

烟草 *sua* 不育胞质雌蕊类型及对种子产量的影响

许杰¹, 廖菊够², 魏卓², 杨帅¹, 肖江海¹, 张立猛^{1,3}, 郑昀晔^{1,3*}

- 玉溪中烟种子有限责任公司, 云南 玉溪 653100
- 云南大学生态与环境学院, 云南 昆明 650091
- 云南省烟草农业科学研究院, 云南 昆明 650021

摘要: 相较于同型可育系, *sua* 胞质不育系存在花柱和柱头形态多样的情况, 且在烟草繁种生产中落花落果严重。为探究烟草 *sua* 胞质不育系雌蕊类型对种子质量的影响, 以 MS K326 为材料, 统计雌蕊类型并分类授粉, 观察花粉萌发和花粉管生长, 统计坐果率、单果粒数、千粒重和发芽率, 观察不同类型雌蕊的子房并计算胚珠有效着生面积。结果表明, MS K326 雌蕊主要有花柱圆形柱头两裂(同可育系雌蕊)、花柱圆形柱头多裂(3裂、4裂及以上)、花柱扁长、花柱扁短、花柱开裂和花柱分离6大类; 随着花期延长, 圆柱型雌蕊下降50%以上, 而裂柱型雌蕊升高25%以上; 不同雌蕊类型授粉后千粒重和发芽率无显著差异, 坐果率和单果粒数总体表现为: 圆柱型雌蕊>扁柱型雌蕊>裂柱型雌蕊; 圆柱型雌蕊坐果率在90%以上, 单果粒数大于2200粒, 扁柱型和裂柱型雌蕊分别比圆柱型雌蕊的坐果率降低19.85%和58.99%, 单果粒数降低46.73%和86.63%; MS K326 雌蕊畸形主要是由雄蕊雌化后, 雌化的雄蕊与子房融合生长导致, 花柱变扁和花柱开裂显著减低胚珠有效着生面积, 胚珠有效着生面积为: 圆柱型雌蕊>扁柱型雌蕊>裂柱型雌蕊, 扁柱型雌蕊和裂柱型雌蕊胚珠有效着生面积分别比圆柱型雌蕊降低26.73%和50.79%, 这是畸形雌蕊单果粒数下降的重要原因; 而雌雄蕊融合生长导致的花柱畸形, 降低了花柱中花粉的萌发和花粉管生长效率, 可能是导致畸形雌蕊坐果率低的重要原因。上述研究明确了 MS K326 不同类型雌蕊授粉后对种子产量的影响及原因, 并为可能的 *sua* 不育系繁种生产产量改良提供理论参考。

关键词: 烟草, 雌蕊畸形; 花粉萌发生长; 坐果率, 单果粒数

中图法分类号: S333.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2025)05-0899-08

Tobacco Sua Sterility Cytoplasmic Gynoeceum Types and Their Impact on Seed Yield

XU Jie¹, LIAO Ju-gou², WEI Zhuo², YANG Shuai¹, XIAO Jiang-hai¹,
ZHANG Li-meng^{1,3}, ZHENG Yun-ye^{1,3*}

- Yuxi Zhongyan Tobacco Seed Company, Yuxi 653100, China
- College of Ecology and Environment/Yunnan University, Kunming 650091, China
- Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Sciences, Kunming 650021, China

Abstract: Compared to the homotypic fertile lines, the *sua* cytoplasmic male sterile (CMS) line exhibits diverse styles and stigma morphologies, and suffers from severe flower and fruit drop during tobacco seed production. To investigate the impact of pistil types in the tobacco *sua* cytoplasmic male sterility line on seed yield and quality, using MS K326 as the material, this study statistically classifies and pollinates the pistil types, observes pollen germination and pollen tube growth, and records fruit-setting rate, seeds per fruit, thousand-seed weight, and germination rate. Moreover, it examines ovaries of different pistil types and calculates the effective ovule-bearing area. The results show that the pistils of MS K326 mainly fall into six categories: circular style with two-lobed stigma (similar to the fertile line), circular style with multifid stigma (three-lobed, four-lobed, and above), elongated flat style, short flat style, cracked style, and split style. As the flowering period extends, the proportion of cylindrical pistils decreases by more than 50%, while that of split-style pistils increases by more than 25%. There are no significant differences in thousand-seed weight and germination rate after pollination among different pistil types. The overall fruit set rate and seed count per fruit are: cylindrical pistils>flat style pistils>split pistils. The fruit set rate of the cylindrical pistils is above 90%, with more than 2200 seeds per fruit. Compared with cylindrical pistils, the fruit set rates of flat-styled and split-styled pistils decreases by 19.85% and 58.99%, and seed counts per fruit

