

百合花色及相关育种研究进展

丁芳兵¹, 孙伟博², 原雅玲¹, 寻路路¹, 余刚¹, 张蕾¹

(1. 陕西省西安植物园, 陕西省植物研究所, 陕西 西安 710061; 2. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 花色是百合属植物重要的观赏性状之一。目前世界上对百合种质创新研究大力开发,但在花色创新方面进入瓶颈期。我国百合种质资源丰富,但种质创新发展相对缓慢。花色创新更是在起步阶段。该研究总结了百合花色的相关研究成果,并对百合花色育种进行了综述和展望,以期为进一步开展百合的花色创新提供参考依据。

关键词: 百合; 花色; 育种

中图分类号: S 644.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2017)18-0170-06

百合是百合属(*Lilium* L.)植物不同品种的总称,为无性繁殖的多年生植物,并且是具有重要经济价值的观赏类花卉。百合在世界范围内均有种植,可以作为花园花卉、盆栽观赏以及插花植物。目前,百合已成为世界上应用最为广泛的鲜切花之一,在鲜切花市场上具有不可估量的经济价值。同时,由于其优雅及硕大的花朵能够呈现出花姿百态及艳丽花色,能够给园艺工作者提供色彩丰富、花式繁多以及芳香各异的多种组合选择。各种百合资源的探索、品种的收集及种质创新在全球范围内广泛进行。而一直以来,美国和荷兰作为百合研究育种中心,随着育种技术及相关分子生物学技术的发展,已培育出数以万计的新奇品种,在国际百合花卉市场上占有举足轻重的作用,从而也促使百合新品种研究成为国际花卉市场商业竞争的热门区域。中国作为一个资源大国和花卉大国,百合资源丰富,原产百合种类占世界百合属植物种类的 1/2 以上,属于地球上百合植物自然分布的中心之一^[1]。尽管自 20 世纪 80 年代开始,我国即开始百合相关研究并取得了

成果,包括在野生资源引种、培育驯化、杂交育种、遗传背景及形态发育研究和相关的细胞及分子生物学研究等多个方面,但具有高附加经济价值的商业应用品种开发有限^[2-4]。如何利用我国丰富的百合资源,进行新品种的开发研究不仅具有重要的学术价值,更具有美好的商业前景。而花色作为决定观赏价值的重要指标,决定了品种创新中对于花色的研究需求更为突出,商业市场希望得到更加绚丽多彩的百合花卉。综上,现针对我国的百合资源的利用以及相关的育种研究进展进行综述和展望,以期为进一步开展百合花色创新育种提供参考依据。

1 百合的种质资源

1.1 百合种质资源的概念和意义

针对栽培植物以种为单位作为一个群体,群体内全部遗传物质或所有基因型的总和即种质资源,具体来说包括栽培的各品种类型及野生、半驯化的所有类型品种^[5]。这些品种在育种过程中,以群体或者个体的形式存留,从而提供育种所需的材料即通常所指的“原始材料”。原始材料既可以直接通过选育的方法被用于培养新品种,也可以利用这些材料作为杂交亲本通过杂交开发新品种。原始材料是育种工作的基础,需要广泛地进行调查和采集,对其遗传多样性进行研究评价并

第一作者简介: 丁芳兵(1983-),女,博士,助理研究员,现主要从事园林观赏植物引种驯化及育种等研究工作。
E-mail: flora1314dfb@126.com

