

张 更, 颜志明, 王全智, 等. 我国设施草莓无土栽培技术的研究进展与发展建议[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(18): 58–61.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.18.011

# 我国设施草莓无土栽培技术的研究进展与发展建议

张 更<sup>1,2</sup>, 颜志明<sup>1,2</sup>, 王全智<sup>1</sup>, 孙朋朋<sup>1</sup>, 王媛花<sup>1,2</sup>, 冯英娜<sup>1,2</sup>, 王 祺<sup>1</sup>

(1. 江苏农林职业技术学院, 江苏镇江 212400; 2. 江苏现代园艺工程技术中心, 江苏镇江 212400)

**摘要:**草莓果实营养丰富, 种植经济效益高, 深受生产者和消费者的青睐。无土栽培草莓能克服土传病虫害、解决连作障碍问题, 提高肥料的利用率和草莓的商品率, 近年来在设施草莓生产中被广泛应用。本文从草莓品种、栽培基质、营养液配方、CO<sub>2</sub> 施肥和人工补光 5 个方面, 综述了我国设施草莓无土栽培技术的研究进展, 并在此基础上提出了我国设施草莓无土栽培研究进一步的发展建议。

**关键词:**设施草莓; 无土栽培技术; 基质; 营养液; CO<sub>2</sub> 施肥; 人工补光; 研究进展; 发展建议

**中图分类号:** S668.404 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)18-0058-04

草莓(*Fragaria ananassa* Duch) 又名洋莓、地果、红莓等, 为蔷薇科草莓属多年生草本植物, 在园艺学上归属浆果类果树。草莓果实鲜美红嫩、果肉多汁、酸甜适口、营养丰富、香味浓郁, 是水果家族中色、香、味俱佳的珍品, 有“水果之王”的美誉<sup>[1]</sup>。草莓生长周期短、栽培后结果早、兼具食用和观赏价值, 经济效益高, 近年来在我国设施栽培和观光采摘领域发展迅速, 是各地发展农村经济、促进农民增收致富的重要经济作物<sup>[2]</sup>。目前, 我国草莓种植面积已达 10.994 万 hm<sup>2</sup>, 年产草莓 299.8 万 t, 是世界上草莓生产和消费的第一大国<sup>[3]</sup>。

我国草莓的生产有常规露地栽培、保护地栽培和无土栽培等种植方式。传统的土壤栽培存在劳动强度大、结果期短、果实表面易受污染等弊端, 同时在土壤中病原菌大量积累, 会导致土传病害和一系列连作障碍问题, 严重影响草莓的产量和品质, 给草莓生产造成巨大损失。无土栽培以人工制造的作物根系环境替代土壤环境, 采用营养液培育植物, 结合环境控制手段, 使作物在适宜的温、光、水、气、肥等条件下生长, 充分发挥作物的生长潜力, 提高经济效益<sup>[4]</sup>。草莓实施设施无土栽培, 可以克服土传病虫害, 大幅降低化学农药使用量, 不仅可以有效解决连作障碍问题, 而且可以降低果品农药残留及农药对环境生态的不良影响<sup>[5]</sup>。此外, 无土栽培营养液技术提高了水分和肥料的利用率、促进草莓成熟, 大大提升了草莓的产量和品质。因此, 设施草莓无土栽培技术近年来在我国迅速发展。为了促进我国设施草莓无土栽培技术的研究和市场化发展应用, 本文从草莓品种选择、栽培基质和营养液选用、CO<sub>2</sub> 施肥、人工补光 5 个方面进行了综述, 旨在为设施草