收稿日期: 2024-12-05

修回日期: 2025-09-02

基金项目: 云南省烟草公司项目“烟草雄性不育系雌蕊畸形研究与调控”(2022530401740002)

第1作者简介: 许杰(1989-), 女, 硕士, 农艺师, 研究方向: 烟草种子技术。E-mail: xujie2025@126.com

*通讯作者: Author for correspondence. E-mail: zhengyunye2000@163.com

decreases by 46.73% and 86.63%, respectively. The pistil malformations of MS K326 gynoecium mainly result from the fusion of feminized stamens with the ovary after stamen feminization. A flattened style and a split style significantly reduce the effective ovule-bearing area of the ovary. The effective ovule-bearing area is: cylindrical pistils > flat style pistils > split pistils. Compared with cylindrical pistils, the effective ovule-bearing area of flat style and split pistils decreases by 26.73% and 50.79%, respectively, which is an important reason for the decrease in seed count of malformed pistils. The fusion growth of stamens and pistils leading to style malformation reduces pollen germination and pollen tube growth within the style, which may be an important reason for the low fruit set rate of malformed pistils. The study clarifies the impact of pollination with different pistil types in MS K326 on seed yield and the underlying reasons, providing a theoretical reference for potential yield improvement in seed production of sua sterile lines.

Keywords: Tobacco; pistil malformation; pollen germination and growth; fruit set rate; seed number per fruit

烟草是中国重要的经济作物之一,为保证品种纯度,充分发挥杂种优势,烟草胞质雄性不育得到广泛应用,雄性不育杂交种植已超过全国烤烟总种植面积的50%^[1]。目前,烟叶生产上主栽品种(如MS K326、MS 云烟87)的不育胞质均来自于香甜烟草(*Nicotiana. suaveolens*)^[2]。该类型雄性不育系雌蕊畸形率极高(>50%),授粉后落花落果严重,对种子生产造成极大损失。有研究表明,尽管细胞质遗传因子只占烟草遗传变异的很小一部分,但用其他*Nicotiana*物种的细胞质替代原有细胞质也会产生超出修改雄性生殖器官本身的影响^[3]。Berbec和Laskowska(2005)研究了14个不同来源不育胞质和它们的雄性可育品种cv. 'Wiślica'农艺性状和经济形状,结果显示,*cms raimondii*、*cms megalosiphon*、*cms occidentalis*的叶片尺寸减小,*cms plumbaginifolia*、*cms tabacum (glutinosa)*、*cms eastii*的植物明显更矮,*cms knightiana*、*cms raimondii*、*cms eastii*、*cms tabacum (glutinosa)*和*cms plumbaginifolia*的开花时间延迟^[4]。早在1955年,Izard和Hitier就发现*N. suaveolens*胞质来源的雄性不育系“花冠正常,雌蕊正常或缩短,具多裂柱头;雄蕊缺失,呈柱头状或心皮状;花的变异程度因核基因型和环境而异”^[5],并得到多位学者的证实^[6,7]。当前,关于烟草雄性不育的研究主要集中在雌蕊表型、细胞学、生理生化和以线粒体orf为主的分子机理等方面,对雌蕊表型及其影响研究还较为匮乏。

本文以MS K326为材料,通过观察雌雄蕊形态、比例、统计胚珠有效着生面积、研究不同雌蕊类型对花粉萌发和花粉管生长的影响,初步探讨了MS K326不同雌蕊类型对种子产量的影响及原因,为深入研究*N. suaveolens*胞质来源不育系雌蕊畸形的问题提供理论基础,并对该不育胞

质可能的畸形雌蕊改良、繁种生产产量提高提供理论依据,对烟草不育系种子生产具有重大意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料与处理

MSK326不同花柱和柱头形态的雌蕊。

1.2 雌蕊分类、比例及授粉

观察MS K326开放的花朵的雌蕊,按照雌蕊的形态对雌蕊进行分类;统计中心花开放后10 d、25 d和40 d各类型雌蕊数量,每次统计不少于500朵花,3次重复;对各类型雌蕊进行人工授粉,每个雌蕊类型授粉不少于30个,重复3次,成熟后统计坐果率;单果采收10个,去除果皮杂质、过45目筛后统计单果粒数和千粒重;对精选后的种子进行发芽试验,统计14 d发芽率,重复3次。

