雄性不育在蔬菜杂交育种上的应用

闫世江[1]，张继宁[1]，刘 洁[2]
（1.山西省农业科学院蔬菜研究所，030031；2.山西省农业科学院科技情报研究所，030031）

摘要：介绍了雄性不育的特征、特性及遗传机理，以及其在萝卜、大白菜、芥菜、甘蓝、辣椒上的应用，并对今后的发展方向进行了探讨。

关键词：雄性不育；杂交育种；应用

蔬菜杂种优势利用的途径很多，但以利用雄性不育性生产杂种最为经济有效，迄今已在43个科162个属320个种的617个种和种间杂种中发现了雄性不育现象[1-2]。Sears将作物雄性不育划分为质不育、核不育和质核互作不育3种类型，称之为三型学说；Edwardson把三型学说中的质不育和核质互作不育并为一类，从而把作物雄性不育分为核不育型和核质互作型（常被简称为细胞质雄性不育），简称二型学说。自1921年Bateson和Cairdner首先在亚麻（*Linum usitatissimum*）中发现雄性不育以来，人们在不同作物中通过不同途径不断发现和创建了多种雄性不育源。

蔬菜作物存在着明显的杂种优势，杂种一代的生产主要利用自交不亲和系和雄性不育系2条途径。国内20世纪60年代末开始研究和利用自交不亲和系生产F_1杂种并应用于生产，但存在自交不亲和系的繁殖主要靠人工蕾期授粉，多代自交易出现生活力衰退，亲本种子成本高，技术难度大及杂交种难以达到100%等缺陷，而利用雄性不育系生产一代杂种则可解决上述问题[3]。这就促使人们更加注重对蔬菜作物雄性不育机理及其利用的研究。

1 蔬菜雄性不育的特征、特性及遗传机理

1.1 花器的形态特征

周长久等[4]对雄性不育株的花器形态进行研究，将花器形态分成花冠退化型、雄蕊萎缩型和花粉败育型等3种类型。其中花冠退化型和雄蕊萎缩型的花器形态结构异常，在育种上没有多大的利用价值。而花粉败育型除花器略微瘦小外，形态结构基本正常，在育种上的利用价值较大。

1.2 小孢子发生的细胞学

根据细胞学观察，花粉败育型雄性不育材料的花粉败育时期和方式多种多样。董庆华等[5]报道了

的监督机制。一是提高群众参与监督的思想意识。围绕蔬菜质量安全，开展“质量安全，人人有责”、“质量安全为大家，质量安全靠大家”等主体思想的宣传教育活动，加强舆论引导，激发广大群众参与蔬菜质量安全监督的积极性和主动性。特别是提高蔬菜生产者、经营者相互监督、相互制约的思想意识。同时要增强消费者质量安全防范意识，树立正确的消费观念，注重品牌质量，主动索票索证。二是提高群众参与蔬菜质量安全管理的能力及水平。通过建立蔬菜质量安全信息化服务平台，积极为群众提供蔬菜质量安全相关信息、技术等内容的咨询服务及指导，增强群众参与监督的能力及水平。三是建立蔬菜质量安全监管公示制度，增强监管工作的透明度，接受群众监督。四是建立蔬菜质量安全问题举报有奖制度，促进全民参与共管，对举报问题依法严查，维护人民群众依法监督的权利。

参考文献

[1] 夏敬源.大力推进农作物病虫害绿色防控技术集成创新与产业化推广[J].中国植保导刊,2010,30(10):5-9.

萝卜雄性不育系小孢子败育有2种方式：(1) 花药发育受阻于孢原细胞分化期之前，不产生孢原细胞，也不分化形成花粉囊，接近开花期时花药已成畸形。(2) 花药发育受阻于单核花粉期，绒毡层细胞径向异常肥大、高度液泡化并侵入药室，细胞壁解体，细胞内含物融合形成周原质团等异常物，使单核花粉核质解体而导致败育，药室瘪缩变形，只留下染色很深的细胞残留物质。岩奇文雄等[6]曾就油菜雄性不育系花器发育的形态学和组织化学进行研究，发现在四分体期以后，不同来源的雄性不育系花药的绒毡层细胞以及小孢子内部已无核酸和蛋白质的组织化学反应。粟翼玫[7]报道在秋冬萝卜雄性不育系64A及其保持系64B花药和小孢子的细胞学观察中，发现不育系从四分体初释放的单核小孢子与正常者无可见差异，当单核小孢子内开始出现小液泡时出现败育。从以上报道可见，大多数雄性不育系的小孢子败育征兆是出现在单核早期，且主要与绒毡层细胞的异常变化有关。

