

无花果遗传资源与育种研究进展

高磊, 魏翠果, 贾自乾, 郭俊英*

(中国农业科学院郑州果树研究所, 河南郑州 450009)

摘要 无花果果实营养丰富, 具有较高的药用价值, 病虫害极少, 是完全天然的无公害水果, 药食同源, 越来越受到消费者的青睐, 具有广阔的市场前景。目前我国的无花果主栽品种主要来源于国外引种, 属于普通型无花果, 生产上表现并不完全一致, 因此选育出优质抗逆的无花果新品种来满足日益增长的市场需求至关重要。对无花果的起源、分类、遗传变异、种质资源及育种等方面进行综述, 以期对无花果种质资源调查及育种项目提供指导。

关键词 无花果; 起源; 分类; 遗传变异; 种质资源; 育种

中图分类号 S663.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)18-0001-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.18.001



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research Progresses on Genetic Resources and Breeding in *Ficus carica* L.

GAO Lei, WEI Cui-guo, JIA Zi-qian et al (Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Science, Zhengzhou, Henan 450009)

Abstract *Ficus carica* fruit is rich in nutrition, has high medicinal value, and has very few pests and diseases. It is a completely natural and non-polluted fruit with the same medicine and food. It is more and more favored by consumers and has a broad market prospect. At present, the main *Ficus carica* varieties in China are mainly introduced from abroad, which belong to common figs, and their production performance is not exactly the same. Therefore, it is very important to breed new varieties of high-quality and stress-resistant figs to meet the growing market demand. At present, in China, major fig cultivars come from foreign country, the characters are not completely consistent in production, so it is very important for breeding new variety of fig with fine quality and high resistance meeting the market demand. This article reviewed the origin, classification, genetic variation, germplasm resources and breeding of *Ficus carica*, in order to provide guidance for *Ficus carica* germplasm resources investigation and breeding projects.

Key words *Ficus carica*; Origin; Classification; Genetic variation; Germplasm resources; Breeding

无花果是世界上已知的最古老的果树之一, 在神话故事中作为圣果, 为许多神话增添了神秘色彩。植物学上将无花果(*Ficus carica* L.) 归属为桑科, 体细胞染色体数目为 $2n = 2x = 26^{[1-2]}$ 。随着生活水平的提高, 人们对无花果果品的多样化提出需求, 不同消费群体的不同消费偏好要求得到个性化满足, 如不同皮色、果肉颜色、果形、风味、口感及功能性等。与其他作物一样, 无花果很多重要性状都属于数量遗传, 如产量、品质及抗性, 其表型变异是多基因和环境因素共同作用的结果。分析重要农艺性状的数量变异和潜在的遗传基础对无花果育种目标至关重要。育种的关键基础是对亲本材料的选择, 优良的亲本材料是育成优质新品种的重要保障, 对无花果种质资源的搜集与调查就成为育种工作的首要任务。

与世界上其他国家相比, 我国在无花果种质资源的搜集保存与育种方面的工作十分落后, 目前只有部分开展无花果研究的高校、科研院所保存了极少数的品种资源, 但是由于多种原因时常发生毁坏和流失, 同时, 在无花果栽培区, 种植者对符合生产要求的品种进行选择, 导致品质和适应性相对较差的品种资源不断丧失在一定程度上对选育优质抗逆的无花果新品种造成了困难。结合近几年课题组对无花果育

种工作的研究内容和国内外文献资料, 笔者对无花果的起源、分类、遗传变异、种质资源及育种等方面进行综述, 以期对无花果种质资源的调查及育种项目提供指导。

1 无花果的起源和应用

在阿拉伯半岛南部发现了野生无花果, 这里应该是无花果的起源地之一^[1]。Jona 等^[2]研究表明无花果起源于里海海滩的雨林、土耳其西北部, 也可能是周边地区的其他地方, Berg^[3]则认为无花果起源于地中海流域, 它被腓尼基人、叙利亚人、埃及人、希腊人及地中海地区的人广泛种植^[4]。据说无花果的属名 *carica* 指卡里亚地区, 一个因无花果而闻名的小亚细亚的古老地区^[1]。最新的研究表明普通无花果原产于亚洲西南部和地中海东部地区^[5]。无花果通常在温带气候地区广泛栽培, 这对植物本身和它的传粉媒介都是有利的, 但是在热带和亚热带地区也有种植^[6]。无花果在温暖干旱的气候条件下种植, 在 3 000 年以前它的干果就作为人类一种常见的食物存在^[7]。在地中海北部区域, 每年无花果树生产 1~2 批果, 这取决于栽培品种的类型^[8]。每年在世界范围内有超过 30 万 hm^2 的土地生产出超过 100 万 t 的鲜食无花果, 其中地中海国家是鲜食无花果的主要产地^[9]。