1.3 雌蕊形态学结构观察

选取小孢子母细胞减数分裂期的不同类型雌蕊的花蕾,分离出花柱及子房,在解剖镜下,取视野下照片,观察并统计不同类型雌蕊的子房形状、雌化雄蕊与子房的融合情况。将不同类型雌蕊子房横切为3 mm薄片,放置在解剖镜(10×)下,取视野下照片,观察子房结构。使用ImageJ软件,设置标尺为100 pix/mm,统计不同类型雌蕊畸形烟草子房中一室子房缺失株数及胚珠有效着生面积,每30个雌蕊一个重复,重复3次。

1.4 花粉萌发和花粉管伸长

选取未授粉的不同类型雌蕊各30个,取K326花粉于不同类型雌蕊柱头上授粉。授粉后,放置在人工气候箱(30℃)中萌发48 h后取出。将萌发后雌蕊在FAA固定液中固定4 h以

上,用蒸馏水冲洗干净,在 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 、 $45 \text{ }^\circ\text{C}$ 水浴中用软化 2 h,蒸馏水冲洗 3 次,然后用 0.1% 水溶性苯胺蓝染色 4 h ($25 \text{ }^\circ\text{C}$ 染色,1% 浓度 K_3PO_4 溶液配制)。取染色后雌蕊(包括子房、花柱、柱头)置载玻片上,加盖玻片轻轻压平,在 Olympus BX51 型显微镜的 WU(宽带紫外光激发)模式下观察。每张切片取 3 个视野观察柱头萌发状况,分类并统计花粉管在花柱中生长情况^[8]。另取不同类型雌蕊各 30 个,授粉后统计花粉管长入子房的花朵数量并计算比例,重复 3 次。

1.5 数据统计

采用 DPS7.05 对数据进行方差分析,采用

Excel2010 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 MS K326 雌蕊主要类型及比例

通过观察比较,MS K326 雌蕊主要分为花柱圆形柱头两裂(同可育系雌蕊形态)、花柱圆形柱头多裂(3 裂、4 裂及以上)、花柱扁长、花柱扁短、花柱开裂、花柱分离,共计 6 大类型(图 1, A-G)。并且,随着花期的延长,圆柱 2 裂雌蕊比例大幅下降,圆柱多裂雌蕊比例先升高后降低,扁长型雌蕊比例持续升高,扁短型雌蕊比例先升高后下降,裂柱型雌蕊(裂开和分离)比例则持续大幅升高(表 1)。

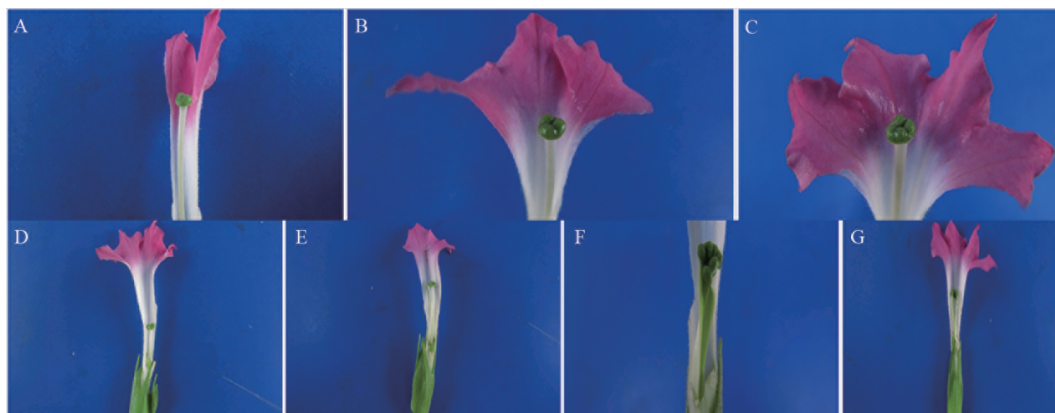


图 1 MS K326 不同雌蕊形态。A:圆柱 2 裂;B:圆柱 3 裂;C:圆柱多裂;D:花柱扁短;E:花柱扁长;F:花柱裂开;G:花柱分离

Fig. 1 Different pistil morphologies of MS K326. A: Cylindrical style with 2-lobed stigma; B: Cylindrical style with 3-lobed stigma; C: Cylindrical style with multi-lobed stigma; D: Flat and short style; E: Flat and long style; F: Split style; G: Separated style