1.3 生理生化特性

周长久等[4]报道了不育系的花蕾酯酶同工酶谱带比保持系的少且活性弱。刘璨善报道[8]，可育株花药中的脯氨酸含量比不育株花药高2倍以上。赵双宜等[9]对不同发育时期的萝卜进行同工酶分析发现，在生殖生长期，雄性不育系的小孢子过氧化物酶同工酶、细胞色素氧化酶同工酶均比其保持系酶带数目多、酶活性强，而且这种差异最早可发生在单核早期（小孢子开始败育的时期），并随着败育的进程而不断加强，其保持系则相对稳定。

1.4 遗传机理

雄性不育的遗传机制十分复杂，大致划分为3种遗传类型：一是细胞质雄性不育类型，不育性完全由细胞质控制，与细胞核无关。二是细胞核雄性不育类型，不育性受细胞核基因控制，不育基因有隐性，也有显性，不育基因的数目有一对，也有多对，可能是复等位基因控制的，还可能是修饰基因对不育基因的表达产生影响。国内报道多数认为，核基因控制的不育性材料，都是由细胞核内一对隐性基因所控制，可育对不育为显性，这种不育性找不到保持系，系内兄妹交后代保持50%的不育株率。当然核基因控制的不育性遗传也有少数不育基因是显性[10-11]。三是核质互作雄性不育类型，不育性只有在核不育基因和细胞质内的不育因子共同存在时，才能引起雄性不育，这种不育性的表达有一定的环境敏感性。

2 雄性不育在蔬菜杂交育种中的利用

2.1 萝卜雄性不育的利用

最早的不育源是Ogura在日本某萝卜品种留种田中发现的，并经试验证明该不育性由细胞质基因和2对隐性细胞核基因共同控制，该不育源称为Ogura不育源[12]。1990年，M. Nieuwhof[13]报道了利用Ogura不育源从日本萝卜和欧洲早熟圆红萝卜中筛选保持系的结果。自1968年Ogura发现Ogu CMS以来，国内外学者对该不育材料进行了大量的回交转育，目前已转育到甘蓝、白菜、青花菜等作物中。但由于最初的Ogu CMS存在低温苗期黄化、蜜腺不发达等问题，至今在生产中未得到利用。

1998年，方智远等[14-15]从美国引进CMSR3625、CMSR3629等6份新改良后的Ogu CMS材料，并用30余份甘蓝自交系和20余份青花菜自交系进行转育，目前已得到了回交2～3代，从CMSR3625、CMSR3629转育来的回交后代表现良好，具有很好的应用前景。

韦顺恋等[16]以郑州蔬菜研究所的“金花薹8A”萝卜为雄性不育系，用浙江省优良品种“浙大长”等为转育亲本，经回交转育，获得不育株率100%的不育系“浙3A”，并配制成优良组合“浙3A×翘头青”，在生产上应用。

2.2 大白菜雄性不育的利用

1979年，Q. P. Van Der Meer[17]从大白菜品种Granaat和Pakchoi杂交的F_1代中发现不育株，用Monument品种回交育成了显性控制不育性的核不育材料，并认为这是一个显性基因控制。1976年，张书芳等[18]从“万泉青帮”品种中发现了显性基因控制的不育材料，兄妹交后代保持50%的不育株率。然后以甲型不育株为母本，与乙型可育株杂交，后代出现了雄性不育系，并育成了乙型两用系AB7501、AB8102；以AB8102为母本，对万泉青帮中可育株进行测交，成功育成了甲型两用系AB158；进而用AB158与AB8102的可育株测交，育成大白菜细胞核基因雄性不育系88-1A。该不育系育性稳定，结实正常，不育株率和不育度均为100%，用该

不育系配制成的8801等优良的F_1代已在生产上大面积推广应用。

胞质雄性不育现象发现已久，早在1904年Conens就描述了一种花粉不育的情况，这种不育型在十字花科蔬菜中最早由日本的Ogura发现，之后欧洲利用萝卜雄性不育胞质所进行的研究极为盛行。这种不育胞质导入芸薹属作物中，随着不育性出现了植株黄化、蜜腺不发达，同时找不到育性恢复基因。Heyh[19]通过种间杂交，指出育性基因与白花基因紧密连锁。李光池等[20]用王兆红萝卜雄性不育株作母本与78-22-3大白菜杂交、回交，获得134大白菜胞质雄性不育系。日向·今野[21]用*Diplotaxis muralis*作母本，与*Brassica campestris*杂交后再连续回交，育成了胞质不育系。Leung等在对萝卜不育胞质导入*B. campestris*细胞核后，对蜜腺数、形状、香气等进行选择，用大白菜和矮脚白回交后，经过3个世代选择，选出2个比较接近正常蜜腺的系统。大川从*B. campestris*的56个品种中发现了保持雄性不育的胞质系统，其中6个品种具有育性恢复基因。柯桂兰等[22]用*B. napus*不育株作母本，与大白菜杂交、回交，育成了不育系，这个不育系克服了叶片黄化、蜜腺不发达等缺点。1993年孙日飞等[23]从国外引进了一个新型萝卜胞质白菜雄性不育材料NYcms，经过多代回交转育，不育株花器正常，有蜜腺，结籽正常，不育系植株生长正常，无苗期黄化现象，并且转育容易，从而使该不育系在杂交种子生产上的利用展现出广阔的发展前景。

