

远缘杂交在芸薹属作物育种中的应用研究进展

周庆红, 周 灿, 范淑英

(江西农业大学 农学院, 作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室, 江西 南昌 330045)

摘 要:远缘杂交在作物性状改良、新类型创制和新品种选育方面意义重大,在芸薹属作物育种中也发挥了重要作用,该文综述了近几十年来远缘杂交在芸薹属作物育种中获取雄性不育系、获得抗病性、改良农艺性状和创造芸薹属作物新类型等方面的研究,对芸薹属作物远缘杂交育种提出了新的研究方向。

关键词:芸薹属;远缘杂交;雄性不育;抗性;性状改良

中图分类号:Q 943.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)02-0165-06

1 芸薹族家族丰富的种质资源

芸薹属属芸薹族(Brassicaceae),据 Gómez-Campo^[1]粗略统计,芸薹族有 54 个属 235 个种,涵盖了众多油料、蔬菜和饲料作物,而芸薹属包括约 35 个物种,有一年生的草本植物,也有多年生草本植物和小灌木,该属物种是世界上最具经济价值的一类物种,包括六大栽培种,即白菜(*B. rapa*, AA, 2n=20)、甘蓝(*B. oleracea*, CC, 2n=18)和黑芥(*B. nigra*, BB, 2n=16)3 个二倍体基本种和甘蓝型油菜(*B. napus*, AACC, 2n=38)、芥菜型油菜(*B. juncea*, AABB, 2n=34)和埃塞俄比亚芥(*B. carinata*, BBCC, 2n=36)3 个四倍体复合种^[2]。除此之外,芸薹族中还有众多的野生资源,这些野生资源中往往含有芸薹属栽培种中所不具备的优良性状,如抗病虫害性、耐盐渍和耐重金属、高光合效率、细胞质雄性不育性、抗寒或抗旱性等,这为芸薹属物种进行种间杂交或属间杂交、培育或创造具备特殊优良性状的作物新品种提供了丰富的种质资源。自从 Kajanus^[3]研究甘蓝型油菜与芜菁的种间杂交以来,许多学者相继开展了芸薹族内许多属间的远缘杂交工作,近些年研究的较频繁的为芸薹属(*Brassica*)、二行芥属(*Diplotaxis*)、白芥属(*Sinapis*)、萝卜属(*Raphanus*)、芝麻菜属(*Eruca*)和诸葛菜属(*Orychophragmus*)等,另外,芸薹属内种间的远缘杂交研究在其作物改良及新品种选育方面也发挥了重要

作用。

可以说芸薹族是一个遗传类型极其丰富、变异极其广泛的巨大基因库,是芸薹属栽培种进行遗传改良的宝贵财富,可为其提供控制重要农艺性状的基因。通过远缘杂交,可将这些有利资源转移到现有芸薹属作物品种中,能够有效拓宽现有芸薹属作物的遗传基础、丰富其遗传多样性,创造植物新类型和作物新品种。

2 远缘杂交在芸薹属作物育种上的应用

2.1 芸薹属作物雄性不育性系的获得

在植物育种上,利用杂种优势提高作物的产量和品质是最有效的方法,而雄性不育系制种是杂种优势利用的主要途径。芸薹族物种提供了新型细胞质雄性不育基因的宝贵来源,对作物杂交种的生产至关重要。

雄性不育性状主要来自于自然突变,萝卜 Ogu cms 就是 Ogura^[4]在日本鹿儿岛发现的天然萝卜细胞质雄性不育类型,Bannerot 等^[5]用欧洲萝卜品种与之测交,并在欧洲萝卜品种中发现了恢复基因,且找到其保持系,Bannerot 等^[6]还用重复回交的方法将萝卜 Ogu cms 成功导入甘蓝,然后又转移到甘蓝型油菜,通过连续回交选择最终育成了甘蓝型油菜不育系。另外,采用原生质体融合的方法还获得了芥菜型油菜^[7]和耐寒的甘蓝细胞质不育的材料^[8],由于该不育系不育性彻底,在欧洲油菜制种中已得到广泛应用。

波里马胞质不育型(Pol cms)是傅廷栋院士于 1972 年在华中农业大学油菜试验田原始材料圃中发现的,1976 年湖南省农科院利用该波里马不育系实现了油菜的三系配套^[9],波里马不育系后来被转移到其它芸薹属作物中,如彭谦等^[10]育成了波里马菜心不育系,Christey 等^[11]在 1991 年育成青花菜不育系,柯桂兰等^[12]育成波里马大白菜不育系,说明 Pol cms 胞质雄性不育性在芸

第一作者简介:周庆红(1978-),女,博士,讲师,研究方向为蔬菜作物遗传育种。E-mail:qinghongzhou@126.com

责任作者:范淑英(1963-),女,本科,教授,现主要从事蔬菜作物生物技术等研究工作。E-mail:fansy12@126.com

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31360342);江西省自然科学基金资助项目(20122BAB214018)。