表 1 不同雌蕊类型所占比例

Table 1 Proportion of different types of pistils

日期 Date	圆柱 2 裂	圆柱 3 裂	圆柱 多裂	花柱 扁长	花柱 扁短 Flat and short style	花柱 裂开	花柱 分离
	Cylindrical style with 2-lobed stigma	Cylindrical style with 3-lobed stigma	Cylindrical style with multi-lobed stigma	Flat and long style	Flat and short style	Split style	Separated style
10 d	77.55 a	6.06 a	0.91 c	10.63 b	3.91 c	0.89 c	0.05 c
25 d	6.31 b	7.13 a	13.97 a	12.34 ab	32.98 a	14.87 b	12.40 b
40 d	3.61 b	3.82 b	7.15 b	14.16 a	23.86 b	19.86 a	27.54 a

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments. ($P < 0.05$).

2.2 MS K326 不同雌蕊类型的授粉坐果率差异

区分不同类型雌蕊对授粉坐果的影响对后期差异原因研究和定向改良具有重要意义。经过精选之后,各雌蕊类型授粉后千粒重和发芽率

无显著差异。坐果率和单果粒数总体表现为:圆柱型雌蕊 > 扁柱型雌蕊 > 裂柱型雌蕊,差异达到显著水平。其中,圆柱型雌蕊坐果率在 90% 以上,单果粒数大于 2 200 粒,圆柱型雌蕊之间无显

著差异,柱头形态对4个指标没有影响;两个扁柱型雌蕊(花柱扁长和扁短)坐果率约70%,单果粒数1200粒左右,显著低于圆柱形雌蕊,但是显著高于裂柱型雌蕊(花柱裂开和分离);裂柱型雌蕊坐果率和单果粒数显著下降,坐果率不到40%,单果粒数仅为300粒左右;扁柱型雌蕊和裂

柱型雌蕊分别比圆柱型雌蕊的坐果率降低19.85%和58.99%,单果粒数降低46.73%和86.63%。这一结果表明,花柱变扁和花柱裂开会显著降低种子的坐果率和单果粒数,又由于这两种雌蕊在花期占比极高,因而会显著的降低种子的产量。

表2 MS K326 不同类型雌蕊授粉后坐果率及种子质量

Table 2 Fruit set rate and seed quality after pollination with different pistil types in MS K326 MS K326

类型 Type	坐果率/% Fruit set rate	单果粒数 Number of single fruit grains	千粒重/g 1000-seed weight	发芽率/% Germination percentage
圆柱2裂 Cylindrical style with 2-lobed stigma	91.58 a	2364 a	0.088 a	97.67 a
圆柱3裂 Cylindrical style with 3-lobed stigma	92.94 a	2323 a	0.086 a	96.67 a
圆柱多裂 Cylindrical style with multi-lobed stigma stigma	90.29 a	2273 a	0.089 a	96.00 a
花柱扁长 Flat and long style	74.73 b	1273 b	0.088 a	95.33 a
花柱扁短 Flat and short style	71.74 b	1229 b	0.086 a	96.67 a
花柱裂开 Split style	38.24 c	346 c	0.085 a	95.33 a
花柱分离 Separated style	36.69 c	282 c	0.084 a	95.33 a

注:不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments. (P<0.05).

2.3 MS K326 不同雌蕊类型子房的差异

MS K326 雌蕊畸形主要是由雄蕊雌化(即雄蕊心皮化)后,雌化的雄蕊与子房融合生长导致的。由图2可知,在圆柱型雌蕊中,雌化的雄蕊没有或较少与子房融合生长,子房基本保持圆锥形(图2A-B;图3A-B);在扁柱型雌蕊(扁长,扁短)中,雌化雄蕊部分与心皮融合生长,但子房基本保持长圆锥形,花柱扁化是由雌雄蕊融合生长所导致(图2C-D;图3C-D);在裂柱型雌蕊(开裂,分离)中,雌化雄蕊与子房较严重的融合生长,子房显著受到周围融合组织的挤压,外观较难观察到圆锥形的子房(图2E-F;图3E-F),花柱开裂和分离都由雌化雄蕊与子房合生导致。

切片后观察到较低程度融合生长的圆柱型雌蕊中未发现一室子房缺失,在扁柱型雌蕊中一室子房缺失样本仅出现1个,而裂柱型雌蕊子房缺失的样本(平均6个)显著高于其它类型雌蕊