无花果能为人们提供矿物质、维生素、膳食纤维和大量氨基酸等营养成分, 果实不含脂肪和胆固醇^[10-11]。与其他果实一样, 无花果也包含有影响果实品质的糖类和有机酸^[12]。作为药食同源性果实, 无花果具有通便、利尿、镇痛和润肤的功效, 由于它较高的营养价值而被人们长期食用, 鲜果和干果已经形成了人类食物的一部分^[13]。无花果也可以加工成罐头和果干, 这对其产业的长远发展具有重要意义。从无花

基金项目 中央级院所基本科研业务费专项-特色小浆果资源筛选与新品种选育研究(1610192020602); 科技部、财政部国家科技资源共享服务平台项目(NHGR2020-NH00-10); 郑州市基本科研业务费专项(ZGS202007)。

作者简介 高磊(1986—), 男, 河南周口人, 助理研究员, 博士, 从事小浆果种质资源收集与遗传育种研究。*通信作者, 副研究员, 硕士, 从事小浆果遗传育种相关方面研究。

收稿日期 2020-10-19; **修回日期** 2021-02-25

果中提炼的蛋白酶具有使肉质变嫩、熔炼脂肪和净化饮料的作用。对无花果进行组织培养,可以获取蛋白酶^[14]。无花果及其产品的药用价值目前也获得了广泛关注和深入研究^[6,13,15]。

近几年,鲜食无花果及其果干制品的消费在美洲、亚洲及传统生产地区欧洲都有显著性增长。这一现象引起了无花果传统栽培地区生产部门的兴趣,促进了相关食品产业的发展及新产品的出现,满足国内外市场的增长需求。然而,日益增长的无花果产业的潜在发展是与现代农业新技术的引入及具有优质性能的栽培品种的选择相关,如果重、果形、果皮和果肉的颜色、风味、芳香、可溶性固形物及酸度等^[16]。同时,合适的采后技术的发展有助于无花果的保存,延长货架期,促进新兴市场的崛起^[17-18]。在土耳其、以色列、埃及、美国及智利等国家的商业种植园已经对品种和栽培技术进行了相关研究,以此来提高无花果的果实品质及产量^[16,19-22]。

2 无花果花生物学和园艺学分类

无花果具有单性花和雌花两性花的特征,属于榕属植物^[1]。无花果的花序非常特别,由隐藏在花中的隐头花序组成,发育成通常称为无花果种子的具有细小花梗的核果^[1,4]。无花果在形态学上被认为雌花两性花异株,但在功能上是雌雄异株的。通过隐头花序中花的性别,可以将无花果树的2种类型进行区分。第一类是野生无花果,隐头花序包含有分散在内壁大部分区域的短雌花,而雄花集中在果口内部的周围;另一类是驯化的雌无花果树,隐头花序仅有长雌花构成。通常情况下,仅后者可以发育成能食用的无花果^[1]。

2.1 野生种 野生无花果在功能上作为雄株,其花粉可用于斯密尔那型和原生类型无花果的雌花授粉,果实一年3期,不宜食用,主要为无花果传粉蜂的寄主^[23]。

在地中海、阿拉伯半岛、伊朗、小亚细亚、中亚和外高加索地区发现了野生无花果资源^[4]。地中海和小亚细亚被认为是无花果的次生起源中心,野生无花果被认为来源于种子,在理论上应该是雌雄各半^[24-25]。在许多情况下,雌雄的自然比例是混乱的,与理论值并不一致。Kjellberg等^[24]研究认为地中海地区自然群体的无花果绝大多数属于斯密尔那型。单性结实可能在维持种子传播中起作用,但在强烈的相对选择过程中它具有半致死的特征。

2.2 栽培种 普通无花果是高级的商业栽培种,有雌花,具有单性结实的能力。无花果栽培品种被划分为3个园艺类型^[1,16,26]:①斯密尔那型栽培种,通常没有第一批果,第二批果在授粉后能形成和成熟;②原生类型栽培种,第一批果可以不经过受精而成熟,第二批果要经过授粉后才能发育成熟;③普通型栽培种,第一批果或有或无,第二批果可以不经过受精而发育成熟。

几乎所有的无花果栽培种在不同的区域都有种植,主要是由前人长期对野生资源的驯化和志愿者对开放授粉的栽培种苗木进行传播的结果。不同地区的无花果品种通过无性繁殖的方式进行保存,随着时间推移获得品种名称^[1,4]。

目前,每一个无花果类型都有很多的栽培品种。不是所有的无花果类型都同等地在果园中出现。实际上,在栽培种中,75%属于普通型,18%属于斯密尔那型,7%属于原生型^[4]。在许多无花果种植国家用到的主要栽培类型都可以追溯到地中海区域^[1]。