收稿日期:2014-09-26

藁属作物制种上具有广阔的应用前景。

Nap 胞质不育型是英国的 Thompson^[13] 从冬油菜品种‘RD58’×波兰春油菜品种‘Bronowski’的杂交后代 F₂ 群体中发现的,其恢复基因在欧洲和日本品种中普遍存在,但其不育性受温度影响大,在 20℃ 以上时会出现大量花粉。除此之外,雄性不育材料还包括芥菜型油菜的 126-1^[14] 和 hau^[15] 等。金海霞等^[16] 以大白菜细胞质雄性不育系为母本,与可育的叶用芥菜品种远缘杂交,并以叶用芥菜为轮回亲本连续 7 代回交,获得了 2 份不育性稳定的叶用芥菜细胞质雄性不育系。蔺兴武等^[17] 在甘蓝型油菜与诸葛菜以及芥菜型油菜与诸葛菜属间杂交后代中分别发现 1 个和 3 个不育材料,经杂交和多代近交育成了相应的甘蓝型油菜不育系。张德双等^[18] 将甘蓝型油菜细胞质雄性不育系与大白菜株系通过多代回交转育的方法,成功获得了桔红心和黄心的大白菜细胞质雄性不育系。吴红美等^[19] 采用新型甘蓝型油菜细胞质雄性不育源(Eru CMS)为材料,通过杂交与胚抢救技术,获得了甘蓝型油菜与甘蓝的种间杂种,后期生长量具有超亲本的杂种优势。由此可见,远缘杂交在芸薹属植物雄性不育材料的创建和转育等方面发挥了积极作用。

2.2 芸薹属作物抗性的获得

病害是影响芸薹属蔬菜高产稳产及品质的一个重要因素,在作物育种中,近缘野生种是其栽培种抗病性的重要来源。如埃塞俄比亚芥中存在白锈病抗性^[20],在芝麻菜和甘蓝野生种中存在霜霉病抗性^[21-22],在辣根和萝卜中被报道有根肿病抗性^[23-24],在芝麻菜和芥菜中发现菌核病抗性^[25-26]。利用远缘杂交手段通过物种间抗病基因的交流,可以实现抗病性在物种间的转移。

黑胫病(blackleg)是油菜的重要病害,由 *Leptosphaeria maculans* 病原菌侵染引起。但野芥(*Sinapis arvensis*)中具有黑胫病的抗性基因,Snowdon 等^[27] 在野芥与甘蓝型油菜回交第 3 代中发现了一个苗期和成株期对黑胫病表现出高抗性植株,通过细胞学观察发现,该株染色体上带有野芥的一个近端染色体片段,另外在一些苗期敏感但成株期抗性的染色体正常的甘蓝型植株,有可能渗入了野芥的抗性基因。黑芥对黑胫病也表现出较高抗性,Zhu 等^[28] 对甘蓝型油菜-黑芥异位附加系研究时发现,在几条不同的黑芥染色体上都存在黑胫病抗性位点,表明黑芥的黑胫病抗性受多基因控制。

根肿病(clubroot disease)也是危害芸薹属作物的重要病害,由病原 *Plasmodiophora brassica* 引起,在萝卜中存在根肿病的优良抗源。McNaughton^[29] 在萝卜与甘蓝的杂交后代中获得了抗病杂种 *Raphano brassica*,但该杂种必须以萝卜为母本且后代育性很低。但是通过原生质体融合的方法,Hagimori 等^[30] 成功获得了萝卜与花

椰菜的高抗根肿病的杂种,这些杂种育性强,因而可以将这种抗性向芸薹属其它作物中转移。另外,甜菜胞囊线虫(Beet cyst nematode BCN)是危害芸薹属作物的主要线虫类型,自从 Baukloh^[31] 在 1976 年报道了野生油萝卜(*Raphanus sativus* L. ssp. *oleiferus* DC.)品种‘Fortissimo’高抗甜菜胞囊线虫以来,国内外学者通过萝卜与油菜杂交,已经培育出抗甜菜胞囊线虫的油菜新种质,许多学者利用萝卜与甘蓝型油菜进行属间杂交,将抗线虫基因导入油菜,获得抗胞囊线虫的杂种材料^[32-34]。Peterka 等^[35] 还将萝卜的线虫抗性通过单体附加系转移,获得了抗线虫的甘蓝型油菜。张绍松等^[36] 通过研究发现,油萝卜携带的抗甜菜胞囊线虫基因在 D 染色体上,外源的油萝卜染色体在油菜中的遗传稳定性因附加的染色体而异,有的能够稳定遗传,有的则在自交后代中丢失 1 条或 2 条。