莓无土栽培的生产者和研究者提供参考和借鉴。

## 1 选择适宜设施无土栽培的草莓品种

我国草莓种植历史较短, 目前设施草莓无土栽培的主栽品种以日本和欧美品种居多。例如, 日本的章姬、红颜、栃乙女、幸香和鬼怒甘, 荷兰的美香莎, 美国的卡麦罗莎和甜查理, 法国的达赛莱克特等<sup>[6]</sup>。日本品种适合鲜食, 果实色泽艳丽、肉质较软、甜度大、风味甜香、口感好, 成熟期早但丰产性一般, 不耐高温且易感病, 耐贮运性一般。欧美品种适合加工和速冻, 果实着色均匀、颜色鲜艳、果个大、果型好、丰产性能和抗病性强、果实硬度较高、耐贮运, 但口感偏酸, 风味不及日本品种<sup>[6]</sup>。由于我国幅员辽阔, 南北气候条件差异较大, 因此适合各个地区栽培的草莓品种也大不相同。根据不同地区的气候特点, 研究适合该地区无土栽培的草莓品种, 是增加草莓产量、提高草莓品质、促进农民增收的有效方法。赵恒田等利用日光节能温室对适合黑龙江地区冬季无土栽培的草莓品种进行筛选, 研究表明全明星、哈尼和鬼怒甘的产量最高, 适合黑龙江地区冬季温室内栽培<sup>[7]</sup>。王娟的研究表明童子 1 号、红颜、章姬和玫瑰适合在黑龙江地区进行设施基质栽培, 其中童子 1 号表现最佳, 为中早熟品种, 产量高且抗白粉病、耐灰霉病, 红颜表现次之<sup>[8]</sup>。王强等在辽宁地区对 11 个草莓品种进行了塑料大棚内的半促成栽培, 结果表明除红大外, 红实美、美香莎、甜查理、红颜、栃乙女、章姬、鬼怒甘、贵美人、幸香及佐贺清香均适合在辽宁地区进行半促成栽培<sup>[9]</sup>。邓飞鹏等对 3 种草莓品种进行了比较, 发现红颜的长势旺、产量高、果实品质好, 综合性状表现优于丰香, 适合在桂林地区进行大棚设施内栽种, 而章姬的种植条件及技术要求较高, 不适合在桂林地区进行推广种植<sup>[10]</sup>。顾洪斌等对江苏省南通市的草莓保护地栽培品种进行了比较, 发现幸香的综合性状良好, 其果实采收期比当地主栽品种丰香的采收期延后半个月, 适合在南通市进行保护地栽培<sup>[11]</sup>。由于无土栽培的成本投入比传统土壤栽培高, 通过选择合适的品种进行设施草莓无土栽培是提高产量和品质、增加收益的重要方法, 南方气候高温多湿, 应选择早熟、优质、丰产、耐热、耐贮运品种, 北方气候寒冷, 则应选择休眠浅、优质、丰产、耐寒、耐贮运品种<sup>[12]</sup>。此

收稿日期: 2018-05-20

基金项目: 江苏省农业“三新工程”项目[编号: SXGC(2017)179]; 江苏省六大人才高峰项目(编号: 2017-NY-019); 江苏省“青蓝工程”(编号: 苏教师[2014]23 号); 江苏省自然科学基金面上项目(编号: BK20160567)。

作者简介: 张 更(1989—), 女, 黑龙江大庆人, 博士, 讲师, 主要从事设施园艺技术及蔬菜栽培生理研究。E-mail: gengzhang89@sina.com。

通信作者: 颜志明, 博士, 副教授, 主要从事设施园艺技术及蔬菜栽培生理研究。E-mail: yanzming@sohu.com。

外,定植苗木一定要选择根系发达、秧苗粗壮、花芽分化早且数量多的无病毒 1 年生壮苗。

## 2 草莓适宜栽培基质研究

在无土栽培中,基质是重要的介质,根据基质的不同可将无土栽培分为固体基质栽培和非固体基质栽培。目前,设施草莓无土栽培主要采用固体基质栽培方式,非固体基质栽培为辅助方式,且多用于科学研究,尚未大面积推广。因此,本文主要就草莓固体基质栽培研究进行论述。