基金项目: 陕西省科学院青年基金资助项目(2012K-24)。

收稿日期: 2017-02-28

进行合理、充分的应用,从而达到品种改良和种质创新的目的。

1.2 中国百合属种质资源

百合属的分类目前仍然普遍使用 COMBER^[6]于 1949 年提出的 9 组 7 亚组的分类方法。根据已知的文献记录,百合属约有 110~115 个种分布,而且自 20 世纪以来,随着人工育种技术的不断发展,百合的栽培品种也是日益增多^[7]。因此,根据栽培品种和其亲本原始种与杂交种的遗传演化关系,北美百合学会(NALS)和英国皇家园艺学会(RHS)将全部种属归纳分为 9 个杂种系。而原始的野生百合大多生长于北半球,从亚热带到温带甚至寒带地区均有分布,尤其集中分布于亚洲东部和美洲北部地区^[8]。中国是亚洲地区的百合资源集中分布区,主要分布于全国 5 个地区,分别为西南部及西部高山区域、中部高海拔山区、东北部高山地带、北部及西北地区的黄土高原地区、南部及中部的丘陵地区,其中西北部高山地区为野生百合集中分布区域。而且,中国的百合资源占世界百合种属的 50%以上,根据目前文献记载约有 55 种分布于中国各地。云南、四川省及西藏地区分布有 36 个种及 11 个变种^[9-10],西部秦巴山脉地区分布有包括变种在内的 11 个种^[11],东北地区分布有 6 个种及 3 个变种^[12-13]。中国的百合资源于 18 世纪后期开始相继传入欧洲,在极大程度上促进了世界百合的育种进程和种质创新。东方百合杂种系、亚洲百合杂种系和麝香百合杂种系等作为世界上广泛栽种的百合杂交品种,其主要亲本均有中国的野生百合种质资源,更有多种百合种质资源用于世界上百合的抗逆、抗病性状的改变^[14]。因此,中国的百合种质资源不仅是国家的重要宝贵资源,更是世界百合种质资源库的珍贵财富。

2 百合花色的模式

百合作为观赏植物,颜色是衡量其观赏价值和经济价值的一个重要因素。花的颜色一般理解为通常所说的花作为一个整体所呈现出的颜色,而园艺研究以及观赏分级通常将花瓣(成熟花被片)所能呈现的颜色定义为花的颜色,这种较为狭

义的定义也为育种工作提供了更高和更为准确的要求。百合花颜色丰富,世界上的百合花颜色主要为红色、粉色、黄色、白色以及橙色,另外还有一些中间色。而作为重要的百合种质资源库,生长于中国的野生百合主要呈现常见的白色、黄色、橙色、粉色、红色以及比较特殊的绿色和紫色^[15]。也有学者在研究过程中根据需要,利用颜色比对待色差测定将花色归纳为色系进行统计分类,例如有橙色系、紫色系、白色系和黄色系等^[16]。除此之外,有的变种百合的花色还会随时间变化而产生改变,如变种百合(*L. brownii* var. *colchesteri*)花瓣的黄色会在开花 1 d 后变为白色^[17]。

另外一方面,百合不仅能够呈现某种单一纯和的颜色。根据百合花朵的着色模式,百合花色还可以展现出例如斑点以及双色等更为缤纷的色彩^[18],而这是由于不同种类的花色素在花瓣不同部位差异表达的结果。其中斑点一般分为 3 种类型,分别为突起型斑点,多位于花瓣的近轴面,斑点表面隆起;溅泼状斑点,呈溅泼状分布在花瓣的下部;刷状斑点,在花瓣基部沿维管束呈刷状栗色条纹^[19-20]。这些比较特殊的彩色组合在野生品种和杂交品种中均有发现,例如岷江百合(*L. regale*)的花瓣主要为白色,但在喉部呈现黄色;亚洲百合有的存在花瓣上下部颜色不同;川百合(*L. davidii*)以及东方百合的杂交种“贵妃”分别会呈现不同斑点^[21]。随着日益增多的杂种百合品种,将有更广泛的花色变异呈现。

3 百合花色的显色机理研究

百合花色丰富是由多种色素相互作用在花瓣上呈现的结果。花色一般通过比色卡以及色差仪进行测定,再通过显色反应、光谱扫描等手段确定花色素的种类。研究表明植物花瓣中的色素主要包括类黄酮(Flavonoids)、类胡萝卜素(Carotenoids)和生物碱(Alkaloids)三大类,其中类黄酮和类胡萝卜素是百合花色形成的关键物质^[22-23]。

