

气雾栽培的应用与研究综述^{*}

张建国¹ 何春梅² 凌 敏³ 王洪峰²

(1. 肇庆市国有大南山林场, 广东 四会 526242; 2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室/广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520; 3. 湖南省妇幼保健院, 湖南 长沙 410008)

摘要 气雾栽培是一种新型的无土栽培模式, 是现代农业发展的研究方向。文章综述了气雾栽培技术的设施、优势、局限性及目前所开展的相关研究, 同时综合展望了该技术广阔的发展应用前景, 探讨了气雾栽培技术用于解决中草药种植困境的可能性。

关键词 气雾栽培; 栽培模式; 药用植物

中图分类号: S318 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2017) 04-0130-05

Review on the Application and Research Progress of Aeroponic Cultivation

ZHANG Jianguo¹ HE Chunmei² LING Min³ WANG Hongfeng²

(1. Dananshan State Forest Farm of Zhaoqing City, Sihui, Guangdong 526242, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 3. The Maternal and Child Health Hospital of Hunan Province, Changsha, Hunan 410008, China)

Abstract Aeroponic cultivation is a new cultivation pattern and it is one of the important ways to promote the development of modern agriculture. The review focused on the system, merit and demerit, and relative researches of aeroponic technology at present. The extensive development and application of aeroponic cultivation were also prospected in the future, and the possibility that aeroponic cultivation would be a good way to solve the problem of medicinal plant cultivation was discussed.

Key words aeroponic cultivation; cultivation pattern; medicinal plants

气雾栽培简称雾培, 是一种以雾化营养液方式满足植物根系对水肥需求的新型无土栽培模式, 其基本原理是使植物的根系悬挂生长在封闭、不透光的环境内, 营养液通过特殊设备形成喷雾, 在自动控制系统的调控下间歇性喷到植物根系上, 以提供植物生长所需的水分和养分。雾培与传统土培及普通水培相比, 植物根系直接暴露在充满雾化营养的空气中, 具有充足的自由伸展空间, 可以毫无机阻力的延伸; 营养液雾化过程中不断溶解空气中的氧, 可以有效解决普通水培中供氧、供肥的矛盾, 具有土壤栽培和普通水培所没

有的优势。气雾栽培可提高单位面积内作物的产量, 具有产量高、品质好、污染少的优点, 可达到高产、优质、高效的目的, 符合未来农业生产发展的方向, 是实现农业现代化的重要途径。