固体基质根据形态、成分和形状分为无机基质、有机基质、混合基质和化学合成基质<sup>[13]</sup>。无机基质主要指一些天然矿物或其经过高温等处理后的产物,化学性质较稳定,蓄肥能力较差,常用的无机基质有岩棉、沙、砾石、陶粒、蛭石、珍珠岩等。有机基质主要是一些含碳、氢的有机生物残体及其衍生物构成的栽培基质,化学性质常常不太稳定,蓄肥能力相对较强,常用的有机基质有草炭、椰糠、树皮、木屑、菌渣等。混合基质又称复合基质,指由 2 种以上的基质按照一定比例混合制成的栽培基质,其将不同结构、性质的基质合理组配,克服了单一基质容量过轻或者过重,孔隙度太大或太小等缺点,为作物根系提供适宜的水、气、肥环境,在设施无土栽培生产上的应用越来越广泛。化学合成基质又称人工土,是近 10 年研制出的新型固体基质,它是由有机化学物质人工合成的。目前用于生产的主要是脲醛泡沫塑料,可以根据需要生产不同颜色基质,观赏效果佳,且不存在土传病虫害,但其生产成本较高,目前还未进行设施园艺生产的大规模使用,主要用于家庭绿化、作物育苗和教学教具等方面<sup>[13]</sup>。

前人就草莓无土栽培基质配方的筛选和优化做过许多研究。有研究表明,在蛭石:草炭:沙:珍珠岩(质量比,下同)1:1:1:1 的情况下,草莓的产量和果实品质与土壤栽培无异,可以代替传统土壤栽培<sup>[14]</sup>。当泥炭土:珍珠岩:河沙=3:1:1 时,草莓植株的地上部鲜质量、地下部鲜质量及产量最高<sup>[15]</sup>。对比日本草莓专用基质和自制基质(蛭石、草炭质量比为 2:1)对草莓生长、产量和果实品质的影响,发现专用基质理化性质较佳,果实口感和营养品质略优于自制基质,但自制基质可以促进植株生长,提高产量,且大大降低了投入成本<sup>[16]</sup>。当玉米基质秸秆:草炭:蛭石=1:1:2 时,基质较适宜草莓生长且果实的固酸比和维生素 C 含量较高<sup>[17]</sup>。当草炭:棉花秸秆:蛭石=1:1:1 时,基质理化性质理想,草莓果实硬度、果形指数、糖酸比、单果质量和株产量均高于对照草炭:蛭石=2:1 的,是一种可以推广应用的优质基质<sup>[18]</sup>。由于草炭是不可再生资源,且非产地价格相对昂贵,寻求和开发可替代草炭的新型基质是近些年来无土栽培研究的重点,研究人员也陆续开发了一些有机基质。赵智明研究发现,牛粪:菇渣:稻壳=5:3:2 时,草莓的形态指标、生理指标和光合指标优于园土<sup>[19]</sup>。张新伟等将草炭、椰糠、营养土与珍珠岩按照不同比例混配,用于草莓育苗,结果发现草炭和椰糠的育苗效果无显著差异,椰糠(草炭):珍珠岩=7:3 时育苗效果最佳<sup>[20]</sup>。椰糠由于具有成本低、来源广、理化性状良好、质量轻、体积小、天然环保等优点,近年来逐渐成为重要的无土栽培基质,但在我国还主要局限于在展示型园区中使用,大规模应用于草莓生产的报道鲜