类黄酮为天然多酚物质,广泛存在于绿色植物中。类黄酮主要存在于液泡中,以溶解于细胞液里的方式存在,百合花色中的橙色、黄色、红色、粉色以及紫色等大多数颜色的形成均与此类化合物相关。而类黄酮根据其自身化学结构分为黄酮

和异黄酮,其中属于黄酮化合物的花青素(又称花色素)即造成百合粉、红、紫等色系的关键色素因子。花青素很少由游离状态存在于自然条件下,多通过糖苷键形成花色素苷起作用。亚洲百合中粉色品种,其花色主要成分就是花青苷^[24]。

类胡萝卜素是自然界中一类重要天然色素的总称,广泛存在于动植物、真菌及藻类当中。百合花色中橙黄色和橙红色的形成均与类胡萝卜素的表达有密切关系^[25]。例如我国著名的百合品种兰州百合(*L. davidii* var. *willmottiae*)以及大部分卷丹品种中都有类胡萝卜素的大量积累。

类黄酮和类胡萝卜素以及其它色素在花瓣中存在的种类不同、含量不同及空间分布不同等都会造成花色的差异,例如棕色的亚洲百合花色成分主要是花青苷,红色亚洲百合中花青苷和类胡萝卜素均有存在,而在白色的东方百合中检测不到花青苷的存在^[26-27];另外,花青苷自身积累水平的高低也会导致百合产生浅粉、粉红、深红和棕色等不同的颜色^[27]。这些色素的表达差异正是由其相关基因调控的结果。例如花青素是由 L-苯丙氨酸次级代谢产生,在这个过程中,苯丙氨酸解氨酶(PAL)、查尔酮合成酶(CHS)和二氢黄酮醇 4-还原酶(DFR)是 3 个关键的合成酶,其编码基因都已经被分离和确定^[28-29]。其中 PAL 基因能够调控花青素合成相关基因的转录水平,从而影响花青素生成的含量,CHS 和 DFR 基因能够调控花青素的空间表达及积累水平^[30]。同样,类胡萝卜素生成途径目前也比较清楚,代谢过程中相关酶的编码基因都已得到分离和验证^[17,22,31]。

4 百合花色的遗传特性及相关育种技术

百合杂交时不同花色的遗传力差别比较明显,不同花色的亲本通过杂交所产生的后代广泛存在着花色变异。研究百合花色的遗传特性有利于在育种工作中选择合适的亲本,从而获得理想的目的性状。有的花色遗传力较强,例如目前通过基因比对发现,垂花百合中的 MYB12 基因与亚洲百合粉花品种中重要花色调控基因 MYB12 亲缘程度十分接近^[32],而亚洲百合主要来自卷瓣组的种间杂交,垂花百合(*L. cernuum*)在卷瓣组中有明显的全粉色花瓣,因此,亚洲百合的粉色确

实遗传于垂花百合并具有相当强的遗传力。与此同时,这种遗传力也就具备了相应的溯源能力,能够为研究人员推测一些杂交种的亲本提供思路。

同样,与其它遗传性状相同,由于遗传力不同,百合花色的遗传也具有显性和隐性的区别。一般白色为隐性而其它花色为显性,在亚洲百合粉色‘Montreux’× 粉色‘Renoir’杂交得到的 F₁ 群体中,粉色:白色为 27:13,说明白色是隐性性状^[33];东方百合杂交种“云霞”的花瓣颜色为粉红色,其母本东方百合‘D6’花色为粉红而父本东方百合‘D32’花色为白色,也证明白色在此是隐性性状。另外,有的花色杂交显示为共显性或不完全显性,这在麝香百合与亚洲百合杂种系间的杂交种 LA 系中比较常见^[34]。而在花色遗传中呈现出比较特别的斑点,其遗传特性既有质量性状特点,也有数量性状特点。根据研究,百合花瓣上斑点的有无是质量性状,而斑点多少为数量性状^[35]。