在无花果某些栽培品种中,授粉是隐头花序发育的必要条件。一些品种的隐头花序的雌性阶段能持续14 d以上,在此期间产生能长距离运输的具有吸引力的挥发性物质,几天内可以被榕小蜂所识别^[27-28];在这一阶段的任何时间进行授粉都是可以座果和促进种子发育的。每一个雌花的隐头花序都能被多只榕小蜂光顾,它们中的一个就完成了所有的授粉任务。在授粉后,隐头花序接受花粉的能力会迅速停止^[27-28]。Kjellberg等^[28]研究表明必须由榕小蜂授粉的无花果品种在法国南部的自然条件下,其雌花在离体条件下至少能存活2 d。

有关无花果的遗传研究内容较少^[1,29]。基于形态学测定工作^[30]、分子标记^[31-33]和多元分析揭示了在栽培的无花果资源中具有较高的遗传变异性。然而,这种变异特性在无花果栽培品种中并没有清晰地呈现出来,可能是因为来自起源地栽培种的天然群体中的重要基因发生了流动^[31-32]。

Valizadeh^[34]在无花果的4个天然群体中发现了一个杂合子的重大缺陷,他推测亚群体之间是相互独立的,授粉可能较少。此外,Kjellberg等^[28]认为在每一个季节每一个野生无花果树可能与很少的个体进行基因交换,无花果的育种群体可能非常小,具有一定的局限。Valizadeh等^[29]研究了法国南部野生无花果群体的酶多态性,证明了一些等位基因并没有随机分布,它们的频率与气候呈现有规律的变化,表明这些等位基因具有适应作用。更进一步的信息需要加深理解野生和半野生无花果群体的结构来说明,这有待于进一步研究。

3 无花果种质资源搜集、描述与鉴定

尽管在大多数国家当地的无花果栽培品种类型很多,但很少以商业的形式进行传播和在新的种植园种植^[15,35]。有研究表明,在传统的种植地区无花果种质资源已经呈现减少的趋势^[36]。目前,在世界的许多地区,无花果已成为一种重要的果树作物。许多国家都已经建有无花果种质资源圃,其中资源保存最多的是意大利,其次是土耳其,分别搜集保存了442和392份无花果种质资源,土库曼斯坦、法国、乌克兰、葡萄牙、美国 and 希腊等国家也都保存了100份以上的资源^[37]。搜集到的无花果材料通常以活体形成自根苗的形式进行保存。

传统上,无花果的类型主要是基于果皮和果肉的颜色进行区分。而实际上,栽培的无花果品种的果实颜色是黄色或几乎白色到深紫色,仅以此为标准对数以百计的资源进行区分存在一定的难度。研究人员自我设计了一些特征用来进行品种区别和资源描述,主要包括果树栽培学、农艺学和工艺特点等;果实特征,如果型、大小、风味、糖含量、酸度等^[26,30];果实的特征和不同用途^[26];生产能力、成熟期和不

同品种成熟时期的长短^[38]; 树形、树势状况及生长习性^[39]; 对生物或非生物胁迫的抗性^[4]。

随着生物技术的快速发展, 分子标记技术日益成熟, 无花果种质资源的亲缘关系及品种分类方式不再局限于传统的形态特征描述, 而是将植物学特性作为不同品种分类的基础, 然后用稳定的特定遗传物质 DNA 再进行分类。生化和分子标记已经在无花果品种的鉴定上进行了成功应用。叶片浸出物同工酶系统的电泳分析和基于指纹图谱的新方法促进了鉴定模式的发展及同一品种情况的检测^[31-33, 40]。利用 SSR、RAPD、RFLP 等分子标记可以对无花果的不同栽培品种、地方品种分类及群体的变异和结构分析进行广泛应用^[41-46]。Achtak 等^[47]利用 SSR 分子标记对 75 个栽培品种无花果进行分析, 最终确定 6 个 SSR 标记可作为无花果栽培品种分类的有效工具。

4 无花果育种

吸引消费者感兴趣的最重要的无花果特征是其果实品质和风味, 种植者和育种家也对果树栽培学的一些性状比较关注, 如果实大小、果重、色泽、果实形状、果目大小及对环境适应能力和较高的商业价值^[48]。目前, 以无花果品种改良为目的, 相关的工作已经在进行, 如品种标准的制定和当地无花果资源优异株系的选择^[49-52]。无花果育种的主要目标包括优质高产、抗病虫害、适应环境能力强、坐果期长、自我结实能力强等^[1, 4]。带有特定目标性状的无花果育种项目目前已经在进行当中, 如稳定的卡利亚那无花果的选育^[53]、能产生花粉的野生无花果亲本的选育^[54]、能缩小无花果第一和第二批果间隔时间的品种选育^[55]。

Storey^[1]对无花果传统的育种技术有详尽的描述。有关无花果花生物学的研究对育种也是有用的^[28, 56-57]。将嫁接芽嫁接到成年树上^[1]或在发育期进行分株和扦插^[54]可以缩短童期, 提早结果。目前, 无花果育种常见的方法包括杂交育种、芽变选种、诱变育种、分子标记辅助选择育种。