有报道。

## 3 草莓适用营养液研究

营养液是将含有植物生长发育所必需的各种营养元素的化合物按照科学的数量和比例溶解于水中配制而成的溶液,在无土栽培中为作物生长发育提供所需的养分和水分<sup>[13]</sup>。营养液的配制是草莓无土栽培技术中的关键环节,关系到草莓无土栽培生产是否成功,科学的营养液配方、浓度和合理的营养液管理可以促进草莓的生长发育,提高产量和品质<sup>[1]</sup>。吴慧等比较了日本山崎草莓专用配方、日本园试通用配方和华南农业大学果菜配方,发现日本山崎草莓专用配方生产的草莓在植株长势、产量和果实品质等方面明显优于另外 2 种营养液配方<sup>[21]</sup>。唐忠建等采用磷酸二氢钾:农用硝酸铵钙:腐殖酸钾=0.94:2.46:1 的营养液结合基质(棉花秸秆:草炭=1:1)得出适合新疆地区草莓无土栽培的营养液和无土基质配方<sup>[22]</sup>。

氮是植物生长发育必需的大量元素之一,是提高产量和改善品质的重要元素,在肥料成本中氮肥也占有最大的比例<sup>[5]</sup>。因此,提高氮肥在草莓种植中的利用效率,减少氮肥用量,提高经济效益,是草莓无土栽培的重点关注问题。铵态氮( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )和硝态氮( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )是植物生长发育的良好氮源,硝态氮在任何条件下均可使用,而铵态氮在植物需氮量较大和缺氮时期使用较好<sup>[13]</sup>。研究表明草莓品种晶瑶在营养液中  $\text{NH}_4^+ - \text{N} : \text{NO}_3^- - \text{N} = 5.5 : 1$  时,产量以及每株花和果实的数量均最高<sup>[23]</sup>,但草莓品种 Bokyo Josang<sup>[24]</sup>产量在营养液中  $\text{NH}_4^+ - \text{N} : \text{NO}_3^- - \text{N} = 25 : 75$  时最高,每株花和果实的数量则在营养液中  $\text{NH}_4^+ - \text{N} : \text{NO}_3^- - \text{N} = 75 : 25$  时最多。因此根据种植方式和选用品种的不同需要适当调整铵态氮和硝态氮的施用比例,以达到最大化产量和最优化品质的目的。

此外,营养液管理中电导率(EC)值和 pH 值的控制也十分重要。营养液中总盐浓度越高,溶液 EC 值越大。草莓对盐胁迫十分敏感,开花前营养液的 EC 值应控制在 1.0 ~ 1.7 mS/cm<sup>[1]</sup>,开花期结果可以适当提高营养液 EC 值至 2.5 ~ 3.5 mS/cm,结果后期则逐渐降低营养液 EC 值至 2.0 mS/cm 左右<sup>[25]</sup>。营养液 pH 值每 7 d 会升高约 1.0, pH 值过高或者过低都会伤害植株根系,影响植株生长<sup>[1]</sup>。在植株生长过程中,根系会分泌一些有害化学物质,也会影响根系的正常生长。因此,须将种植草莓的营养液 pH 值控制在 5.5 ~ 6.5,且保证每 7 d 更新 1 次营养液。

## 4 CO<sub>2</sub> 施肥研究

光合作用是绿色植物重要的生理功能之一,该过程中植物利用光能将 CO<sub>2</sub> 和水同化为有机物并释放出氧气,为植物的生长发育提供最基本的物质和能量。光合作用所需的碳源主要来源于空气中的 CO<sub>2</sub>,其浓度直接影响植物光合作用的能力。自然界中空气 CO<sub>2</sub> 浓度日变化一般表现为日出前高、日中低,日较差约 100 μmol/mol,年变化规律一般为夏季低、冬季高,年较差约 50 μmol/mol<sup>[26]</sup>。设施内由于环境相对密闭、不易得到外界补充,冬季防寒保温、通风量少等原因,CO<sub>2</sub> 浓度日变化幅度高于露地。一般日出前设施内有较高的 CO<sub>2</sub> 浓度,可达 1 000 μmol/mol 以上,而日出后由于植物光合作用