黑斑病是白菜和甘蓝等十字花科蔬菜上经常发生的病害,由芸薹链格孢菌 *Alternaria brassicicola* (Schw.) Wiltshire 侵染引起。Hansen 等^[37] 通过原生质体融合技术,将白芥中的黑斑病抗性转移到甘蓝中,在后代中发现许多植株对黑斑病表现出较高的抗性。Kirti 等^[38-39] 通过同样的技术把 *T. ballii* 和 *D. eatholiea* 抗黑斑病的性状转移到芥菜型油菜中。

菌核病是由核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)引起的一种真菌病害,在油菜上发病重,危害严重。中国农业科学院油料所赵合句等^[40] 长期从事甘蓝型油菜抗病育种研究,将甘蓝型油菜与菘蓝、芥菜远缘杂交,经过多代选育,已培育出抗(耐)菌核病中油 821 的品系。Chen 等^[26] 通过甘蓝型油菜与芥菜远缘杂交,在杂种后代中发现了菌核病抗性高于甘蓝型油菜的株系。薹菜具有较强的抗菌核病的特性,且单株结实率高,戴兴临等^[41] 多年来对甘蓝型油菜与薹菜属间进行远缘杂交研究,杂交后代植株普遍具有菌核病抗性,这对于创新油菜种质资源,培育高抗菌核病油菜新品种具有重要的应用价值。Mei 等^[42] 通过对野生甘蓝和其它近缘种进行菌核病抗性鉴定,发现了高抗菌核病的野生甘蓝资源,进行了甘蓝抗菌核病 QTL 定位,鉴别了控制甘蓝菌核病抗性的基因区域。

2.3 芸薹属作物含油量及油脂组分的改良

油菜是世界上最主要的油料作物之一,其含油量的多少及油分组成直接影响菜油品质,但芸薹属物种资源丰富,不乏含油量高和特异脂肪酸丰富的材料,可用于改造油菜含油量和脂肪酸的组成。如海甘蓝和芸芥的芥酸含量高达 60%,可以作为一种新型的工业用油料作物。Wang 等^[43] 对甘蓝型油菜与海甘蓝进行杂交,得到高芥酸的甘蓝型油菜材料。Fahleson 等^[44] 通过原生质体融合技术将芸芥与甘蓝型油菜体细胞杂交,在后代中

得到了高芥酸的甘蓝型油菜。后又利用体细胞杂交的方法成功将遏蓝菜富含的特有的二十四烯酸转移到甘蓝型油菜中^[45]。李媛媛等^[46]在甘蓝型油菜与荠菜杂种后代中检测到芥酸含量低于1%的材料。刘忠松等^[47]利用芥菜型油菜与甘蓝型油菜的杂种后代得到一系列亚油酸含量较高的新型甘蓝型油菜。杜雪竹^[48]在甘蓝型油菜与 *Lesquerella fendler* 及菘蓝族间杂种后代检测到多种脂肪酸均高于甘蓝型油菜的材料。一些研究表明诸葛菜种子油分品质优良,优良脂肪酸含量较高^[49],马霓^[50]通过甘蓝型油菜与诸葛菜的杂交在其后代中选育出一系列油酸和亚油酸含量均较高的稳定株系。Hu等^[51]采用原生质体融合的方法获得了甘蓝型油菜与诸葛菜的属间杂种,并在对杂种后代不断自交选育中发现,杂种后代中有些材料亚油酸等不饱和脂肪酸含量逐渐提高,而芥酸含量不断减低,在生产上有较好的应用前景。

另外,芸薹属作物中的硫苷具有杀虫的作用,有望开发出为生物杀虫剂,冬季油菜作为绿肥作物种植可以有效杀灭土壤中的病原菌和虫卵,从而抑制土传病虫害。Brown等^[52]研究发现白芥和甘蓝型油菜的杂交 F_1 种子的含油量是双亲的中间类型,但杂种的硫苷含量比双亲多且含量高,可作为绿肥作物使用。

Choudhary等^[53]利用 *B. tournefortii* 与 *Raphanus candatus* 杂交,获得了异源双二倍体 *Rapha-nofortii*,其花粉活力高且种子生育力强,且在后代中有逐渐增强的趋势。播娘蒿(*Descurainia sophia*)属十字花科播娘蒿属野生植物,种子含油量高,种皮黄色,是重要的特用油料植物,张丽君等^[54]通过甘蓝型油菜与播娘蒿远缘杂交,在杂种 F_4 代中获得 8 份黄籽双低高油甘蓝型油菜新种质,可作为油菜高含油量育种的新种源。周清元^[55]利用芥菜型油菜 04K220 和羽衣甘蓝 04K04 进行种间杂交,并对其杂种后代进行系统选育,结果从甘蓝型油菜新种质($A^+ A^+ C^+ C^+$)中选育出的 1 个黄籽高油($>45\%$)且半矮秆的新种质,在改良现有甘蓝型油菜品种具有重要的应用价值。