根据百合花色的遗传特性,研究人员和育种工作者可以选择合适的育种技术。目前,百合的育种技术主要有杂交育种、诱变育种、细胞工程育种和分子育种。

杂交育种一直是百合育种的主要手段,尽管目前很大部分杂交新品种通过杂交获得,但是仍然会有种内不亲和造成育种困难。同时利用杂交育种进行花色改变的结果可预见性不确定,另外需要对百合构建庞大的遗传图谱,这也是杂交育种进行花色种质创新面临的重要问题;细胞工程育种可以通过原生质体融合得到杂种细胞,从而建立再生植株获得新品种,能够在一定程度上克服杂交不亲和,但是技术要求比较高,从杂合细胞培养成再生植株难度比较大,而且对于花色改良能力有限;诱变育种可以通过物理或化学诱导,产生基因突变从而获得新的品种,也是目前比较常见的育种手段,但在花色育种中存在较大的不可预估性,而且物理辐射、化学诱导操作有一定危险性,而航天诱导成本昂贵;分子育种在随着当代生物技术的高速发展,逐渐成为育种工作的一个重要手段,在基因水平上进行改造具有更强的准确性,能够定向改变百合花色性状,但需要准确找出控制花色的关键基因及相关的效应因子,需要进

行转基因和基因改造,技术手段和花费都要求较高而且其遗传稳定性需要进行验证。以上4种育种技术各有利弊,也是目前种质改良所运用的主要技术手段。

5 百合花色性状改良研究现状

花色是一个复杂的遗传性状,国内外对于花色的性状改良进行了大量的研究。目前,不少科研人员在不断建立百合花色相关的遗传连锁图谱,ABE等^[36]和NAKANO等^[37]分别于2002年和2005年在亚洲百合中构建了花瓣内花青素和类胡萝卜素合成相关基因分子连锁图谱,能够有效地进行花色筛选和花色的控制。而在分子水平上进行花色的调控是目前大多数研究人员所追求的目标,关于花色成色色素的编码基因不断被发现,并进行了克隆和验证改良。黄酮类合成和修饰的相关基因被大量报道,如查尔酮合成酶基因(*CHSA*、*CHSJ*等)、控制其合成的早晚期关键酶—查尔酮合酶基因(*CHS*)和黄烷酮醇4-还原酶基因(*DFR*)、查尔酮异构酶基因(*CHIA*、*CHIB*)、类黄酮-3'5-羟基化酶基因(*Hf1*、*Hf2*)、花青素 *BiCl* 调控基因都已被克隆^[38]。类胡萝卜素代谢合成过程中关键酶八氢番茄红素合成酶(*PSY*)、玉米黄素环氧酶(*ZEP*)以及辣椒红素-辣椒玉红素合成酶(*CCS*)等,它们的编码基因也已经被发现并克隆^[39]。而通过分子手段对这些基因进行改造或转化,便可以控制花色改变从而得到新的百合品种^[40]。尽管如此,我国对花色育种的研究尚处于起步阶段,多数研究仍停留在相关基因调控的验证方面,需要付出更多的努力。

6 展望

花色育种是当今世界的热门研究课题,花色创新也是百合种质创新的重要方面之一。尽管传统的杂交育种在新花色的开发上已略显乏力,但是可以将花色育种和其它性状育种综合开发。另外,细胞育种工程育种和诱变育种在花色育种方面也没有优势,因此可以更多考虑利用分子技术进行花色的种质创新。目前关于黄酮类色素和类胡萝卜素的合成代谢途径已经研究较为清楚,在

代谢途径中的关键酶编码基因已验证并进行了克隆鉴定,分子水平对花色进行调控已经变成可能,甚至在双子叶植物中已经成功利用转基因技术获得了新的花色品种^[41-42]。因此,要将百合花色形成和调控相关基因进行充分的利用,开创百合花色创新的新途径。另一方面,不能在一味追求花色创新的过程中忽略了其它性状的保护,应该培育多花色、稳定遗传、高抗性、维护成本低并且花期长的优良品种。花色育种潜力巨大但同时也是一个漫长的过程,需要育种工作者付出巨大的努力。