消耗大量  $\text{CO}_2$ , 浓度快速下降, 低至  $200 \mu\text{mol}/\text{mol}$  以下。据统计, 当  $\text{CO}_2$  浓度低于  $80 \mu\text{mol}/\text{mol}$  时, 植物的光合速率达不到  $\text{CO}_2$  浓度  $300 \mu\text{mol}/\text{mol}$  时的 40%<sup>[26]</sup>。因此,  $\text{CO}_2$  亏缺会严重影响植物光合作用, 进而造成减产和品质下降。

许多研究人员和生产者已经注意到了这一问题, 并有效地利用设施密闭  $\text{CO}_2$  不易逸散这一特点, 进行了设施内  $\text{CO}_2$  施肥的许多研究。研究表明, 设施草莓无土栽培中施用  $\text{CO}_2$  可以提高植株叶片叶绿素含量和光合作用速率, 促进植株的生长发育和果实的成熟<sup>[27-28]</sup>, 进而增加草莓的单果质量和总产量<sup>[27,29]</sup>。同时, 果实中的可溶性固形物和有机酸含量也会显著增加, 果实的品质得到了提升<sup>[27,30]</sup>。此外, 施用  $\text{CO}_2$  还可以提高细胞汁液浓度和细胞膜稳定性, 增加植株抗性<sup>[27]</sup>。上述研究中通常是使用燃烧法、化学反应法及液态  $\text{CO}_2$  钢瓶法来增施  $\text{CO}_2$ , 燃烧法和化学反应法成本较低, 但易产生有害气体, 不易控制, 液态  $\text{CO}_2$  钢瓶法气源稳定, 但初期投入巨大且高浓度施放易产生泄露损失。为此, 贺冬仙等提出了一种设施内外零浓度差的  $\text{CO}_2$  增施方法, 即当设施内  $\text{CO}_2$  浓度低于设施外时, 通过调控装置在设施内自动施放  $\text{CO}_2$  到等于或略高于设施外  $\text{CO}_2$  浓度<sup>[31]</sup>。与不施用  $\text{CO}_2$  对照相比, 该方法显著提高了草莓叶片的光合速率和糖酸比, 增加了设施产量和果实品质; 与定时施放和高浓度施放  $\text{CO}_2$  调控相比, 使用该方法的设施产量和果实品质无异, 却显著提高了  $\text{CO}_2$  利用率, 并避免了高施  $\text{CO}_2$  气体外泄对环境的污染。该方法安全可靠、节能环保, 是设施草莓的有效促产技术。

## 5 人工补光研究

光是影响植物生长发育、形态建成以及物质积累的重要因子。设施栽培由于覆盖棚膜造成设施内光照度和光质变化, 光照度低和光质差是设施内光环境的典型特点。此外, 我国春季、冬季及晚秋光照时间短, 南方梅雨季节持续阴天, 北方冬季部分地区雾霾严重。这些因素直接造成设施内光照不足, 导致植物生长不健全、落花落果严重、产量下降、品质劣变。采用人工补光技术, 可以解决设施栽培作物生产中存在的光照不足问题, 促进作物的生长、改善品质, 是调控设施内光环境的一项重要技术。

国外已有研究证明, 白天对草莓进行 12 h 人工补光可以增加叶片的干物质量、叶面积, 提高叶片光合作用速率, 进而增加结果数、单果质量及总产量, 果实的可溶性糖含量也得到了提升<sup>[32-33]</sup>。LED 发光二极管、钠灯及荧光灯 3 种类型光源均可明显增加植株的高度, 促进植株生长, 显著增加草莓的产量, 但 LED 处理时增产效果最佳<sup>[34]</sup>。近些年来, 随着我国现代农业的迅速发展、人工补光技术的日趋成熟, 国内在设施草莓无土栽培上进行人工补光的研究也越来越多。胡波等研究发现, 使用 LED 灯对温室栽培草莓补光, 可以抑制草莓苗徒长, 提高叶片叶绿素含量, 增加植株叶面积, 提高产量和果实的可溶性固形物含量<sup>[35]</sup>。吴鹏飞等也得到类似的结果<sup>[36]</sup>, 且发现补光光源选用 LED(红: 蓝: 白 = 1: 1: 1) 的效果显著高于自然光。不同光照度补光对草莓生长发育和品质影响存在差异, 光照度为  $150, 100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  的植株叶片光合速率、果实可溶性固形物含量和维生素 C 含量显著高于光照度  $50 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  的<sup>[37]</sup>。夜间人工补光延长光照且对草

