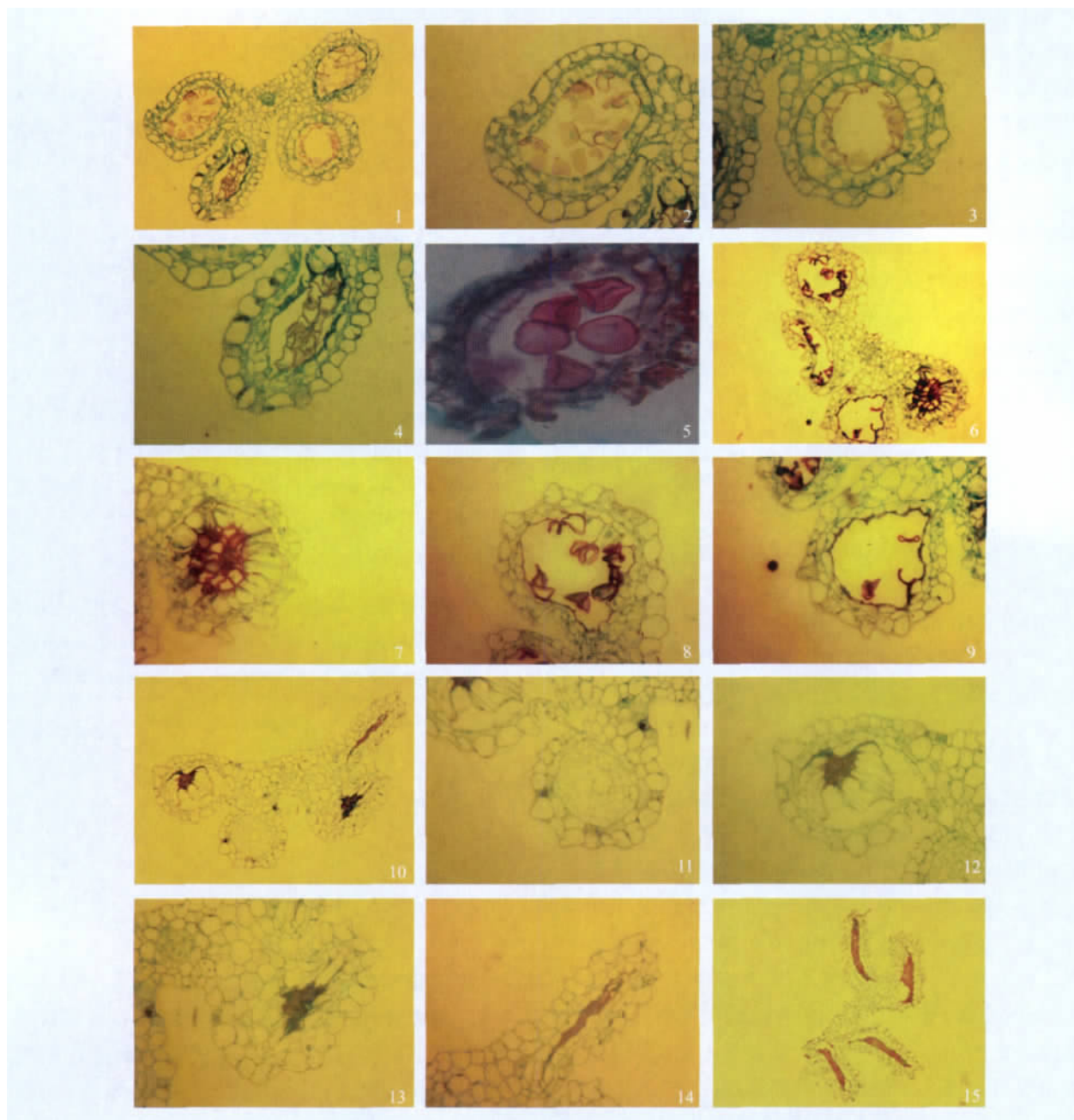
Table 3 Fertility change of Ji 130A treated with different temperatures at different growing stage(2009)

发育期 Growing stage	气温(℃)		不育度(%) Sterility rate	气温(℃)		不育度(%) Sterility rate
	Temperature			Temperature		
	平均	最高		平均	最高	
1/2 穗抽出	22	30	100	26	38	100
旗叶展开	22	30	100	26	38	98
1/2 旗叶伸出	22	30	100	26	38	92
旗叶露头	22	30	100	26	38	90