2.4 远缘杂交创造芸薹属物种新类型

通过远缘杂交可以创造植物新类型和作物新品种。如在芸薹属种质资源创新研究方面,Röbbelen^[56]利用原生质体融合技术获得了白菜型油菜与甘蓝的种间杂种,人工合成了甘蓝型油菜,证实了甘蓝型油菜的自然进化过程。Narasimhulu等^[57]利用原生质体融合技术又获得了黑芥与甘蓝的种间杂种,第一次获得了人工合成的埃塞俄比亚芥。栗茂腾等^[58]利用远缘杂交手段获得了芸薹属基因组为 AABBC 的异源六倍体,该六倍体可作为桥梁,将白菜的优良性状转移到甘蓝型油菜中。

近年来,通过远缘杂交人工合成油菜主要有 3 种方

法,一是二倍体亲本种白菜和甘蓝杂交后加倍合成甘蓝型油菜;二是亲本种之一白菜或甘蓝与甘蓝型油菜杂交后再经多代选育获得;三是四倍体复合种间相互杂交。

通过甘蓝与白菜型油菜杂交人工合成甘蓝型油菜目前研究较多,如获得特长角果^[59]、大粒^[60]、黄籽^[61]、抗病^[62-63]等特异农艺性状和品质性状的甘蓝型油菜新材料。甘蓝作为甘蓝型油菜的亲本物种之一对于油菜的遗传育种具有非常重要的作用,利用各种杂交方式和生物技术等手段可将甘蓝中的优良性状转入油菜,Ren等^[64]通过白菜型油菜和甘蓝的胞质融合和回交,将甘蓝的菌腐病抗性转入白菜型油菜。Quazi^[65]利用甘蓝与甘蓝型油菜杂交将结球甘蓝对蚜虫的抗性转入甘蓝型油菜。Ripley等^[66]利用甘蓝与甘蓝型油菜的杂交将甘蓝的自交不亲和特性转入到甘蓝型油菜当中。周清元等^[67]通过甘蓝和芥菜型油菜的种间杂交获得了六倍体新物种,杂种植株生长势较强,与双亲相比具有较强的杂种优势,杂种植株高度自交不亲和。

通过远缘杂交,导入异源染色体或其片段,可实现改良现有品种的目的,如 Sernyk等^[68]通过杂交选育在甘蓝型油菜中增加 1 对萝卜染色体,获得开白花的油菜材料。Kirti等^[69]将荚果不宜破裂的 *Trachystoma ballii* 与芥菜型油菜原生质体融合,获得的再生植株的荚果不易破裂。

陈洪高等^[69]通过萝卜与白花芥蓝杂交, F_1 经秋水仙素加倍合成了萝卜-芥蓝异源四倍体。满红等^[70]通过四倍体菜薹与四倍体芥蓝杂交,借助于子房培养,获得了菜薹与芥蓝的异源四倍体种间杂种。Paulmann等^[71]以萝卜和甘蓝型油菜为材料,首先通过远缘杂交及秋水仙素加倍手段获得异源六倍体,再以该异源六倍体为桥梁亲本与甘蓝型油菜多代回交,获得了含有来自于萝卜的细胞质雄性不育基因和恢复基因的甘蓝型油菜。Tu等^[72]通过原生质体融合获得了白菜型油菜与菘蓝的体细胞杂种。通过蕾期授粉和胚挽救技术,乔海云等^[73]获得了大白菜与紫甘蓝的种间杂种,并通过细胞学鉴定对其杂种真实性进行了验证。

Strauss等^[74]利用白花萝卜与甘蓝或京水菜(*B. japonica*)杂交后代,经人工染色体加倍所得萝卜油菜(*Rphanobrassica*)的花瓣为白色或带有丝状紫色的白花,再将 *Rphanobrassica* 的白花基因直接导入甘蓝型油菜基因组中获得白花油菜。Zhang等^[75]利用开白花的芥蓝(*B. oleracea* ssp. *Alboglabra*)与白菜型油菜杂交,后代中得到了开白花的新型甘蓝型油菜材料。孙龙涛^[76]通过白菜和黑芥种间杂交和染色体加倍研究,得到了异源四倍体(AABB)和非整倍体,为研究芸薹属基因组的进化、基因表达的多态性差异等基础理论研究提供了理想的试验材料。Li等^[77]以甘蓝与甘蓝型油菜杂交并加倍

后获得的六倍体为桥梁,将其与白菜型油菜杂交得到新型甘蓝型油菜,通过这种方式不仅避免了种间杂交的不亲和性,而且先后将甘蓝的C基因组和白菜的A基因组信息渗入到甘蓝型油菜中,大大拓宽了甘蓝型油菜的遗传基础。