4.1 杂交育种 无花果的人工杂交种最早始于 20 世纪, 主要在美国和苏联进行^[1, 4]。美国无花果育种项目的最重大成就是 5 个杂交栽培种: “Conadria” “Diredo” “Flanders” “Tena” 和 “Excel”。其中 “Conadria” 是最被无花果产业接受的品种^[1], 在 20 世纪 70 年代科研人员选择公布了栽培种 “Tena”^[54]。Doyle 等^[58]公布了栽培种 “Sierra”, 一个带着绿色果皮的晚熟普通类型无花果。无花果种间杂交的结果取决于亲本花粉的选择^[1, 54]。

4.2 芽变选种 芽变选种也是获得无花果新品种的重要途径之一^[16]。国外红色果皮的 “卡独太” 新品种就是通过芽变选种从黄色品种 “卡独太” 中获得的, 国内紫色果皮的 “紫宝” 新品种是从我国无花果的主栽品种青皮中获得的芽变品种^[59]。

4.3 诱变育种 利用物理诱变的方法对无花果进行处理, 可以产生新的变异株系。γ 射线对无花果枝条、种子和花粉的效应研究都有报道, 最常见的现象是植株变得矮小, 果实提前结果^[37]。一些突变株在无花果育种项目中进行应用, 加

速了新类型品种的选择, 如通过种子辐射获得了栽培种 “Bol”^[60]。目前无花果的体外培养和再生技术已经成熟, 这对搜寻新的变异株系和提高繁殖系数方面都是非常有用的^[2, 14, 61]。

4.4 分子标记辅助选择育种 分子标记辅助选择育种可以明显缩短果树的育种年限, 对果树育种具有重要作用。目前有关无花果分子标记辅助选择育种的研究较少, Parrish 等^[62]在功能性雌雄异株的无花果上鉴定了一个雄性特异的 AFLP 标记; Mori 等^[63]对无花果栽培种 “蓬莱柿” 进行测序, 构建了高密度遗传图谱, 获得了与无花果性别紧密连锁的 Caps 标记, 可用于杂交后代分离群体性别的鉴定。随着测序技术的快速发展, 将会开发出越来越多的与无花果果实品质性状紧密连锁的分子标记, 可以加速无花果新品种的选育进程。

5 展望

从前人对无花果形态水平和分子水平的研究结果可以看出, 目前无花果资源的多态性主要来源于原生的资源, 栽培品种多数为某一优良品种的无性繁殖系, 具有很高的相似系数, 相对于其他果树来说, 遗传基础狭窄。此外, 在无花果可能的原产地及周边地区, 虽然有较为丰富的种质资源, 但由于大多数无花果类型无法进行种间杂交, 这些都严重阻碍了无花果种质资源的创新及优质新品种的选育。

无花果栽培具有广阔的市场前景, 在不同的国家都能吸引种植者的兴趣。选育品质优良的无花果品种对产业的健康发展是非常必要的, 对现存的栽培品种或地方品种及野生型无花果进行直接应用是非常有效的育种策略。受到无花果树和果实特点的局限, 形成了新的无花果育种方法。在许多地区, 遗传侵蚀的威胁是明显的, 特别是斯密尔那型的栽培种。现在必须考虑无花果种质资源管理的替代方法。参考标准的确立、种质安全传播的指导、品种标准的定义及分子工具的进一步发展对无花果种质资源的保存起重大作用。

无花果作为一种具有巨大发展潜力的果树树种, 无论是鲜食还是加工都具有广阔的应用前景, 世界上很多国家都在大力发展无花果产业。目前我国无花果种质资源的研究和利用起步较晚, 资源利用不足, 成为制约我国无花果产业健康发展的障碍。因此, 在以后的工作中, 一方面要高度重视无花果种质资源的收集、调查、鉴定和保存, 在加强国外优良品种引进的同时, 还要做好现有资源的开发及利用; 另一方面要针对无花果的特征特性, 开发新的育种方法和选择途径, 培育出具有优质抗逆的无花果新品种, 从而促进无花果产业的健康快速发展。

参考文献

- [1] STOREY W B. Figs [M]// JANICK J, MOORE J. Advances in fruit breeding. Indiana: Purdue Univ. Press, 1975: 568-589.
- [2] JONA R, GRIBAUDO I. *Ficus* spp. [M]// Biotechnology in agriculture and forestry. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1991: 76-93.
- [3] BERG C C. Flora Malesiana precursor for the treatment of Moraceae 1: The main subdivision of *Ficus*: The subgenera [J]. Blumea, 2003, 48(1): 166-177.
- [4] IBPGR. *Ficus carica* [M]// Genetic resources of tropical and sub-tropical fruits and nuts. Rome: International Board Plant Genetic Resources, 1986:

- 63-69.
- [5] DUEÑAS M, PÉREZ-ALONSO J J, SANTOS-BUELGA C, et al. Anthocyanin composition in fig (*Ficus carica* L.) [J]. Journal of food composition and analysis, 2008, 21: 107-115.
- [6] MORTON J F. Fig [M]//MORTON J F. Fruits of warm climates. Miami, Florida, USA: Creative Resources Systems, 1987: 47-50.
- [7] HATANO K I, KUBOTA K, TANOKURA M. Investigation of chemical structure of nonprotein proteinase inhibitors from dried figs [J]. Food chemistry, 2008, 107(1): 305-311.
- [8] VEBERIC R, COLARIC M, STAMPAR F. Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region [J]. Food chemistry, 2008, 106(1): 153-157.
- [9] FAOStat. FAO statistics database on the World Wide Web [R]. 2016.
- [10] SLAVIN J L. Figs: Past, present, and future [J]. Nutrition today, 2006, 41(4): 180-184.
- [11] SOLOMON A, GOLUBOWICZ S, YABLOWICZ Z, et al. Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.) [J]. Journal of agricultural & food chemistry, 2006, 54(20): 7717-7723.
- [12] VEBERIC R, COLARIC M, STAMPAR F. Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region [J]. Food chemistry, 2008, 106(1): 153-157.
- [13] AHMED W, MALIK A. Phytochemical studies on the constituents of *Ficus carica* (fig) [J]. Hamdard medicus, 1994, 37(2): 30-52.
- [14] MIGUEL M G, LIMA-COSTA M E. Proteolytic and clotting activities of cell suspension cultures of *Ficus carica* under stress saline conditions [J]. Acta horticulturae, 1998, 480: 155-160.
- [15] MARS M. La culture du grenadier (*Punica granatum* L.) et du figuier (*Ficus carica* L.) en Tunisie [M]//LLÁCER G, AKSOY U, MARS M. Cahiers options méditerranéennes. Zaragoza: CHEAM, 1995: 85-95.
- [16] FLAISHMAN M A, RODOV V, STOVER E. The fig: Botany, horticulture, and breeding [J]. Horticultural reviews, 2008, 34: 113-197.
- [17] CRISOSTO H, FERGUSON L, BREMER V, et al. Fig (*Ficus carica* L.) [M]//Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Amsterdam: Elsevier, 2011: 134-160.
- [18] VILLALOBOS M D C, SERRADILLA M J, MARTÍN A, et al. Use of equilibrium modified atmosphere packaging for preservation of "San Antonio" and "Banane" breba crops (*Ficus carica* L.) [J]. Postharvest biology & technology, 2014, 98: 14-22.
- [19] ASSAF R. Sélection des variétés locales et techniques de culture du figuier en Israël [J]. Fruits, 2001, 56(2): 101-121.
- [20] BOTTI C, FRANCK N, PRAT L, et al. The effect of climatic conditions on fresh fig fruit yield, quality and type of crop [J]. Acta horticulturae, 2003, 605: 37-42.
- [21] ÇALIŞKAN O, POLAT A A. Fruit characteristics of fig cultivars and genotypes grown in Turkey [J]. Scientia horticulturae, 2008, 115(4): 360-367.
- [22] ABO-EL-EZ A T, MOSTAFA R A A, IBTESAM F M B. Growth and productivity of three fig (*Ficus carica* L.) cultivars grown under upper Egypt conditions [J]. Australian journal of basic & applied sciences, 2013, 7(2): 709-714.
- [23] ANJAM K, KHADIVI-KHUB A, SARKHOSH A. The potential of caprifig genotypes for sheltering *Blastophaga psenes* L. for caprification of edible figs [J]. Erwerbs-obstbau, 2017, 59(1): 45-49.
- [24] KJELLBERG F, VALDEYRON G. The pollination of the fig tree (*Ficus carica* L.) and its control in horticulture [J]. Acta oecologica, 1984, 5(4): 407-412.
- [25] DAMANIA A B. Diversity of major cultivated plants domesticated in the Near East [M]//DAMANIA A B, VALKOUN J. The origins of agriculture and crop domestication. Aleppo (Syria) eng: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, 1998: 51-64.
- [26] CONDIT I J. Fig varieties: A monograph [J]. Hilgardia, 1955, 23(11): 323-538.
- [27] KJELLBERG F, ALJIBOURI ET A, VALDEYRON G. Observations récentes sur la pollinisation du figuier [J]. Fruits, 1983, 38: 567-569.
- [28] KJELLBERG F, DOUMESCHE B, BRONSTEIN J. Longevity of a fig wasp (*Blastophaga psenes*) [J]. Proceedings C, 1988, 91(2): 117-122.
- [29] VALIZADEH M, VALDEYRON G. Importance adaptative du polymorphisme enzymatique chez le figuier (*Ficus carica* L.) [J]. Annales de Amélioration des plantes, 1979, 29: 213-225.
- [30] MARS M, CHEBLI T, MARRAKCHI M. Multivariate analysis of fig (*Ficus carica* L.) germplasm in southern Tunisia [J]. Acta horticulturae, 1998, 480: 75-82.