(表3)。对不同类型雌蕊胚珠有效着生面积进行单因素方差分析,结果显示,花柱变扁和花柱开裂对胚珠有效着生面积造成显著影响,胚珠有效着生面积:圆柱型雌蕊>扁柱型雌蕊>裂柱型雌蕊,扁柱型雌蕊和裂柱型雌蕊胚珠有效着生面积分别比圆柱型雌蕊降低26.73%和50.79%(表3,图3);扁柱和裂柱型雌蕊的雌化雄蕊与子房的融合生长,挤压子房,导致胚珠有效着生面积降低,这可能导致畸形雌蕊单果粒数大幅下降的重要原因。

2.4 MS K326 不同雌蕊类型中花粉萌发和生长差异

花粉在不同雌蕊类型中萌发和生长也存在显著差异。花粉萌发后,有大量花粉管能够顺利通过圆柱型雌蕊花柱并进入子房受精(图4A-C),部分花粉管在扁柱型和裂柱型雌蕊花柱中出现卷曲缠绕停止生长的情况(图4E-H)。花粉在裂

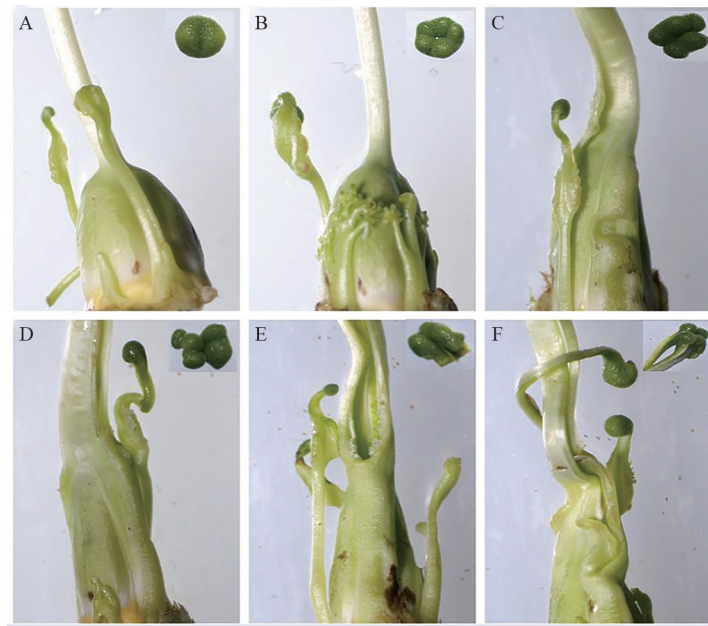


图 2 不同类型雌蕊子房外观形态结构。A:圆柱两裂;B:圆柱多裂;C:花柱扁短;D:花柱扁长;E:花柱裂开;F:花柱分离
 Fig. 2 Morphological structures of ovaries with different pistil types. A: Cylindrical style with 2-lobed stigma; B: Cylindrical style with 3-lobed stigma; C: Cylindrical style with multi-lobed stigma; D: Flat and short style; E: Flat and long style; F: Split style; G: Separated style

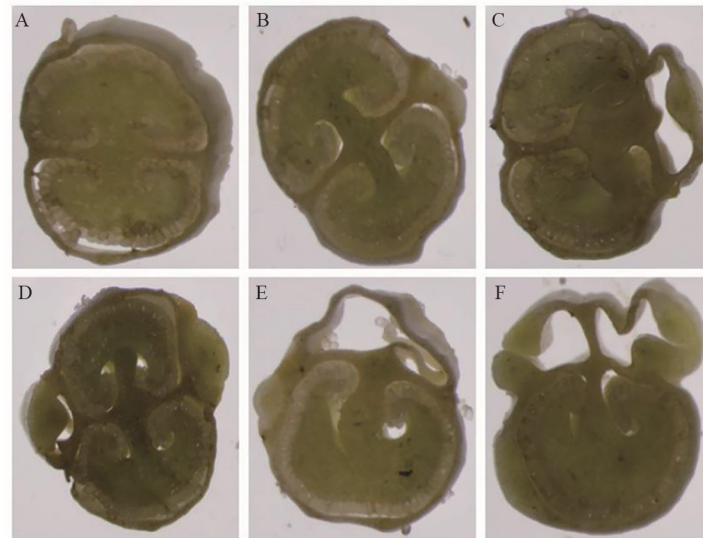


图 3 子房横切面结构图图 3 不同类型雌蕊子房横切面结构。A:圆柱两裂;B:圆柱多裂;C:花柱扁短;D:花柱扁长;E:花柱裂开;F:花柱分离

Fig. 3 Cross-sectional structure of ovaries in different pistil types. A: Cylindrical style with 2-lobed stigma; B: Cylindrical style with 3-lobed stigma; C: Cylindrical style with multi-lobed stigma; D: Flat and short style; E: Flat and long style; F: Split style; G: Separated style