2.3 芥菜雄性不育的利用

S. Danga等[24]从芥菜品种间杂交组合RLM-198 × EJ-33的F_1中，发现雄性不育，经鉴定，属细胞质遗传模式。目前保持系尚不够理想，不育率为56%～71%，恢复系来源于印度品种。Anand[25]于1978年发现了芥菜雄性不育，其恢复基因来自芸薹和黑芥，现已将这2个恢复基因转移到芥菜上，育成了恢复率达90%～95%的恢复系，还通过轮回选择来提高恢复系的花粉量。配制的优良杂交组合，比对照产量增加1倍，种子含油量增加10%，蛋白质含量增加25%。史华清等[26]于1973年从芥菜型油菜中发现雄性不育，后定名为欧新A，经过近10年的测交转育，已培育成配套的低芥酸三系，强优势组合比对照品种昆明高棵增产70.8%～119.4%[27]。

2.4 甘蓝雄性不育的利用

方智远等[15]于1979年春在甘蓝材料79-399的自然群体中发现雄性不育株79-399-3。经研究表明，该材料育性主要为一对显性核基因控制，并有修饰基因起作用。目前已选出318P5、99Z522-6等20余份纯合显性不育系，其不育株率和不育度均为100%，而且具有良好的配合力。目前，已用该雄性不育系与优良自交系杂交，选育出一批优良的杂交组合。其中，中甘18号表现出极早熟、优质、产值较高的特点，这是国内外首次应用显性核基因控制的雄性不育系育成的甘蓝新品种。

2.5 辣椒雄性不育的利用

自Martin等最先在辣椒中报道细胞核雄性不育和核质互作雄性不育以来，已发现数十个细胞核雄性不育突变体和几个核质互作雄性不育源。辣椒细胞核雄性不育突变体主要来自于地方品种自交分离后代及X射线、γ射线和EMS诱变处理后代。这些不同突变体有些是等位突变[28]，但根据已有研究结果，至少有8个以上不同的基因位点与雄性育性有关[29]。核质互作雄性不育主要来自于自然突变和种间杂种后代。保加利亚先后于1974年和1979年利用细胞核雄性不育和核质互作雄性不育生产杂交种子[30]，并应用于生产。日本和古巴等也报道了利用辣椒雄性不育系生产杂交一代种子[31]。在国内，杨世周等[32]利用细胞核雄性不育两用系配制选出的优势较强的辣椒一代杂交种沈椒系列，已广泛应用于生产，核质互作雄性不育已实现三系配套；戴祖云等[33-34]利用核质互作雄性不育三系配制的优势较强的杂交种子开始在生产上应用。

3 展望

利用雄性不育进行蔬菜杂交制种可以扩大杂种优势的利用范围，降低种子生产成本，保证种子纯度。优良的杂种一代不但可以提高蔬菜产量，而且能改善蔬菜品质。对于蔬菜雄性不育性的利用，笔者认为应加强以下几项研究工作：(1) 抓住现代生物技术迅猛发展的契机，使雄性不育研究深入到分子水平，对雄性不育从分子水平上探明其机理，从而更好地应用到蔬菜育种中。(2) 加强不同抗性的

雄性不育系转育工作。这就要求新型蔬菜品种能够适应不同的生态环境，同时也能抵抗不同污染源，使蔬菜供应均衡。

参考文献

[1] 黄青阳.植物雄性不育性的研究与利用[J].世界农业,1997(8):24-25.

[2] Kaul M L H. Male Sterility in Higher Plants[M]. Berlin: Spinger-Vedag,1988.

[3] Fang Zhiyuan, Sun Peitian, Liu Yumei, et al. A male sterile line with dominant gene (*Ms*) in cabbage and its utilization for hybrid seed production[J]. Euphytica,1997,97:265-268.

[4] 周长久,张友良.萝卜雄性不育性的几种特性研究[J].园艺学报,1994,21(1):65-70.

[5] 董庆华,利容千,王建波,等.萝卜雄性不育系花药发育的细胞形态学研究[J].武汉大学学报:自然科学版,1996,42(2):207-212.