2.4 花药败育类型和败育机理

2.4.1 高温条件下花药的结构特征 显微观察结果表明, 日平均温度超过 26℃, 最高温度超过 35℃ 时, 花药能膨大形成花粉囊, 并产生药隔组织(图版 I—1)。表皮细胞整齐; 药室内壁细胞 1 层, 较小; 中层细胞 2 ~ 3 层, 发育过程中逐渐解体; 绒毡层细胞 1 层, 个大, 花粉粒发育后期仍尚未完全解体(图版 I—2 ~ 4)。花粉母细胞能进行减数分裂产生单核花粉粒(图版 I—2), 部分单核花粉粒出现畸形, 干瘪皱缩, 但也有发育正常的花粉粒, 比率约 40% (图版 I—5)。这是高温条件下冀 130A 自交部分结实的原因。

2.4.2 低温条件下花药的结构特征 在低温条件下, 花药中能膨大形成花粉囊, 并产生药隔组织(图版 I—6)。表皮细胞较整齐; 药室内壁细胞较小; 中层部分解体, 残留 1 层细胞; 绒毡层细胞表现为高度液泡化并径向肥大(图版 I—7), 之后逐渐解体



图版 I 花药的发育

Plate I The development of anther

1~5: 高温条件下的花药; 1: 花粉囊和药隔, $\times 160$; 2: 绒毡层和单核花粉粒, $\times 400$; 3: 绒毡层和开始解体的花粉粒, $\times 400$; 4: 正在解体的绒毡层和花粉粒, $\times 400$; 5: 发育正常的花粉粒, $\times 640$ 。6~9: 低温条件下的花药; 6: 花粉囊和药隔, $\times 160$; 7: 高度液泡化并径向肥大的绒毡层和细胞质稀薄的花粉粒, $\times 400$; 8: 正在解体的绒毡层和花粉粒, $\times 400$; 9: 解体的绒毡层和花粉粒, $\times 400$ 。10~15: 低温条件下早期败育的花药; 10: 花粉囊和药隔, $\times 160$; 11: 发育初期的花粉囊, $\times 400$; 12: 中层、绒毡层和造孢细胞已解体的花粉囊, $\times 400$; 13: 开始皱缩的花粉囊, $\times 400$; 14: 皱缩的花粉囊, $\times 400$; 15: 严重皱缩的花粉囊和药隔, $\times 160$ 。

1~5: Anther under high temperature conditions. 1: pollen sac and connective, $\times 160$; 2: tapetum and mononuclear pollen grain, $\times 400$; 3: tapetum and pollen grain which began to break up, $\times 400$; 4: tapetum and pollen grain which are both breaking up, $\times 400$; 5: normal pollen grain, $\times 640$ 。6~9: Anther under low temperature conditions. 6: pollen sac and connective, $\times 160$; 7: tapetum with serious vacuolation and radial enlargement, pollen grain with thin cytoplasm, $\times 400$; 8: tapetum and pollen grain which are both breaking up, $\times 400$; 9: tapetum and pollen grain which have both broken up, $\times 400$ 。10~15: Early abortive anther under low temperature condition. 10: pollen sac and connective, $\times 160$; 11: earlier pollen sac, $\times 400$; 12: pollen sac with broken middle layer tapetum and sporeogenous cell, $\times 400$; 13: pollen sac which began to crumple, $\times 400$; 14: crumpled pollen sac, $\times 400$; 15: seriously crumpled pollen sac and connective, $\times 160$ 。

消失(图版 I—8~9)。花粉母细胞减数分裂形成单核花粉粒后,伴随着绒毡层细胞的高度液泡化及径向肥大,其细胞质变得稀薄,细胞壁开始变形(图版 I—7~8),最后细胞质消失,细胞壁解体,药室内只剩下无细胞结构的残留物(图版 I—9)。和高温条件下的花药结构相比,绒毡层细胞高度液泡化并径向肥大是造成花粉败育的重要原因,败育时期在四分体之后单核花粉粒的发育过程中。这一结果和 Brooking 等^[12]研究结果相一致。

2.4.3 低温条件下花药的早期败育特征 在低温条件下,还发现早期败育的花药。花药中能膨大形成花粉囊,并产生药隔组织(图版 I—10)。表皮细胞较整齐;药室内壁细胞较小;早期可见中层、绒毡层和造孢细胞(图 11),但均较早解体,仅剩残留物,花粉囊出现皱缩(图版 I—12~14)。后期表皮细胞由整齐变得不再规整,花粉囊及药隔均严重皱缩(图版 I—15)。在低温条件下,花药早期败育是不育度 100% 的保证。绒毡层细胞提早解体是不能形成单核花粉粒的原因。