莓生长的影响十分显著, 进行 2 周且每天 3 h 以上时间的夜间延长光照可以增加植株株高、茎粗和花茎粗, 促进植株生长和后期草莓的开花结果<sup>[38]</sup>。

## 6 我国设施草莓无土栽培技术的发展建议

草莓是我国设施园艺中的主要种类, 设施草莓生产具有周期短、见效快、效益高、果品无公害等特点。近些年来, 我国设施草莓栽培发展迅猛, 但无土栽培技术还应不断完善, 要想真正发挥设施草莓无土栽培的优势, 建议做好以下工作: (1) 加快引进和选育适合我国设施无土栽培的草莓品种。草莓品种退化快, 一般需要 3~5 年更新换代 1 次<sup>[39]</sup>。目前, 我国主栽品种多为日本和欧美的早年引进品种, 我国自主培育的品种还相对较少。国外品种在我国栽种时间较长, 种性退化严重, 生长势、产量和品质都明显衰退, 容易感病。草莓品种区域性较强, 由于气候、土壤和栽培条件不同, 国外引进的品种也会出现“水土不服”的现象。日本选育的草莓品种虽然颜色艳丽、果实风味佳、肉质柔软多汁, 但其不耐贮藏、抗病抗逆性较差; 欧美选育的品种果个大、果型好、耐贮藏, 但风味偏酸, 不符合我国国民的消费习惯。因此, 加快引进国外优良品种, 同时加大国产适宜本土栽培、综合性状突出、符合国民消费习惯的草莓新优品种的选育和推广是目前亟待解决的重要问题。(2) 立足我国国情, 筛选和开发价格低廉、经济实用、质量优良的无土栽培基质。目前, 岩棉和草炭是世界上公认的较理想的无土栽培基质, 但岩棉不可降解, 大量使用会给环境造成二次污染, 草炭为不可再生资源, 过量开采有耗竭的危险, 且价格越来越高、质量越来越差<sup>[40]</sup>。我国是椰子主产区之一, 在椰子加工生产过程中会产生大量椰糠, 大部分椰糠的处理方式为焚烧和堆积自然降解, 给环境带来污染并造成资源的浪费<sup>[41]</sup>。椰糠保水性能佳、透气性好、养分丰富、成本低廉、取材容易、天然环保, 是非常好的栽培基质, 但在草莓无土栽培上椰糠还未被大面积应用, 以椰糠为基础的各种新型基质(配方)的研究和开发还有待深入。此外, 醋糟和食用菌废渣等农业生产废弃物也可以在经过生物处理后作为草炭、珍珠岩等的替代基质。因此, 对椰糠、醋糟、食用菌废渣等材料进行变废为宝的资源化利用不仅可以降低成本, 提高经济效益, 而且可以减少环境污染, 具有较高的生态效益。(3) 优化和完善无土栽培营养液配方的研发和管理配套措施。无土栽培过程中草莓生长发育所需的营养物质主要由营养液提供, 营养液的配方和管理不仅决定着草莓的产量和品质, 而且关系到生产成本和经济效益。不同草莓品种以及同一品种的不同生长时期所需的营养元素各有不同, 为不同品种量身定做不同生长时期的营养液配方和营养液施用方法, 可以促进我国设施草莓无土栽培的标准化、规模化和工业化生产进程, 实现集约化周年供应的目的。此外, 利用营养液中元素含量可控的特点, 可以生产功能性水果, 如通过降低营养液中钾的含量生产含钾量较低的草莓, 为慢性肾病患者提供可生食的新鲜低钾草莓, 丰富患者饮食选择, 提高患者生活质量。(4) 提高产量和品质是设施草莓无土栽培的核心目标。 $\text{CO}_2$  施肥和人工补光技术可以提高植株的生长势、增加叶片光合作用、提高产量、增加果实可溶性固形物和维生素 C 等营养物质的含量、提升果实品质。但  $\text{CO}_2$  施肥和人工补光技术都需要额外