1 气雾栽培设施

气雾栽培设施主要由栽培系统和营养液供给系统两大部分构成, 进行大规模生产种植时可利用计算机控制。

1.1 栽培系统

栽培系统的核心部分是栽培床, 可根据空间

^{*} 基金项目: 广东省林业科学创新项目“粤西油茶林下经济植物的培育技术研究”(2017KJCX049, 2015KJCX034)。

第一作者: 张建国(1973—), 男, 工程师, 主要从事森林培育与管理工作, E-mail: dns-lc@163.com。

通信作者: 何春梅(1984—), 女, 工程师, 主要从事药用植物资源与培育研究, E-mail: hcm_09@163.com。

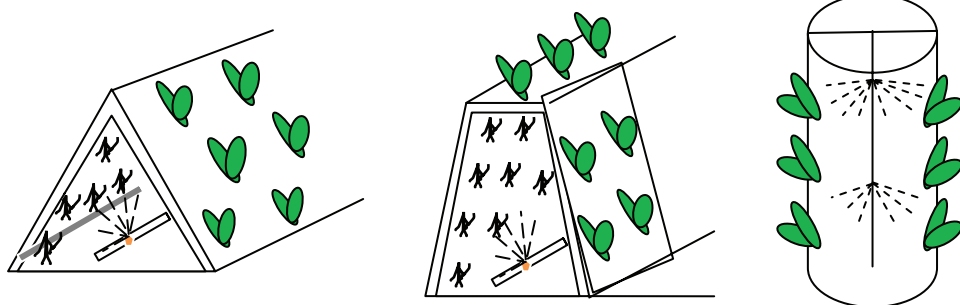


图1 3种雾培种植槽示意图

利用率和个人审美设计出不同形状。目前较常见的有3种,分别为金字塔式、苗床式和立柱式(图1)。

金字塔型气雾栽培模式又称A型栽培模式,是气雾栽培模式中最常见、应用范围最广的一种方式。选用泡沫板以“A”形搭建苗床,内部铺设营养液喷雾管道和回流管道,植物定植在两侧支撑板上,根系裸露在空气中,营养液通过雾化喷头直接供给根系,多余的营养液通过回流过滤系统重新进入储液池进行循环利用。金字塔型气雾栽培模式建造简单,光照、空间的利用率高,适用于叶菜类植物的生长。苗床式的代表是梯形雾培,梯形雾培除了可在两侧种植矮小的叶菜类蔬菜,还可在顶部进行吊架栽培,种植番茄(*Lycopersicon esculentum*)、黄瓜(*Cucumis sativus*)等大株型蔬菜。立柱式雾培系统中植物种植在垂直的柱式容器的四周,在容器的顶部和中心装有喷雾装置,以辐射状喷向四周。A型栽培模式的空间利用率在3种模式中最高,可充分利用建筑物上部和温室内立体的光热资源,实现立体空间的有效利用,适合于叶菜类和观赏植物。

气雾栽培的栽培系统要求密闭不透光,能够盛装营养液,并能够使喷雾后剩余的营养液回流到营养液池中。其高度要考虑植物根系的生长,不能太低,以免阻挡植物根系生长。定植板可选用硬质塑料板或者泡沫板,既能支撑植物,又方便进行定植孔的调整。定植孔的距离要根据所种植物的冠幅设计。

1.2 供液系统

供液系统主要包括水泵、管道、储液池、喷雾装置和控制器。储液池中的营养液通过水泵,经雾化喷头形成气雾供给植物根系,剩余的营养液再经回流管道过滤后重新进入储液池,从而实现营养液的循环使用。

储液池的体积可以根据植物生长期所需营养液的多少来设定,一般要求保证植物至少一周的营养需求。水泵材料需耐腐蚀,功率大小可根据生产面积和喷头所需的压力配置。管道选用塑料管,各级管道的大小应根据喷雾装置所安装喷头要求的压力大小而定。过滤装置需定时更换清洗,避免水中或配制营养液原料中含有的杂质堵塞喷头,造成局部根系无法吸收到水分而枯萎。喷头的位置和雾化效果需要保证能够喷洒到设施中所有的根系。

1.3 气雾栽培设施的完善

气雾栽培设施技术不断更新升级并取得良好进展,例如超声波雾化装置的出现解决了气雾栽培技术中营养液雾滴大、雾化效果欠缺导致的洗根现象。徐伟忠等^[1]于2006年开发了可用于不同类型科研或生产的气雾栽培系统。2012年,闻婧等^[2]设计了一种新型超声波雾化栽培装置,由超声波雾化器、超声波雾化栽培槽、种植板和营养液循环系统组成,系统供液与雾化器工作时间由定时器统一控制。2013年,高建民等^[3]对衍架式超声雾化栽培器进一步优化,应用NIPCI-6110数据采集卡在Labview平台上构建了温湿度的实时采集系统;以PIC16F877A芯片为核心构建了喷雾控制系统,使气雾栽培设施更加智能、更加完善。

2 气雾栽培的优势及局限性

气雾栽培与传统土壤栽培比较具有改善根系水肥条件等优势,具有广阔的发展潜力,但同时也存在一些不足。

2.1 气雾栽培的优势

2.1.1 增加作物产量 气雾栽培有效改善了植物的根系生长环境,使得营养吸收更加直接,水和肥的利用率增大,立体式的栽培也使得植物对光的吸收利用增强。在同一生长期,气雾栽培的植

物生长速度比土培和水培要快,生物量也高于其他栽培方式,比如马铃薯(*Solanum tuberosum*)微型原薯的气雾栽培增产幅度一般在30%以上,有的达到100%^[4];雾培番茄的单株产量比土壤栽培增加15.3%^[5]。

2.1.2 提高作物品质 气雾栽培条件下,人们根据不同植物的营养需求制定不同的营养配方,以满足植物对水肥的需求,可以达到个性化管理和自主控制。营养条件的改善使得作物的品质得到很大的提高。