3 讨论

3.1 A1 细胞质不育系的育性变化与温敏不育系

在遗传上光温敏高粱不育系的育性由 1~2 对隐性基因控制。利用简单核基因控制的温敏不育系可以实现由“三系”变“两系”,使杂种优势利用简单化。同时可以利用多种细胞质选育杂交种,摆脱因单一细胞质造成的细胞质遗传病害大流行的危险。多种来源的种质资源均可做温敏不育系的恢复系,使用温敏不育系有可能突破目前因单一细胞质造成的高粱育种徘徊不前的局面。A1 细胞质不育系在生产上得到广泛利用,多数表现对温度和光照反应不敏感,但早先报道认为 A1 细胞质的不育性受 40℃ 高温影响可产生可育花粉,但在自然条件下很难实现不育系自交繁殖,没有育成温敏不育系。Isao 等^[16]的研究表明不育系 MS138 在夜间温度超过 24℃ 时育性发生变化,而 Tx3048 在白天温度超过 26.5℃ 时育性发生变化,可见一些不育系的育性确实受温度影响,材料间存在差异。本研究使用的不育亲本材料回 18A 是典型 A1 细胞质不育系,在不同的温度、光照条件下育性稳定,130B 是筛选出的抗蚜保持系,在所配制的 7 个组合中, F_1 有 2 个组合表现恢复,有 5 个组合表现部分恢复,花药表现部分败育,单株之间的育性有差异,仅回 18A × 130B 中有育性较好的不育单株,选择育性较好的不育单

株进行多代回交,育成具有温敏特性的冀 130A。这一结果表明,高粱核质互作不育系的核质互作是复杂的,尽管细胞质都源于美国的 TX623 和不同的保持系回交之后,获得了众多的稳定不育系。和 130B 测交后, F_1 代的育性有差异,130B 对不同不育材料的保持效果不同,说明不同的保持材料对 A1 细胞质产生了不同作用,用 130B 回交之后,育性具有明显的温敏特性,更证明了不同的细胞核对细胞质的影响不同。温敏不育系湘糯梁 S-1 源于常规品种湘白糯高粱,是在不同季节种植过程中发现并逐渐选育而成^[12]。九疑糯梁 S21 是由湘糯梁 S-1 系统选育而成,自 1990 年以来 20 年的时间内尚无利用这两个不育系通过杂交转育而成新温敏不育系的报道,也无用其他方法育成温敏高粱不育系的报道,目前对温敏不育性遗传了解甚少,说明其温敏不育遗传比较复杂。冀 130A 刚刚育成,其温敏不育特性也有待深入研究,如果冀 130A 的不育特性是由简单的核基因控制,能够通过杂交获得理想的两用不育系,将有利于丰富高粱不育材料,提高高粱杂种优势利用的水平。

3.2 败育时期和败育特征

试验研究结果表明,冀 130A 的败育时期为小孢子发育期,花粉母细胞减数分裂形成单核花粉粒,之后花粉粒开始败育,绒毡层细胞出现明显的异常现象,主要表现为细胞高度液泡化和径向肥大;早期败育表现为绒毡层细胞提早解体,造孢细胞或花粉母细胞退化解体,无单核花粉粒产生,花粉囊及药隔均严重皱缩。从植株外部形态看,败育时期正是旗叶伸展期。这一结果和以前的研究结果相同^[11-12,16]。绒毡层作为紧邻花粉母细胞的一层细胞,具有为花粉母细胞输送和供应养分的功能,还通过自身解体为花粉粒发育提供养料^[19]。低温导致绒毡层细胞高度异常或提早解体,花粉粒或花粉母细胞不能正常获取营养等物质,此乃导致花粉粒或花粉母细胞退化解体即花粉败育的重要原因。本试验观察结果还显示,在高温环境下生长的高粱植株,大部分花粉粒发育中出现干瘪皱缩并逐渐解体,但仍有发育正常的花粉粒形成。Sane 等^[20]的研究表明,低温条件下不育系花药中的 ATP 酶动力要比保持系和恢复系中的低。Brooking^[12]等研究认为低温造成的不育和花粉缺乏淀粉粒有关,淀粉粒是花粉的能源物质,缺乏淀粉粒意味着花粉缺乏能量。温度是能量水平的反应,高温条件下,高粱不育细胞质 ATP 酶动力可能得