的成本投入,如何把握投入与产出的平衡(如控制  $\text{CO}_2$  施肥的时期和方法,人工补光的位置、时间和光照度等),最大化生产和经济效益是未来我国设施草莓无土栽培中  $\text{CO}_2$  施肥和人工补光技术研究发展的重点。

#### 参考文献:

- [1] 汪小利,王震星,张卫华. 草莓无土栽培及营养液配方研究进展[J]. 天津农业科学,2017,23(6):83-86.
- [2] 雷家军. 我国草莓生产现状及展望[J]. 中国果树,2001(1):52-54.
- [3] 智雪萍,董 飞. 新疆设施草莓高架基质栽培技术[J]. 北方果树,2015(5):19-21.
- [4] 张 英,徐建华,李万良. 无土栽培的现状与发展趋势[J]. 农业展望,2008,4(5):40-42.
- [5] 韩爱华,尹克林. 草莓无土栽培技术研究综述[J]. 中国南方果树,2003,32(3):54-56.
- [6] 侯丽媛,张春芬,聂园军,等. 草莓品种及其选育方法研究进展[J]. 山西农业科学,2017,45(12):2038-2043.
- [7] 赵恒田,王新华. 寒区草莓无土栽培品种与基质筛选试验[J]. 农业系统科学与综合研究,2001,17(4):319-320.
- [8] 王 娟. 草莓无土栽培适宜品种与栽培基质筛选评价[D]. 北京:中国农业科学院,2014.
- [9] 王 强,丛佩华,杨振英,等. 草莓半促成栽培品种筛选比较研究[J]. 北方园艺,2009(1):152-153.
- [10] 邓飞鹏,李业勇,陈安琪,等. 3 个草莓品种大棚无土栽培比较试验[J]. 南方园艺,2013,24(6):27-28.
- [11] 顾洪斌,李长文,李 均,等. 草莓保护地无病毒栽培和品种比较试验[J]. 中国果树,2005(5):26-28.
- [12] 李国平. 苏南地区设施草莓优良品种引选与优质、高效栽培技术研究[D]. 南京:南京农业大学,2006.
- [13] 颜志明. 无土栽培技术[M]. 北京:中国农业出版社,2017:48-92.
- [14] 董 静,张运涛,王桂霞,等. 日光温室基质栽培对红颜草莓品种生长发育的影响[J]. 西北农业学报,2008,17(3):232-235.
- [15] 黄益鸿,王建湘,雷东阳. 不同配方基质对草莓生长和产量的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(4):148-150.
- [16] 朱子龙,王秀峰,王英华,等. 草莓无土栽培方式及基质配方研究[J]. 山东农业科学,2008(8):58-60.
- [17] 张 晶,叶丙鑫,李春花,等. 日光温室草莓无土栽培基质配方筛选试验[J]. 中国果树,2017(3):53-55,70.
- [18] 章智钧. 草莓无土栽培基质筛选研究[C]// 中国园艺学会、中国园艺学会果树专业委员会第五届全国现代果业标准化示范区创建暨果树优质高效生产技术交流会议论文汇编,2016:178-185.
- [19] 赵智明. 草莓苗有机生态型无土栽培基质筛选[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [20] 张新伟,包晓东,席嘉平,等. 不同基质对草莓高架育苗的影响[J]. 现代农业科技,2018(3):77-78,81.
- [21] 吴 慧,邱火箭,高 杰,等. 不同营养液配方对盆栽草莓生长及产量的影响[J]. 新疆农业科学,2015,52(5):868-874.
- [22] 唐建忠,赵宝龙,孙军莉,等. 草莓无土栽培基质与营养液配方筛选试验研究[J]. 陕西农业科学,2016,62(4):54-56,128.
- [23] 曾祥国,冯小明,向发云,等. 基质栽培中营养液配方对草莓生长、光合特性及品质的影响[J]. 华中农业大学学报,2012,31(5):569-573.