参考文献

- [1] 王洁琼. 中国野生百合资源调查及遗传多样性分析[D]. 北京:北京林业大学,2006.
- [2] 李龙. 百合的研究开发与利用[J]. 中国经济信息,1999(20):70-73.
- [3] 吴祝华,施季森,池坚,等. 观赏百合资源与育种研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2006,30(2):113-118.
- [4] 袁丽丽,刘青林. 中国野生百合种质资源的保存、评价与创新[C]. 2010中国球根花卉年会交流论文集,2010:162-176.
- [5] 田爱梅,郑日如,王国强,等. 中国野生百合种质资源的研究·保护与利用[J]. 安徽农业科学,2007,35(31):9987-9990.
- [6] COMBER H F. A new classification of genus *Lilium*[M]. R Hort Soc Lily Year Book,1949,15:86-105.
- [7] VINNERSTEN A, BREMER K. Age and biogeography of major clades in Liliales[J]. Am J Bot,2010,88:1695-1703.
- [8] PERUZZI L, LEITCH I J, CAPARELLI K F. Chromosome diversity and evolution in Liliaceae[J]. Ann Bot (Oxford),2009,103:459-475.
- [9] 鲍隆友,周杰,刘玉军. 西藏野生百合属植物资源及其开发利用[J]. 中国林副特产,2004,4(2):54-55.
- [10] 吴学尉,李树发,熊丽,等. 云南野生百合资源分布现状及保护利用[J]. 植物遗传资源学报,2006,7(3):327-330.
- [11] 向地英,张延龙. 秦巴山区及毗邻地区野生百合的生物学特性的研究[J]. 陕西农业科学,2005(3):63-65.
- [12] 刘利,李太允,闰胜勇,等. 长白山野生百合栽培技术[J]. 吉林林业科技,2002,31(1):59-60.
- [13] 岳玲,雷家军,王欣. 辽宁的4种野生百合(*Lilium* spp.)的核型研究[J]. 辽宁农业科学,2006(4):5-8.
- [14] SUH J K, WU X W, LEE A K, et al. Growth and flowering physiology, and developing new technologies to increase the flower numbers in the genus *Lilium*[J]. Horti Environ Biotechnol,2013,54(5):373-387.
- [15] 王青,管洁,吕英民. 百合花色研究进展[J]. 中国观赏园艺研究进展,2014(1):132-138.
- [16] 夏婷,耿兴敏,罗凤霞. 不同花色野生百合色素成分分析