柱型雌蕊柱头上萌发量最少,有较多花粉管停留在花柱中,部分花粉管会生长至花柱和子房的交界处,只有少量花粉管能够进入子房(图 4G-I)。

统计 30 朵不同类型雌蕊进入子房数量结果显示(表 4),圆柱型雌蕊进入子房花朵数量占总数的 94.45%,扁柱型和裂柱型雌蕊进入子房

花朵比例则为 77.78% 和 53.17%,裂柱型雌蕊未进入子房和生长至交界处的花朵比例最高,分别为 32.54% 和 14.29%。显然,由雌雄蕊融合生长导致的花柱畸形,影响了花粉的萌发和花粉管在花柱中的生长,严重影响授粉受精过程,可能是导致畸形雌蕊坐果率低的重要原因。

表 3 不同类型雌蕊子房胚珠有效着生面积
Table 3 Effective ovule-bearing area of ovaries in different pistil types

类型 Type	一室子房缺失比例/% Proportion of missing ovary in one room	胚珠有效着生面积/mm ² Effective area of ovule attachment
圆柱型雌蕊 Cylindrical pistil	0.00 b	28.84 a
扁柱型雌蕊 Flat columnar pistil	1.10 b	21.13 b
裂柱型雌蕊 Split column pistil	20.00 a	14.19 c

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments. ($P<0.05$).

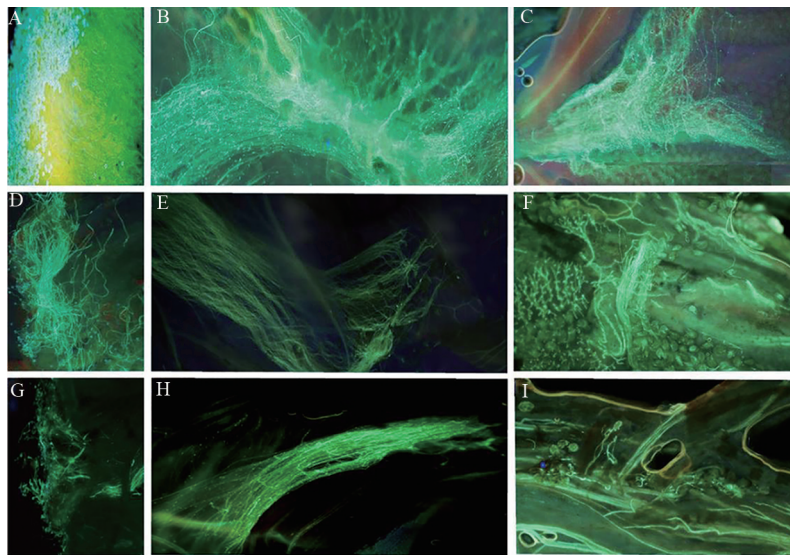


图 4 不同类型雌蕊花粉萌发和生长。A:花粉在圆柱型雌蕊柱头萌发;B:花粉在圆柱型雌蕊花柱中生长;C:花粉进入圆柱型雌蕊子房;D:花粉在扁柱型雌蕊柱头萌发;E:花粉在扁柱型雌蕊花柱中生长;F:花粉进入扁柱型雌蕊子房;G:花粉在裂柱型雌蕊柱头萌发;H:花粉在裂柱型雌蕊花柱中生长;I:花粉进入裂柱型雌蕊子房。

Fig.4 Pollen germination and growth in different types pistil. A: Pollen germinates on cylindrical pistil stigma; B: Pollen grows in cylindrical pistil styles; C: Pollen enters the cylindrical pistil ovary; D: Pollen germinates at the stigma of a flat columnar pistil; E: Pollen grows in a flat columnar pistil; F: Pollen enters the flat columnar pistil ovary; G: Pollen germinates on split pistil stigma; H: Pollen grows in a split column pistil style; I: Pollen enters the pistil ovary of the split column type.