远缘杂交可以有效拓宽芸薹属作物种质资源的遗传基础,发掘控制芸薹属农艺性状的优良基因,是改良现有品种的重要手段,也是作物育种工作者研究的主要方向之一。今后应加强芸薹属植物远缘杂交不亲和的生理及分子机制、杂种胚胎发育的细胞胚胎学机理、远缘杂交后代的发育特性及基因调控机理,远缘杂交的杂种优势遗传解析等方面的研究。随着分子细胞遗传学和基因组学的快速发展,人们将会利用更为高效的手段来研究芸薹属植物的远缘杂交,以期芸薹属作物育种改良创造更多的亲本资源,实现芸薹属作物育种的新突破。

参考文献

- [1] Gómez-Campo C, Prakash S. Origin and domestication[M]. Biology of *Brassica* Coenospecies, 1999:33-58.
- [2] Nagaharu U. Genomic analysis in *Brassica* with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization[J]. Japanese Journal of Botany, 1935(7):389-452.
- [3] Kajanus B. Über die Farbenvariation der Beta-rüben[M]. Z Pflanzenzüchtg, 1917:357-372.
- [4] 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]. Memoirs of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1968, 6(2):39-78.
- [5] Bannerot H, Boudiard L, Cauderon Y, et al. Transfer of cytoplasmic male sterility from *Raphanus sativus* to *Brassica oleracea*[J]. Process Eucarpia Meeting Cruciferae, 1974, 25:52-54.
- [6] Bannerot H, Boudiard L, Chupeau Y. Unexpected difficulties met with the radish cytoplasm in *Brassica oleracea* [J]. Eucarpia Cruciferae Newsletter, 1977, 2:16-24.
- [7] Labana K S, Banga S K. Transfer of Ogura cytoplasmic male sterility of *Brassica napus* into genetic background of *Brassica juncea*[J]. Crop Improvement, 1989, 16:82-83.
- [8] Sigareva M, Earle E D. Intertribal somatic hybrids between *Camelina sativa* and rapid cycling *Brassica oleracea*[M]. Cruciferae Newsletter (United Kingdom), 1997.
- [9] 傅廷栋. 杂交油菜的育种与利用[M]. 武汉:湖北科学技术出版社, 2000.
- [10] 彭谦, 李汝松, 吕英华, 等. 菜心雄性不育研究初报[J]. 中国蔬菜, 1989(1):1-3.
- [11] Christey M C, Makaroff C A, Earle E D. Atrazine-resistant cytoplasmic male-sterile-nigra *broccoli* obtained by protoplast fusion between cytoplasmic male-sterile *Brassica oleracea* and atrazine-resistant *Brassica campestris*[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1991, 83(2):201-208.
- [12] 柯桂兰, 赵稚雅, 宋胭脂, 等. 大白菜异源胞质雄性不育系 CMS3411-7 的选育及应用[J]. 园艺学报, 1992, 19(4):333-340.
- [13] Thompson K F. Cytoplasmic male sterility in oilseed rape[J]. Heredity, 1972, 29:253-257.
- [14] Sodhi Y S, Chandra A, Verma J K, et al. A new cytoplasmic male sterility system for hybrid seed production in Indian oilseed mustard *Brassica juncea* [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2006, 114(1):93-99.
- [15] Wan Z, Jing B, Tu J, et al. Genetic characterization of a new cytoplasmic male sterility system (hau) in *Brassica juncea* and its transfer to *B. napus* [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2008, 116(3):355-362.
- [16] 金海霞, 冯辉, 徐书法. 通过大白菜胞质不育系与芥菜远缘杂交选育新的芥菜胞质不育系[J]. 园艺学报, 2006, 33(4):737-740.
- [17] 蔺兴武, 吴建国, 石春海. 远缘杂交油菜核不育系的创建及其细胞学和形态学研究[J]. 遗传, 2005, 27(3):403-409.
- [18] 张德双, 曹鸣庆. 大白菜转育新型甘蓝型油菜胞质雄性不育系的研究[J]. 华北农学报, 2002, 17(1):60-63.
- [19] 吴红美, 徐跃进, 万正杰. 甘蓝型油菜与甘蓝种间杂种的鉴定及特性研究[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(3):290-294.
- [20] Tongue M, Griffiths P D. Transfer of powdery mildew resistance from *Brassica carinata* to *Brassica oleracea* through embryo rescue [J]. Plant Breeding, 2004, 123(6):587-589.
- [21] Singh M P, Kolte S J. Differential reactions of various crucifer host species against isolates of *Peronospora parasitica*[J]. Journal of Mycology and Plant Pathology, 1999, 29:118-121.
- [22] Greenhalgh J R, Mitchell N D. The involvement of flavour volatiles in the resistance to downy mildew of wild and cultivated forms of *Brassica oleracea* [J]. New Phytologist, 1976, 77(2):391-398.
- [23] Prakash S, Bhat S R. Contribution of wild crucifers in *Brassica* improvement: past accomplishment and future perspectives[J]. Proc GCIRC 12th Int Rapeseed Congr, 2007, 1:213-215.
- [24] Okubo H, Fujieda K. Backcross compatibility in hybrids between *Brassica oleracea* × *Raphanus sativus* and cruciferous crops, and clubroot resistance in their BC₂ Plants[J]. Journal-faculty of Agriculture Kyushu University, 1992, 37:41-41.
- [25] Guan C, Li F, Li X, et al. Resistance of rocket salad (*Eruca sativa* Mill.) to stem rot (*Sclerotinia sclerotiorum*) [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2003, 37(8):1138-1143.
- [26] Chen H F, Wang H, Li Z Y. Production and genetic analysis of partial hybrids in intertribal crosses between *Brassica* species (*B. rapa*, *B. napus*) and *Capsella bursa-pastoris* [J]. Plant Cell Reports, 2007, 26(10):1791-1800.
- [27] Snowdon R J, Winter H, Diestel A, et al. Development and characterisation of *Brassica napus*-*Sinapis arvensis* addition lines exhibiting resistance to *Leptosphaeria maculans*[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2000, 101(7):1008-1014.
- [28] Zhu J S, Struss D, Röbbelen G. Studies on resistance to phoma lingam in *Brassica napus*-*Brassica nigra* addition lines [J]. Plant Breeding, 1993, 111(3):192-197.
- [29] McNaughton I H. Synthesis and sterility of *Raphano brassica* [J]. Euphytica, 1973, 22(1):70-88.
- [30] Hagimori M, Nagaoka M, Kato N, et al. Production and characterization of somatic hybrids between the Japanese radish and cauliflower [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1992, 84(7):819-824.
- [31] Baukloh, H. Untersuchung zur Wirtspflanzeneignung der Kruziferen gegenüber den Riibennematoden, *Heterodera schachtii* (Schmidt), unter besonderer Berücksichtigung der Resistenzzüchtung [D]. Georg-August Universität, GSttingen, BRD, 1976:72.
- [32] 潘大仁. 萝卜抗根线虫基因导入油菜的研究[J]. 中国油料作物学报, 1999, 21(3):6-9.
- [33] Lelivelt C L C, Lange W, Dolstra O. Intergeneric crosses for the transfer