- [J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(5): 108-113.
- [17] HAI N T L, MASUDA J I, MIYAJIMA I, et al. Involvement of carotenoid cleavage dioxygenase 4 gene in tepal color change in *Lilium brownii* var. *colchesteri*[J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 2012, 81(4): 366-373.
- [18] YAMAGISHI M. How genes paint lily flowers; Regulation of colouration and pigmentation patterning[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 163(5): 27-36.
- [19] YAMAGISHI M, AKAGI K. Morphology and heredity of tepal spots in Asiatic and oriental hybrid lilies(*Lilium* spp.)[J]. Euphytica, 2013, 194(3): 325-334.
- [20] YAMAGISHI M, TODA S, TASAKI K. The novel allele of the *LhMYB12* gene is involved in splatter type spot formation on the flower tepals of Asiatic hybrid lilies(*Lilium* spp.)[J]. New Phytologist, 2014, 201(3): 1009-1020.
- [21] 王秀刚. 百合种质资源的花色评价及形成的分析[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
- [22] TANAKA Y, SASAKI N, OHMIYA A. Biosynthesis of plant pigments; Anthocyanins, betalains and carotenoids[J]. The Plant Journal, 2008, 54(4): 733-749.
- [23] 戴思兰, 黄河, 付建新, 等. 观赏植物分子育种研究进展[J]. 植物学报, 2013, 48(6): 589-607.
- [24] 韩科厅, 胡可, 戴思兰. 观赏植物花色的分子设计[J]. 分子植物育种, 2008, 6(1): 16-24.
- [25] NISHIHARA M, NAKATSUKA T. Genetic engineering of novel flower colors in floricultural plants; Recent advances via transgenic approaches[M]. New York: Humana Press, 2010: 325-347.
- [26] YAMAGISHI M, KISHIMOTO S, NAKAYAMA M. Carotenoid composition and changes in expression of carotenoid biosynthetic genes in tepals of Asiatic hybrid lily [J]. Plant Breeding, 2010, 129(1): 100-107.
- [27] YAMAGISHI M, YOSHIDA Y, NAKAYAMA M. The transcription factor *LhMYB12* determines anthocyanin pigmentation in the tepals of Asiatic hybrid lilies (*Lilium* spp.) and regulates pigment quantity[J]. Molecular Breeding, 2012, 30(2): 913-925.
- [28] 杨丽, 刘雅莉, 王跃进, 等. 百合查尔酮合成酶(CHS)基因的克隆与分析[J]. 西北植物学报, 2006, 26(5): 933-936.
- [29] TANAKA Y, BRUGLIERA F. Flower colour and cytochromes P450[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 2013, 368(1612): 2012-2023.
- [30] LAI Y S, SHIMOYAMADA Y, NAKAYAMA M, et al. Pigment accumulation and transcription of *LhMYB12* and anthocyanin biosynthesis genes during flower development in the Asiatic hybrid lily (*Lilium* spp.) [J]. Plant Science, 2012, 193-194: 136-147.
- [31] OHMIYA A. Qualitative and quantitative control of carotenoid accumulation in flower petals [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 163: 10-19.
- [32] YAMAGISHI M, IHARA H, ARAKAWA K, et al. The origin of the *LhMYB12* gene, which regulates anthocyanin pigmentation of tepals, in oriental and Asiatic hybrid lilies (*Lilium* spp.) [J]. Scientia Horticulturae, 2014, 174: 119-125.
- [33] 孔澄, 窦晓莹, 包放, 等. 百合花色机理研究进展[J]. 园艺学报, 2015, 42(9): 1747-1759.
- [34] 杨佳明, 赵兴华, 潘百涛, 等. 百合新品种引种栽培试验研究[J]. 北方园艺, 2011(16): 88-90.
- [35] SHAHIN A, ARENS P, van HEUSDEN A W, et al. Genetic mapping in *Lilium*; Mapping of major genes and quantitative trait loci for several ornamental traits and disease resistances[J]. Plant Breeding, 2011, 130(3): 372-382.
- [36] ABE H, NAKANO M, NAKATSUKA A, et al. Genetic analysis of floral anthocyanin pigmentation traits in Asiatic hybrid lily using molecular linkage maps[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2002, 105(8): 1175-1182.
- [37] NAKANO M, NAKATSUKA A, NAKAYAMA M, et al. Mapping of quantitative trait loci for carotenoid pigmentation in flower tepals of Asiatic hybrid lily [J]. Scientia Horticulturae, 2005, 104(1): 57-64.
- [38] 王瑜, 崔金腾, 张克中, 等. 百合花青素苷合成酶基因片段的克隆与表达分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(10): 162-166.
- [39] ZHU C, BAI C, SANAHUJA G, et al. The regulation of carotenoid pigmentation in flowers[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2010, 504(1): 132-141.
- [40] 史倩倩, 周琳, 李奎, 等. 植物花色素合成的转录调控研究进展[J]. 林业科学研究, 2015, 28(4): 570-576.
- [41] CHANDLER S, TANAKA Y. Genetic modification in floriculture[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2007, 26(4): 169-197.
- [42] KATSUMOTO Y, FUKUCHI-MIZUTANI M, FUKUI Y, et al. Engineering of the rose flavonoid biosynthetic pathway successfully generated blue-hued flowers accumulating delphinidin [J]. Plant and Cell Physiology, 2007, 48(11): 1589-1600.