[6] 岩崎文维.雄性不稔メダネ花器发育时の形态的组织化学的研究[J]. Japanese Journal of Breeding, 1970(5):282-286.

[7] 粟翼玫,石惠莲,张燕君,等.萝卜雄性不育系小孢子发生的细胞形态学研究[J].园艺学报,1995,22(4):348-352.

[8] 刘璨善.萝卜雄性不育系和保持系花器官游离氨基酸成分比较分析[J].中国蔬菜,1991(5):12-15.

[9] 赵双宜,何启伟.萝卜雄性不育系个体发育中的同工酶研究[J].中国农业科学,1994,27(1):18-24.

[10]魏毓棠,冯辉,张蜀宁.大白菜雄性不育遗传规律的研究[J].沈阳农业大学学报,1992,23(3):260-266.

[11]陈文辉,方淑桂,曾小玲.大白菜核质互作型不育系98-2选育研究[J].福建农业学报,2000,15(4):22-25.

[12]Ogura H. Studies on the new male-sterility in Japanese radish, with special reference to the utilization of this sterility towards the practical raising of hybrid seeds[J]. Mem Fac Agric Kagoshima Univ, 1968,6(2):39-78.

[13]Nieuwhof M. Cytoplsmic-genetic male sterility in radish (*Raphanus Stativus L.*)[J]. Euphytica,1990(47):171-177.

[14]方智远,孙培田,刘玉梅,等.几种类型甘蓝雄性不育的研究与显性不育系的利用[J].中国蔬菜,2001(1):6-10.

[15]刘玉梅,方智远,孙培田,等.十字花科作物雄性不育性获得的主要途径及其利用[J].中国蔬菜,2002(2):52-55.

[16]韦顺恋,宋敏霞.浙3A萝卜雄性不育系的选育及利用初报[J].浙江农业大学学报,1990,16(3):299-302.

[17]Q. P. Van Der Meer. 大白菜的染色体单基因显性雄性不育性[J].高书国,译.中国蔬菜,1991(6):54.

[18]张书芳,宋兆华,赵雪云.大白菜细胞核基因互作雄性不育系选育及应用模式[J].园艺学报,1990,17(2):117-125.

[19]Heyn F W. Introgression of restore genes from *Raphanus sativus* into cytoplasmic male sterile *Brassica napus* and the genetics of fertility restoration[C]. Proceedings of the 5th International Rapeseed Conference, 1978:82-83.

[20]李光池,鹿英杰,刘吉业.大白菜辐射诱变与远缘杂交的研究[J].核农学通报,1992,13(1):1-3.

[21]Hinata K. Studies on a male sterile strain having the *Brassica campestris* nucleus and the *Diplotascis muralis* cytoplasm[J]. Japanese Journal of Breeding, 1979,29(4):305-311.

[22]柯桂兰,宋胭脂.大白菜异源胞质雄性不育系的选育及应用[J].陕西农业科学,1989(3):9-10.

[23]孙日飞,钮心恪,司家钢,等.新型萝卜胞质白菜雄性不育系研究初报[J].中国蔬菜,1997(4):32-33.

[24]Banga S. 国外农学:油料作物[G].中国农业科学院油料作物研究所,1986(2):14-16.

[25]Anand I J, Rawat D S. Male sterility in India mustard[J]. Indian Journal of Genetics & Plant Breeding,1978,39(3):412-418.

[26]史华清,龚瑞芳,庄丽莲,等.芥菜型油菜(*Brassica Juncea*)杂种优势利用的研究[J].作物学报,1991(01):32-41.

[27]李桂花,张衍荣,曹健,等.十字花科蔬菜雄性不育在杂交育种上的利用[J].长江蔬菜,2003(4):32-36.

[28]Shifriss C. Male sterility in pepper (*Capsicum annuum* L.)[J]. Euphytica,1997,93:83-88.

[29]Kaul M L H. Male sterility in higher plant[M].New York: Springer-Verlag,1988.

[30]刘金兵,赵华仑,孙洁波,等.辣(甜)椒雄性不育恢复系的筛选研究[J].中国蔬菜,1999(6):28.

[31]李德超.辣椒雄性不育研究中几个问题的探讨[J].种子科技,1995(2):26-27.

[32]杨世周,杨凤梅,姜恩国,等.辣椒雄性不育两用系选育和应用的新进展[J].中国蔬菜,1995(1):19-20.

[33]戴祖云,徐继萍,祁家保,等.辣椒雄性不育三系配套研究[J].安徽农业科学,1996,24(2):173-174.

[34]钱芝龙,孙洁波,丁犁平,等.辣椒雄性不育三系在杂交一代中的遗传效应[J].江苏农业科学,1998(4):54-57.