- of resistance to the beet cyst nematode from *Raphanus sativus* to *Brassica napus* [J]. Euphytica, 1993, 68(1-2): 111-120.
- [34] Voss A, Snowdon R J, Lühs W. Intergeneric transfer of nematode resistance from *Raphanus sativus* into the *Brassica napus* genome [C]. III International Symposium on Brassicas and XII Crucifer Genetics Workshop 539, 2000; 129-134.
- [35] Peterka H, Budahn H, Schrader O, et al. Transfer of resistance against the beet cyst nematode from radish (*Raphanus sativus*) to rape (*Brassica napus*) by monosomic chromosome addition [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2004, 109(1): 30-41.
- [36] 张绍松, 李成云, 李进斌. 油萝卜抗胞囊线虫基因的染色体定位及其在油菜附加系中的稳定性[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 93-101.
- [37] Hansen L N, Earle E D. Somatic hybrids between *Brassica oleracea* L. and *Sinapis alba* L. with resistance to *Alternaria brassicae* (Berk.) Sacc [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1997, 94(8): 1078-1085.
- [38] Kirti P B, Narasimhulu S B, Prakash S, et al. Production and characterization of intergeneric somatic hybrids of *Trachystoma ballii* and *Brassica juncea* [J]. Plant Cell Reports, 1992, 11(2): 90-92.
- [39] Kirti P B, Mohapatra T, Khanna H, et al. *Diplotaxis catholica* + *Brassica juncea* somatic hybrids: molecular and cytogenetic characterization [J]. Plant Cell Reports, 1995, 14(9): 593-597.
- [40] 赵合句, 黄永菊. 油菜与菘蓝和芥菜属间杂交新品系比较试验[J]. 湖北农业科学, 1995(1): 8-11.
- [41] 戴兴临, 程春明, 宋来强, 等. 油菜 × 蕪菁远缘杂交创新油菜种质资源研究[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 6(2): 242-244.
- [42] Mei J, Ding Y, Lu K, et al. Identification of genomic regions involved in resistance against *Sclerotinia sclerotiorum* from wild *Brassica oleracea* [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2013, 126(2): 549-556.
- [43] Wang Y P, Sonntag K, Rudloff E. Development of rapeseed with high erucic acid content by asymmetric somatic hybridization between *Brassica napus* and *Crambe abyssinica* [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2003, 106(7): 1147-1155.
- [44] Fahleson J, Råhlén L, Glimelius K. Analysis of plants regenerated from protoplast fusions between *Brassica napus* and *Eruca sativa* [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1988, 76(4): 507-512.
- [45] Fahleson J, Eriksson I, Landgren M, et al. Intertribal somatic hybrids between *Brassica napus* and *Thlaspi perfoliatum* with high content of the *T. perfoliatum*-specific nervonic acid [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1994, 87(7): 795-804.
- [46] 李媛媛, 傅廷栋, 马朝芝. 芸薹属植物比较基因组学研究进展[J]. 植物学通报, 2007, 24(2): 200-207.
- [47] 刘忠松, 官春云. 甘蓝型油菜与芥菜型油菜种间杂交研究[J]. 中国油料作物学报, 2001, 23(2): 82-86.
- [48] 杜雪竹. 甘蓝型油菜与 *Lesquerella fendleri* 及菘蓝族间杂种的遗传研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [49] 肖龙, 罗鹏. 诸葛菜的研究现状与开发前景[J]. 西北植物学报, 1994, 14(3): 237-241.
- [50] 马霓. 高油酸的甘蓝型油菜与诸葛菜属间杂交新材料的细胞学和遗传学研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [51] Hu Q, Hansen L, Laursen J, et al. Intergeneric hybrids between *Brassica napus* and *Orychophragmus violaceus* containing traits of agronomic importance for oilseed rape breeding [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2002, 105(6-7): 834-840.
- [52] Brown J, Brown A P, Davis J B, et al. Intergeneric hybridization between *Sinapis alba* and *Brassica napus* [J]. Euphytica, 1997, 93(2): 163-168.