Research on Flower Color and Breeding of *Lilium*

DING Fangbing¹, SUN Weibo², YUAN Yaling¹, XUN Lulu¹, YU Gang¹, ZHANG Lei¹

(1. Xi'an Botanical Garden of Shaanxi Province, Institute of Botany of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710061; 2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037)

doi:10.11937/bfyy.20170864

邻苯二甲酸酯检测方法的研究进展

李 冰, 李 玉 双

(区域污染环境生态修复教育部重点实验室, 沈阳大学 环境学院, 辽宁 沈阳 110044)

摘 要:邻苯二甲酸酯(Phthalic acid esters, PAEs)是一类重要的全球性有机污染物, 具有环境雌激素效应、生物累积和放大效应, 可通过食物链对人体健康造成损害。当前环境 PAEs 污染问题普遍存在, 其在环境介质中的含量已经成为评估环境污染程度的一项重要指标。该文在国内外众多学者研究的基础上, 综述了色谱法、色谱-质谱联用法、分光光度法、化学发光免疫分析法等各种方法在不同介质内 PAEs 检测过程中的优缺点, 并对其发展趋势进行了展望, 提出便捷、高通量的前处理技术、高分辨率的多级串联质谱以及色谱-质谱联用技术是未来 PAEs 检测方法的发展方向。

关键词:邻苯二甲酸酯; 检测方法; 研究进展

中图分类号:O 658 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)18-0175-05

邻苯二甲酸酯(Phthalic acid esters, PAEs)是一种对不良环境具有高耐受性的有机化合物, 常作为增塑剂添加到塑料中以提高其柔软度和延展性。PAEs 与塑料基质的相溶性较好, 但并不

形成共价键, 而是由氢键或范德华力相连, 可不断由塑料制品内迁移至外界环境^[1], 目前, 在土壤、水、空气、生物乃至人体中均可检测到 PAEs, 其引起的环境污染已受到全球性关注, 被称为“第二个全球性 PCB 污染物”^[2]。PAEs 具有环境雌激素效应、生物累积和放大效应, 可通过食物链对人体健康造成损害。当前, 环境 PAEs 污染问题普遍存在, 评估环境污染程度的重要依据是环境介质中的 PAEs 含量, 而选择合适的检测方法则成为对 PAEs 进行定性、定量分析的关键^[3]。近年来, 有关 PAEs 检测方法的研究报道日益增多, 该研究综述了色谱法、色谱-质谱联用法、分光光度法、化学发光免疫分析等各种方法在不同介质内 PAEs 检测过程中的优缺点, 并对其发展趋势进行展望。

第一作者简介:李冰(1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向为有机污染物的土壤污染生态效应。E-mail: 709332593@qq.com

责任作者:李玉双(1978-), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 现主要从事污染环境修复与污染生态效应等研究工作。E-mail: ysls_sy@163.com

基金项目:国家自然科学基金资助项目(21307084, 21377139); 沈阳市科学事业费竞争性选择(城市生态环境风险管理与修复技术)资助项目。

收稿日期:2017-04-11

Abstract: Flower color is an important traits to measure the ornamental value of *Lilium*. A great attention has been paid to the research of breeding of *Lilium* currently, but the innovation of flower color comes into the bottleneck period. Although exists a large *Lilium* genus with abundant species and cultivars, the breeding of lilies is less developed in China, innovation of lily flower color is even still in the early stage. In this study, the related research achievements of lily flower color were summerized, and breeding of flower color were reviewed and prospected. The objective of this work was to provide a reference for breeding of new flower color lily cultivars.

Keywords: *Lilium*; flower color; breeding