表 4 不同雌蕊类型授粉后花粉管进入子房情况
Table 4 Pollen tube penetration into ovaries after pollination in different pistil types

类型 Type	进入子房/% Entering the ovary	未进入子房/% Not entering the ovary	交界处/% Staying at the junction
圆柱型雌蕊 Cylindrical pistil	94.45 a	5.55 c	0 c
扁柱型雌蕊 Flat pistil	77.78 b	13.02 b	9.2 b
裂柱型雌蕊 Split pistil	53.17 c	32.54 a	14.29 a

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments ($P<0.05$).

3 讨论

由于来源于 *N. suaveolens* 的不育胞质与其保持系在烟株高度、开花天数、叶片数量、叶面积以及单叶重、产量、产值等方面没有任何劣势^[4], 且完全雄性不育, 普遍认为在农业上适宜, 并在全世界烟草的杂交育种和种子生产中使用最广泛^[7]。MS K326 不育系是由栽培烟草的核与香甜烟草 (*N. suaveolens*) 的胞质通过体细胞杂交并反复回交获得^[9]。在本研究中, MS K326 表现为高频率的雌蕊雌化, 雌蕊雌化形成的心皮与原本的雌蕊心皮合生形成嵌合体, 导致原雌蕊花柱扁化、开裂和分离, 原生子房空间压缩和胚珠数减少, 授粉时花粉管生长进入子房的效率降低, 授粉后落花落果, 且果实中籽粒数减少, 造成严重的生产损失。

雌蕊雌化 (Pistillody) 是指花器官的雌蕊结构转化为类似于雌蕊的结构, 也称为雌蕊心皮化 (Stamen carpeloid)^[10]。雌蕊雌化导致雌蕊完全缺失, 由此引起的雄性不育性稳定、彻底, 是一种极为理想的雄性不育类型^[11]。雌蕊雌化的最早发现于 1954 年的罂粟属和柳属植物, 随后在辣椒、水稻、小麦、喜旱莲子草、油菜、甘蓝、山羊草、空心苋、空心莲子草和萝卜等植物中被报道^[12]。在某些植物中, 雌蕊雌化同样影响了原雌蕊的形态。Ogura 不育胞质花椰菜有的雌化雌蕊与子房部分粘连, 雌蕊、雌蕊乳突相粘连, 使子房不能伸展而呈钩状, 但粘连型仅占极少部分^[13]。空心莲子草花雌蕊雌化的现象普遍存在, 原雌蕊子房高大而花柱短粗, 雌化雌蕊子房矮小而花柱细长, 二者大小差异明显, 由于内外相互挤压, 中央雌蕊形状不规则, 子房由圆形变为扁形^[14]。但是二者均未报道原雌蕊种子产量是否受到影响。而在另一些植物中, 雌蕊雌化不育系可能有利于种子生产。花椰菜 CMS 雌化的雌蕊与雌蕊形态结构相似, 上端长有乳突, 着生 3 到 7 枚胚珠, 并且对外生胚珠授粉能结实形成种子^[13]。江辉等发现辣椒雌化雌蕊可结实但非常小, 位于正常辣椒果实柄处^[15]。在本研究中, MS K326 雌化雌蕊并没有产生子房和胚珠, 并且雌化雌蕊与原雌蕊的融合生长还导致了原子房的挤压以及花柱的变扁和开裂。其中, 花柱的这种变化严重影响了花粉管在花柱中的伸长和进入子房受精, 是

导致坐果率低的重要原因; 而挤压原子房导致的胚珠有效着生面积减少, 是导致单果粒数下降的直接原因。

对雌蕊雌化这种特殊现象的原因也有许多猜测, 主要集中在 3 个方面: 一是 B 类 *MADS* 基因缺失或者不表达和 C 类基因的扩展表达。二是花器官间的同源异型转换。三是外界环境的影响^[15]。普通小麦光温敏不育系 291S 雌蕊雌化现象只是在一定的光温条件诱导下才会出现^[16]。喜旱莲子草在养分丰富、湿度较大、偏酸或偏碱的生境中更容易发生雌蕊雌化现象, 株龄、植株自身生物学特性也会雌蕊雌化发生频率^[17]。在本研究中, MSK326 雌蕊畸变率前期低, 中后期急剧升高, 不仅与自身基因有关, 还有周围环境和烟株营养状况有关, 推测 B 类基因功能缺失是雌蕊心皮化的内在原因, 光照、温度和植株营养状况可能是影响雌蕊雌化频率的外在原因, 具体还需要进一步实验验证。