- [53] Choudhary B R, Joshi P, Singh K. Synthesis, morphology and cytogenetics of *Raphano fortii* (TTRR, 2n=38); a new amphidiploid of hybrid *Brassica tournefortii* (TT, 2n=20) × *Raphanus caudatus* (RR, 2n=18) [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2000, 101(5-6): 990-999.
- [54] 张丽君, 姜淑慧, 忻如颖, 等. 通过油菜与播娘蒿远缘杂交获得黄籽油菜种质[J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(4): 434-439.
- [55] 周清元. 甘蓝型油菜新种质资源创建及其株型性状遗传分析[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [56] Röbbelen G. Accessible and exploitable diversity for oilseed breeding [J]. Progress in Lipid Research, 1994, 33(1): 137-145.
- [57] Narasimhulu S B, Kirti P B, Prakash S, et al. Resynthesis of *Brassica carinata* by protoplast fusion and recovery of a novel cytoplasmic hybrid [J]. Plant Cell Reports, 1992, 11(8): 428-432.
- [58] 栗茂腾, 张椿雨, 李宗芸, 等. 埃塞俄比亚芥与白菜型油菜间六倍体杂种的获得及其生物学特性研究[J]. 作物学报, 2006, 31(12): 1579-1585.
- [59] 牛应泽, 汪良中. 人工合成甘蓝型油菜特长果突变选育初报[J]. 四川农业大学学报, 2002, 20(3): 212-215.
- [60] 张颖, 牛应泽. 人工合成甘蓝型大粒材料 H484 花粉生活力及减数分裂观察[J]. 四川农业大学学报, 2004, 21(4): 289-291.
- [61] Rahman M H. Production of yellow-seeded *Brassica napus* through interspecific crosses [J]. Plant Breeding, 2001, 120(6): 463-472.
- [62] Rygulla W, Snowdon R J, Friedt W, et al. Identification of quantitative trait loci for resistance against *Verticillium longisporum* in oilseed rape (*Brassica napus*) [J]. Phytopathology, 2008, 98(2): 215-221.
- [63] 余青青, 田露申, 牛应泽, 等. 人工合成甘蓝型油菜抗根肿病遗传研究初报[J]. 西南农业学报, 2008, 21(5): 1313-1315.
- [64] Ren J P, Dickson M H, Earle E D. Improved resistance to bacterial soft rot by protoplast fusion between *Brassica rapa* and *B. oleracea* [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2000, 100(5): 810-819.
- [65] Quazi M H. Interspecific hybrids between *Brassica napus* L. and *B. oleracea* L. developed by embryo culture [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1988, 75(2): 309-318.
- [66] Ripley V L, Beversdorf W D. Development of self-incompatible *Brassica napus*; (D) introgression of S-alleles from *Brassica oleracea* through interspecific hybridization [J]. Plant Breeding, 2003, 122(1): 1-5.
- [67] 周清元, 李加纳, 崔翠, 等. 芥菜型油菜 × 羽衣甘蓝种间杂种的获得及其性状表现[J]. 作物学报, 2005, 31(8): 1058-1063.
- [68] Sernyk J L, Stefansson B R. Heterosis in summer rape (*Brassica napus* L.) [J]. Canadian Journal of Plant Science, 1983, 63(2): 407-413.
- [69] 陈洪高, 吴江生, 刘超, 等. 萝卜-芥蓝异源四倍体的合成, 细胞和分子生物学研究及育种潜能 (英文) [C]//第十二届国际油菜大会论文集, 2007.
- [70] 满红, 张成合, 王新娥, 等. 4 × 菜薹与 4 × 芥蓝种间杂交获得异源四倍体及其鉴定[J]. 园艺学报, 2007, 34(5): 1163-1168.
- [71] Paulmann W, Röbbelen G. Effective transfer of cytoplasmic male sterility from radish (*Raphanus sativus* L.) to rape (*Brassica napus* L.) [J]. Plant Breeding, 1988, 100(4): 299-309.
- [72] Tu Y, Sun J, Liu Y, et al. Production and characterization of intertribal somatic hybrids of *Raphanus sativus* and *Brassica rapa* with dye and medicinal plant *Isatis indigotica* [J]. Plant Cell Reports, 2008, 27(5): 873-883.
- [73] 乔海云, 李非, 张淑江, 等. 大白菜与紫甘蓝种间杂种的获得与鉴定[J]. 植物科学学报 ISTIC, 2012, 30(4): 407-414.
- [74] Strauss S Y, Irwin R E, Lambrix V M. Optimal defence theory and flower petal colour predict variation in the secondary chemistry of wild radish [J]. Journal of Ecology, 2004, 92(1): 132-141.