- [31] KHADARI B. RAPD fingerprints for identification and genetic characterization of fig (*Ficus carica* L.) genotypes [RAPD, random amplified polymorphic DNAs] [J]. Spectrochimica acta, 1995, 18(3): 307-313.
- [32] CHESSA I, NIEDDU G, SERRA P. Fig germplasm characterization using isozyme analysis [J]. Acta horticulturae, 1998, 480: 143-148.
- [33] ELISIÁRIO P J, NETO M C, CABRITA L F, et al. Isozyme and RAPDs characterisation of a collection of fig (*Ficus carica* L.) traditional varieties [J]. Acta horticulturae, 1998, 480: 149-154.
- [34] VALIZADEH M. Esterase and acid phosphatase polymorphism in the fig tree (*Ficus carica* L.) [J]. Biochemical genetics, 1977, 15(11/12): 1037-1048.
- [35] LLÁCER G, MARTÍNEZ-VALERO R, MELGAREJO P, et al. Present status and future prospects of underutilized fruit crops in Spain [M]//LLÁCER G, AKSOY U, MARS M. Underutilized fruit crops in the mediterranean region. Zaragoza: CIHEAM, 1995: 69-78.
- [36] MARS M, CARRAUT A, MARRAKCHI M, et al. Ressources génétiques fruitières en Tunisie (poirier, oranger, figuier, grenadier) [J]. Plant genetic resources newsletter, 1994, 100: 14-17.
- [37] MARS M. Fig (*Ficus carica* L.) genetic resources and breeding [J]. Acta horticulturae, 2001, 605: 19-27.
- [38] PETROVA E F, ABRAMOV V K. Classification of fig tree varieties by the duration on interphase periods [M]. Washington, DC: National Agricultural Library, 1982: 43-47.
- [39] LAURI P E, CARAGLIO Y. Architectural analysis of fig trees as a tool to study genetic diversity in cultivars [J]. Acta horticulturae, 1993, 349: 265-267.
- [40] ARULSEKAR S, PARFITT D E. Isozyme analysis procedures for stone fruits, almond, grape, walnut, pistachio, and fig [J]. Horticultural science, 1986, 21(4): 928-933.
- [41] AMEL S H, MOKHTAR T, SALWA Z, et al. Inter-Simple Sequence Repeat fingerprints to assess genetic diversity in Tunisian fig (*Ficus carica* L.) germplasm [J]. Genetic resources and crop evolution 2004, 51: 269-275.
- [42] DALKILIC Z, MESTAV H O, DALKILIC G G, et al. Genetic diversity of male fig (*Ficus carica caprificus* L.) genotypes with random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers [J]. African journal of biotechnology, 2011, 10(4): 519-526.
- [43] KHADARI B, GROUT C, SANTONI S, et al. Contrasted genetic diversity and differentiation among Mediterranean populations of *Ficus carica* L.: A study using mtDNA RFLP [J]. Genetic resources and crop evolution, 2005, 52(1): 97-109.
- [44] KHADARI B, HOCHU I, SANTONI S, et al. Identification and characterization of microsatellite loci in the common fig (*Ficus carica* L.) and representative species of the genus *Ficus* [J]. Molecular ecology resources, 2001, 1(3): 191-193.
- [45] PAPADOPOULOU K, EHALIOTIS C, TOURNA M, et al. Genetic relatedness among dioecious *Ficus carica* L. cultivars by random amplified polymorphic DNA analysis, and evaluation of agronomic and morphological characters [J]. Genetica, 2002, 114: 183-194.
- [46] BAZIAR G, JAFARI M, NOORI M S S, et al. Evaluation of genetic diversity among Persian fig cultivars by morphological traits and RAPD markers [J]. Hortscience, 2018, 53(5): 613-619.
- [47] ACHTAK H, OUKABLI A, ATER M, et al. Microsatellite markers as reliable tools for fig cultivar identification [J]. Journal of the American society for horticultural science, 2009, 134(6): 624-631.
- [48] TRAD M, GAALICHE B, RENARD C M G C, et al. Plant natural resources and fruit characteristics of fig (*Ficus carica* L.) change from coastal to continental areas of Tunisia [J]. J Agric Res Dev, 2013, 3(2): 22-25.
- [49] AKSOY. Present status and future prospects of underutilized fruit production in Turkey [J]. Cahiers options mediterraneennes, 1995, 11: 97-107.
- [50] GRASSI G. Studies of Italian fig germplasm [J]. Acta horticulturae, 1998, 480: 97-102.
- [51] GRASSI G, SANTONASTASO M. The fig growing in Italy: The present state and problems [J]. Acta horticulturae, 1998, 480: 31-36.
- [52] KUTLU E, AKSOY U. Further evaluation of selected Sarilop (Calimyrna) clones [J]. Acta horticulturae, 1998, 480: 265-270.
- [53] DOYLE J, FERGUSON L. Breeding persistent figs with Calimyrna quality [J]. Acta horticulturae, 1998, 480: 259-264.