4 结论

MS K326 表现为高频率的雌蕊雌化, 雌蕊雌化形成的心皮与原本的雌蕊心皮合生形成嵌合体, 导致原雌蕊花柱扁化、开裂和分离, 原生子房空间压缩和胚珠数减少, 授粉时花粉管生长进入子房的效率降低, 授粉后落花落果, 且果实中籽粒数减少, 造成严重的生产损失, 并且这一现象可能受到环境和自身遗传因素的影响。通过外源物质添加或烟株生长环境改善有望降低扁柱型和裂柱型雌蕊比例, 提高圆柱型雌蕊比例, 增加 *sua* 不育胞质坐果率和单果粒数, 进而提高种子产量。

参考文献

- [1] 彭坚强, 陈学军, 吴兴富, 等. 烟草两种质源胞质雄性不育系生化特性比较[J]. 作物研究, 2022, 36(06): 575-578+584.
- [2] Chen XJ, Tong ZJ, Xiao BG, et al. Identification and evaluation of tobacco cytoplasmic male sterile line Nta(gla)S K326 generated from asymmetric protoplast fusion of *Nicotiana glauca* and *N. tabacum* followed by backcrossing with *N. tabacum* K326[J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2020, 142: 269-283.
- [3] Berbeć A. Species of *Nicotiana* as the Sources of

- Cytoplasmic Male Sterility for Cultivated Tobacco [M]//A Century of Interspecific Hybridization and Introgression in Tobacco. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024:203-250.
- [4] Berbeć A, Laskowska D. Investigations of isogenomic alloplasmics of flue-cured tobacco *Nicotiana tabacum* cv. *Wislica*[J]. Beiträge zur Tabakforschung International/Contributions, 2005,21:258-263.
- [5] Izard C, Hitier H. Observations sur un hybride complexe susceptible de produire des plantes a sterilité male[J]. Ann Du Tabac Seita, Sect, 1955,2(2):1-13.
- [6] Spangenberg G, Perez RV, Oliveira MM, et al. CMS system in Nicotiana: Flower development, patterns of mitochondrial DNA and mitochondrial gene expression [J]. Sexual Plant Reproduction,1992,5:13-26.
- [7] Zheng Y, Liu Z, Sun Y, et al. Characterization of genes specific to *sua*-CMS in *Nicotiana tabacum*[J]. Plant Cell Reports, 2018,37:1245-1255.
- [8] 廖菊够. 栽培烟草和花烟草杂种特性及杂交亲和性调控机制研究[D]. 昆明:云南大学, 2018.
- [9] 崔芳芳. 烟草K326细胞质雄性不育机理初步研究[D]. 南昌:江西农业大学, 2023.
- [10] 王道杰, 杨翠玲, 刘展,等. 无花瓣油菜雄蕊心皮化突变体细胞学观察及基因表达分析[J]. 植物生理学报,2014,50(03):290-296.
- [11] 张彦锋, 张智, 王学芳, 等. 不结球白菜新型雄性不育系 HGMS 应用潜势分析[J]. 西北农业学报, 2010,19(12):143-147.
- [12] 江辉, 李娅迪, 陈业, 等. 雄蕊雌化的研究现状[J]. 山地农业生物学报,2013,32(06):553-558.
- [13] 何承坤, 郭素枝, 张智钊, 等. 花椰菜异源细胞质雄性不育材料的初步研究[J]. 园艺学报,1999(02):57-59.
- [14] 胡法玉, 常青山, 张利霞, 等. 空心莲子草雄蕊和雌化雄蕊发育的比较研究[J]. 广西植物,2011,31(04):444-450.
- [15] 江辉, 李娅迪, 陈业, 等. 辣椒雄蕊雌化的形态解剖学特征[J]. 广东农业科学,2014,41(12):37-39+54+3.
- [16] 董普辉, 何蓓如, 王宏娟, 等. 一种普通小麦光温敏不育系的发现及初步研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(23):215-219.
- [17] 邓丽丽, 刘静, 王力超, 等. 喜旱莲子草雄蕊雌化现象分析[A] 第五届全国入侵生物学大会——入侵生物与生态安全会议摘要[C]. 中国农业科学院植物保护研究所、中国植物保护学会生物入侵分会, 中国植物保护学会生物入侵分会, 2018:1.