DOI:10.11937/bfyy.201502048

猕猴桃缺素症叶片诊断

魏丽红, 翟秋喜

(辽宁农业职业技术学院 农产品质量安全检测中心, 辽宁 营口 115009)

摘 要:在一定范围内,叶片营养诊断可作为对果树潜在营养状况进行诊断的参考标准。当前猕猴桃缺素症叶片诊断可分为叶片外部形态诊断、叶片营养分析诊断及对照已有的诊断标准加以诊断3种。该文对各类诊断方法进行了概述,对3种诊断方法的优势和不足进行了比较分析,对实施3种诊断方法时的注意事项进行了归纳。提出猕猴桃缺素症叶片诊断的发展趋势,指出在今后的研究中,应根据具体情况,选择适宜的诊断方法,同时应综合运用各种诊断方法,充分发挥多种方法的优势。应积极探索猕猴桃树体对养分缺乏的生理生态适应性以及养分之间的相互作用,探寻更好的营养诊断方法和途径。

关键词:猕猴桃;缺素症;叶片诊断

中图分类号:S 663.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)02-0170-05

猕猴桃是多年生木本植物,生命周期长,枝梢年生长量大,枝粗叶壮,结果早而多^[1],树体每年生长发育结果及修剪等都要消耗土壤中大量的营养。营养元素是果树生长发育、开花结果的物质基础,猕猴桃果树正常

生长发育所必需的营养元素有16种^[2],缺少其中任何一种就会出现特有的缺素症状,过多则会引起毒害。进行科学合理的缺素症诊断,依据诊断结果及时进行营养补充,可以有效防止潜在的缺素危害,保证猕猴桃果树的正常生长发育,提高果品产量和品质。

叶片是果实正常生长发育所需养分的贮存库和供给库,猕猴桃果实正常生长发育所需的大量营养主要来自于其叶片的营养^[3],果实产量受叶片中大、中、微量矿质营养元素的影响^[4]。叶片是树体对土壤养分反应最敏感的器官,它的营养状况在一定程度上体现树体对土

第一作者简介:魏丽红(1976-),女,吉林长春人,硕士,现主要从事农产品质量检测等研究工作。E-mail:wlh3030@126.com.

基金项目:辽宁农业职业技术学院2014年度科研资助项目;辽宁省教育厅2014年科学研究一般资助项目(L2014487)。

收稿日期:2014-11-11

[75] Zhang B, Lu C M, Kakihara F, et al. Effect of genome composition and cytoplasm on petal colour in resynthesized amphidiploids and sesquidiploids derived from crosses between *Brassica rapa* and *Brassica oleracea* [J]. Plant Breeding, 2002, 121(4): 297-300.

[76] 孙龙涛. 白菜与黑芥种间异源四倍体的获得及其植物学特性研究

[D]. 杭州:浙江大学, 2012.

[77] Li Q, Mei J, Zhang Y, et al. A large-scale introgression of genomic components of *Brassica rapa* into *B. napus* by the bridge of hexaploid derived from hybridization between *B. napus* and *B. oleracea* [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2013, 126(8): 2073-2080.

Research Advance in Application of Distant Hybridization on Breeding of *Brassica* Crops

ZHOU Qing-hong, ZHOU Can, FAN Shu-ying

(College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Key Laboratory of Crop Physiology Ecology and Genetics Ministry of Education, Nanchang, Jiangxi 330045)

Abstract: Distant hybridization is great significant for creating crop new-types, trait improvement and crop breeding, it plays an essential role on breeding of *brassica* crops. The studies on the application of distant hybridization on gaining male sterile lines, acquiring resistance, improving agronomic traits and creating new-types of *brassica* crops in recent decades were reviewed. The new research direction for distant hybridization on breeding of *brassica* crops was put forward.

Keywords: *Brassica*; distant hybridization; male sterility; resistance; trait improvement