规模的不断扩大,畜禽粪污排放量不断增加。园林绿化和臭气控制可以体现畜禽场生态、绿色、循环的理念和发展模式,符合新时代下畜禽养殖业向生态和谐与绿色发展转变的需求。养殖场的环境控制不能只依靠单方面,更需要控制污染源头、环境净化、污染处理等全方位相辅相成。各控制手段均有优点和不足,只有综合利用才能达到较好的除臭效果。完善畜禽场园林绿化方法、开发新型高效粪污处理手段,营造环境友好的生态型绿色畜牧场,是未来畜禽场的主要发展方向。

参考文献

- [1] 程波,祁祥春,丁雨成.园林式畜禽养殖场绿化的益处与设计[J].农业开发与装备,2019(11):81,84.
- [2] 单亦侠.畜牧场绿化的作用[J].养殖技术顾问,2012(11):236.
- [3] 马海生.猪场绿化的必要性[N].中国畜牧兽医报,2012-10-14(010).
- [4] 李克斌.药用植物在养殖场绿化及生物安全中的应用[J].中兽医医药杂志,2012,31(6):69-71.
- [5] 王超丽,吴妍妍,徐娜.噪声污染对奶牛的影响与解决方式[J].中国乳业,2019(5):43-45.
- [6] 张照海.关于畜禽养殖场粪污综合处理的几点思考[J].山东畜牧兽医,2018,39(2):58-59.
- [7] 于维丽.山东地区舍饲小尾寒羊种羊场优化设计[D].北京:中国农业大学,2005.
- [8] 何华西,田伟政.场区绿化植树的作用和方法[J].中国畜牧杂志,2002,38(2):40,58.
- [9] 刘金素.译.畜牧场周围应建防护林带[J].国外畜牧科技,1980(6):34.
- [10] 何晓玉.鸡场绿化的作用与实施[J].河北农业科技,2007(7):38.
- [11] 李治芬,张士平.植树造林方法与植树造林必要性[J].现代园艺,2018(14):53.
- [12] 贺小彩.林业造林技术方法初探[J].绿色科技,2017(3):80-81.
- [13] 王铁勇,张海亮.森林病虫害发生特点及防治策略研究[J].农业灾害研究,2020,10(4):17-18.
- [14] TRABUE S L, KERR B J, BEARSON B L, et al. Microbial community and chemical characteristics of swine manure during maturation[J]. Journal of environmental quality, 2016, 45(4): 1144-1152.
- [15] O'NEILL D H, PHILLIPS V R A review of the control of odour nuisance from livestock buildings: Part 3, properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them [J]. Journal of agricultural engineering research, 1992, 53: 23-50.
- [16] MILLER D N, VAREL V H. Swine manure composition affects the biochemical origins, composition, and accumulation of odorous compounds [J]. Journal of animal science, 2003, 81(9): 2131-2138.
- [17] JIANG T, SCHUCHARDT F, LI G X, et al. Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting [J]. Journal of environmental sciences, 2011, 23(10): 1754-1760.
- [18] RAPPERT S, MÜLLER R. Microbial degradation of selected odorous substances [J]. Waste management, 2005, 25(9): 940-954.
- [19] 黄健,王胜,李其松,等.养殖臭气污染及综合治理探讨[J].畜牧业环境,2018(2):34-36.
- [20] LEE S R, LEE J, CHO S H, et al. Quantification of volatile fatty acids from cattle manure via non-catalytic esterification for odour indication [J]. Science of the total environment, 2018, 610/611: 992-996.
- [21] FARNWORTH E R, MODLER H W, MACKIE D A. Adding Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) to weanling pig diets and the effect on manure composition and characteristics [J]. Animal feed science and technology, 1995, 55(1/2): 153-160.
- [22] NIMMERMARK S. Influence of odour concentration and individual odour thresholds on the hedonic tone of odour from animal production [J]. Bio-systems engineering, 2011, 108(3): 211-219.
- [23] 闫志英,许力山,李志东,等.畜禽粪便恶臭控制研究及应用进展[J].应用与环境生物学报,2014,20(2):322-327.
- [24] 简保权,周磊,杨红文,等.规模畜禽场臭气防治研究进展[J].安徽农业科学,2014,42(17):5511-5513,5619.
- [25] HAM J A, JEONG M Y, PARK H J, et al. On the improvement of odor control with the adsorption and absorption methods [C] // Proceedings of 2015 International Conference on Advances in Environment Research. Jeju, Korea: IPCBEE, 2015.
- [26] 尚小清,陈晓东.污水处理厂除臭技术浅析[J].应用化工,2010,39(2):273-275.
- [27] QUINA M J, BORDADO J O C, QUINTA-FERREIRA R M. Treatment and use of air pollution control residues from MSW incineration: An overview [J]. Waste management, 2008, 28(11): 2097-2121.
- [28] 赵同瑞.二氧化钛光催化技术控制猪舍氨气污染的研究[D].洛阳:河南科技大学,2014.
- [29] LU C, CHU W C, LIN M R. Removal of BTEX vapor from waste gases by a trickle bed biofilter [J]. Journal of the air & waste management association, 2000, 50(3): 411-417.
- [30] 谢国建,吴昊,朱英俊,等.生物过滤法处理恶臭和挥发性有机物的影响因素[J].山东化工,2015,44(17):169-171.
- [31] 涂德浴,董红敏,张肇鲲.生物过滤器在臭气处理中的应用研究[J].安徽农业大学学报,2005,32(3):397-401.
- [32] 余鹏举,曹先贺,王宏志,等.微生物在恶臭污染治理中的研究及应用[J].微生物学通报,2021,48(1):165-179.
- [33] 李训良.沸石作为动物饲料添加剂的应用[J].养殖与饲料,2017(5):46-47.
- [34] 熊祥,谭宇明,陈龙,等.浅谈除臭技术在猪场的应用研究[J].现代农业装备,2018(6):33-37.
- [35] 张建军.饲料中添加茶渣和活性炭作为吸附剂对肉鸡舍环境的影响研究[J].今日畜牧兽医,2017(12):53-54.
- [36] ZANG B, LI S Y, MICHEL F C, et al. Control of dimethyl sulfide and dimethyl disulfide odors during pig manure composting using nitrogen amendment [J]. Bioresource technology, 2017, 224: 419-427.
- [37] GUTAROWSKA B, MATUSIAK K, BOROWSKI S, et al. Removal of odorous compounds from poultry manure by microorganisms on perlite-bentonite carrier [J]. Journal of environmental management, 2014, 141: 70-76.
- [38] MAURER D L, KOZIEL J A, BRUNING K, et al. Farm-scale testing of soybean peroxidase and calcium peroxide for surficial swine manure treatment and mitigation of odorous VOCs, ammonia and hydrogen sulfide emissions [J]. Atmospheric environment, 2017, 166: 467-478.
- [39] UPADHAYA S D, KIM S C, VALIENTES R A, et al. The effect of bacillus-based feed additive on growth performance, nutrient digestibility, fecal gas emission, and pen cleanup characteristics of growing-finishing pigs [J]. Asian-Australasian journal of animal sciences, 2015, 28(7): 999-1005.
- [40] 魏玉明,吕伟,钱振波,等.复合微生物制剂对控制规模养猪场猪舍有害气体及灭蝇效果试验[J].畜牧兽医杂志,2016,35(3):22-26.
- [41] 苏建勋,马金生,毛航平.现代畜牧场选址必须的自然条件[J].畜牧兽医科技信息,2013(9):25.
- [42] 黄亚军,吕鲲鹏.浅谈养殖场臭气控制技术[J].今日畜牧兽医,2018,34(7):71.