到提高,能够产生足够的淀粉粒供花粉发育所需,从而提高冀 130A 的可育性^[21]。

3.3 冀 130A 的研究利用前景

冀 130A 在石家庄以南地区春播,表现部分可育,可自交繁殖,进行亲本繁殖;在张家口、承德冷凉地区适时晚春播,表现不育,可进行制种,实现一系两用。在目前的基础上,利用该不育材料抗蚜特性,通过大量测配,已筛选出 2 个抗蚜的优势组合,正在参加区试,有望在夏播区种植,解决蚜虫危害问题。冀 130A 的潜在利用价值在于用该材料的温敏特性,杂交转育新的温敏不育系,育成多种细胞质的不育材料,丰富高粱不育系的类型。利用冀 130A 的育性温敏特性,可以进行高粱不育机理的分子生物学研究,探讨与败育有关的酶和基因,对不育基因进行精确定位。

参考文献

- [1] Paterson A H. Genomics of Sorghum [J/OL]. Inter J Plant Genom 2008: 1-6
- [2] 卢庆善. 高粱学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999
- [3] 蔡忠杰, 宋仁本, 邹剑秋. 辽宁省高粱育种工作的现状及展望 [J]. 杂粮作物 2002 22(1): 11-13
- [4] 梁小红, 仪治本, 邓小敏, 等. 高粱 A6 型细胞质雄性不育系花粉母细胞减数分裂行为的观察和分析 [J]. 作物学报 2010, 36(4): 709-712
- [5] 张振刚, 张福耀, 赵威军, 等. 高粱 CMS 与核质基因组互作综述 [J]. 杂粮作物 2006 26(5): 326-329
- [6] 徐秀德, 董怀玉, 姜钰, 等. 高粱抗病虫资源创新与利用研究 [J]. 植物遗传资源学报 2004 5(4): 360-363
- [7] 卢庆善, 孙毅, 华泽田. 农作物杂种优势 [M]. 北京: 中国农业科技出版社 2002
- [8] 卢庆善, 孙毅. 杂交高粱遗传改良 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社 2005
- [9] 张福耀, 牛天堂, 韦耀明, 等. 高粱非买罗细胞质 A2, A3, A4, A5, A6, 9E 雄性不育系研究 [J]. 山西农业科学, 1996, 24(3): 3-6
- [10] Sivaramakrishnan S, Seetha K, Reddy B V S. Characterization of the A4 cytoplasmic male-sterile lines of sorghum using RFLP of mtDNA [J]. Euphytica 1997 93: 301-305
- [11] Downes R W, Marshall D R. Low temperature induced male sterility in *Sorghum bicolor* [J]. Austr J Exper Agric Animal Husb, 1971, 11: 352-356
- [12] Brooking I R. Male sterility in *Sorghum bicolor* (L.) Moench induced by low night temperature. I. timing of the stage of sensitivity [J]. Austr J Plant Physiol 1976 3: 589-596
- [13] Osuna-Ortega J, Mendoza-Castillo M, Del C, Mendaza-Onofre L E. Sorghum cold tolerance, pollen production, and seed yield in the Centranl High Valleys of Mexico [J]. Maydica 2003 48: 125-132
- [14] 程庆军, 张福耀, 平俊爱, 等. 高粱异胞质雄性不育研究进展与展望 [J]. 杂粮作物 2005 25(1): 14-18
- [15] 孙振雷, 张金财, 黄凤兰, 等. 高粱不同细胞质雄性不育系的研究 [J]. 中国农学通报 2003 19(2): 28-30
- [16] Isao T, Emi I, Masanori Y, et al. The phenotypic fluctuation factor for male sterility in A1 Male-Sterile Lines of Sorghum (*Sorghum bicolor* Moench) [J]. Sci Rep Grad Sch Life Envi Sci Osaka Pref Univ, 2008 59: 1-6
- [17] 汤文光, 陈淑君, 李光林, 等. 两系法杂交高粱新品种湘糯梁 (S) 1 号的选育与应用 [J]. 湖南农业科学, 1994 (5): 4-6
- [18] 陈同旺, 何良胜, 唐安成, 等. 两系法高粱不育系“九疑糯梁 S-1”选育及应用研究 [J]. 作物研究 2002 (4): 176-177
- [19] 孙连发, 余肇福. 孕穗期低温对高粱花药解剖结构的影响 [J]. 东北农业大学学报 1995 26(4): 318-323
- [20] Sane A P, Nath P, Sane P V. Differences in kinetics of F1 - AT-Pases of cytoplasmic male sterile, maintainer and fertility restored lines of sorghum [J]. Plant Sci 1997 130(1): 19-25
- [21] 赵丽芳, 张福耀. 高粱雄性不育系败育机理研究进展 [J]. 杂粮作物 2009 29(1): 11-13