- [24] Jung T S, Lee K H. The effect of  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  N ratio on the growth, nitrogen concentration and Ca, Mg and K composition of strawberries grown in nutrient solution[C]// Abstracts of Communicated Papers Horticulture Abstracts, Korean Society for Horticultural Science, 1989,7:62-63.
- [25] 胡 奇,魏猷刚,甘小虎,等. 棚室草莓架式基质无土栽培技术[J]. 江苏农业科学,2016,44(6):239-241.
- [26] 张洪友. 设施栽培  $\text{CO}_2$  施肥技术初探[C]// 中国农业工程学会全国农作物秸秆综合利用学术研讨会论文集,2004:151-156.
- [27] 杨新琴,任永源,戎国增,等. 大棚草莓增施二氧化碳的增产效应[J]. 浙江农业学报,2002,14(1):54-56.
- [28] 杜尧舜. 增施  $\text{CO}_2$  和生长调节剂对草莓光合作用的影响[J]. 浙江农业学报,2000,12(3):28-30.
- [29] 鲍 瑞,张 宁. 增施  $\text{CO}_2$  对温室草莓生长及光合特性的影响[J]. 农技服务,2013,30(10):1095-1096.
- [30] 汪海霞,袁云刚,徐 敏,等. 设施草莓增施  $\text{CO}_2$  气肥试验[J]. 果农之友,2017,1(11):1-2.
- [31] 贺冬仙,古在丰树,窦海杰,等. 基于设施内外零浓度差的  $\text{CO}_2$  增施对日光温室草莓生产的影响[J]. 农业工程技术,2016,36(4):8-14.
- [32] Hidaka K, Dan K, Imanura H, et al. Effect of supplemental lighting from different light sources on growth and yield of strawberry[J]. Environmental Control in Biology, 2013,51(1):41-47.
- [33] Hidaka K, Okamoto A, Araki T. Effect of photoperiod of supplemental lighting with light-emitting diodes on growth and yield of strawberry (special issue: protected production systems)[J]. Environment Control in Biology, 2014,52(2):63-71.
- [34] Park Y H, Ryu H Y, Choo H M, et al. Effect of different supplement lights for strawberry growth and fruit quality[J]. International Society for Horticultural Science, 2014,1049:903-906.
- [35] 胡 波,黄 雯,张艳双,等. LED 补光对温室草莓生长的影响[J]. 农业工程技术,2017,37(13):26-27.
- [36] 吴鹏飞,王丽娟,刘 昭,等. LED 补光对设施草莓生长及果实品质的影响[J]. 北方园艺,2016,21:48-50.
- [37] 阳圣莹,白 胜,蒋浩宏,等. 不同补光处理对设施草莓光合特性及果实品质的影响[J]. 山西农业科学,2016,44(9):1298-1303.
- [38] 孙 萍,沈建生,林贤锐. 延长光照时间对立体种植模式下草莓植株生长的影响[J]. 浙江农业科学,2016,57(1):82-83,89.
- [39] 程林梅,张一萍,孙 毅,等. 草莓生物技术研究进展[J]. 植物学通报,2002,19(1):39-43.
- [40] 唐玉新,曲 萍,陆岱鹏,等. 适合机械化移栽的番茄穴盘育苗基质配方筛选[J]. 江苏农业学报,2017,33(6):1342-1348.
- [41] 郭永婷,朱 英,马 丽,等. 日光温室立体四季草椰糠种植技术[J]. 蔬菜,2018(1):32-34.