(上接第4页)

- [54] FERGUSON L. Fig breeding. Advanced course on Fig production [R]. Turkey: EUFA, 1997.
- [55] KHADARI S, LAURI P E, KJELLBERG F, et al. Genetic resources in fig: Developing a precocity index based on relative numbers of undelayed versus delayed figs [J]. Acta horticulturae, 1998, 480: 103-108.
- [56] VALIZADEH M, VALDEYRON G, IBRAHIM F K E M. Flux génique chez le figuier. *Ficus carica*: Dispersion par le pollen dans un peuplement dense [J]. Oecol Plant, 1987, 8(22): 143-154.
- [57] ILGIN M, KÜDEN A B. Pollination and development of the flowers of the male and female fig types selected in Kahramanmaraş Province of Turkey [J]. Acta horticulturae, 1998, 480: 121-124.
- [58] DOYLE J F, FERGUSON L. Sierra: A new non-caprifigging calimyrna [M] // Proceedings of the Third International Symposium on Fig. Vilamoura, Portugal, 2005: 60.
- [59] 徐翔宇,曾令宜,张文,等.无花果新品种“紫宝”[J].园艺学报,2016,43(8):1623-1624.
- [60] AKUHUND-ZADE I M. Radiation mutagenesis in subtropical crops [J]. Teor Prikl Aspekty Radiata Biology, 1981, 10/11/12: 50-51.
- [61] NOBRE J A, ROMANO A. In vitro cloning of *Ficus carica* L. adult trees [J]. Acta horticulturae, 1998, 480: 161-164.
- [62] PARRISH T L, KOELEWIJN H P, VAN DIJK P J. Identification of a male-specific AFLP marker in a functionally dioecious fig, *Ficus fulva* Reinw. ex Bl. (*Moraceae*) [J]. Sex Plant Reprod, 2004, 17(1): 17-22.
- [63] MORI K, SHIRASAWA K, NOGATA H, et al. Identification of RAN1 orthologue associated with sex determination through whole genome sequencing analysis in fig (*Ficus carica* L.) [J]. Scientific reports, 2017, 7(1): 1-15.