2.1.3 提高水肥利用率,减轻环境污染 在传统的土壤栽培中,肥料平均利用率只有30%~40%^[6];而气雾栽培可根据植物品种、对氮钾营养的喜好、处于何种生长阶段,科学合理地供给营养物质,解决养分流失问题,因此,水肥利用率可提高至90%~95%^[1]。其原因在于营养液雾化后,使得根系接触营养液的表面积远远大于其他栽培方式。另一方面,在雾培模式下,植物根系的生长没有土壤阻力,亦不存在水培中的根系缺氧问题,因此,植物的气生状须根根系非常发达,根系数量庞大,提高了根系对养分的吸收,从而可以实现作物的快速生长。采用气雾栽培技术通常比常规模式栽培的植物生长速度快3~5倍^[1]。此外,营养液的循环利用,不仅节约了资源,还降低了生产成本,减轻了化学肥料对土壤和水环境的污染。

2.1.4 可解决水培中根系缺氧问题 普通水培中,植物根系需要浸没在营养液中来保证植株的营养吸收。由于营养液中溶解氧浓度低,而根系不断的耗氧,根系供氧状况不断恶化,从而导致植物缺氧烂根,影响植物的生长。与水培不同,雾培模式下,植物的根系直接裸露在空气中,根系与空气直接接触,营养液有规律的间隔从雾化喷头中喷出,不断溶解空气中的氧气,供给植物根系呼吸,促进根系呼吸代谢,使植物体内的其他代谢机能也增强,植物生长速度加快。

2.1.5 可有效避免植物的连作障碍 常规的土壤栽培或者基质栽培常有土传病害引起的连作障碍产生,需要进行隔年轮作方可继续进行生产,或者直接施用防止连作障碍的化学药品,影响生产又导致土壤污染和化学残留。而不需要土壤和基质的气雾栽培可从根本上解决土壤连作障碍的问题,只需要对营养液进行合理的调配,即可在同一套设施下可以连续多年重复栽种同一种作物。

2.1.6 提高土地利用率,实现农业现代化 气雾栽培摆脱了土壤的约束,极大地扩展了农业生产空间,在耕地面积日益减少,土壤污染愈发严重的今天显得尤为重要。常见的3种气雾栽培模式均属于立体栽培方式,发展多层立体栽培,可提高土地利用率和单位面积产量,这是弥补我国耕地面积不足的重要途径。在人口密集的城市,可利用楼顶、阳台等空间,应用气雾栽培技术培育蔬菜,无需中耕、除草、追肥,营养液管理完全自动化,一方面可以实现居民蔬菜的自我供给,另一方面可以陶冶市民的情操,是现代农业的发展方向。

2.2 气雾栽培的局限性

气雾栽培目前多用于作物的营养研究,部分地区进行了试点生产,未达到普及,其局限性包括以下几个方面。

2.2.1 设施投资大,运行费用高 气雾栽培属于设施栽培,前期建造设施和采购设备需投入大量资金,后期运行费用也较高。在我国,普通农民无法承担如此高的费用,这也是目前气雾栽培技术在我国未普及的一个根本原因。

2.2.2 对电力依赖性大 气雾栽培技术需要电力保证一整套设施的正常运作,一旦供电不足或断电,营养液无法供给,短时间内植物将因缺水而萎蔫,严重时造成死亡。

2.2.3 管理技术要求高 气雾栽培生产中需要依据植物种类和生长阶段选用适宜的营养液配方,不同植物的营养液最适宜EC值、pH值不同,并且需要专业人员进行管理和调配,增加了气雾栽培技术的管理成本。

3 气雾栽培研究现状

3.1 气雾栽培对植物生长的影响

RIETVELD^[7]研究发现,加拿大短叶松(*Pinus banksiana*)根系在雾培中生长速度显著快于营养液培养和土培。SOURET和WEATHERS^[8]在雾培、营养液培与土培3种条件下对藏红花(*Crocus sativus*)进行研究发现:雾培条件下,藏红花球茎的干质量与其他栽培方法相比增长最快,但根的长度生长较慢。HAYDEN^[9]用气雾栽培牛蒡(*Arc-tium lappa*)和紫锥菊(*Echinacea purpurea*),生产周期大幅缩短,如牛蒡生产6个月的产量就相当于土培24个月的,紫锥菊6个月的产量相当于

土培 12 个月的。

我国气雾栽培的研究起步较晚, 1997 年从韩国首次引入马铃薯气雾栽培技术, 随着研究的深入, 目前已经在多个品种上取得成功。采用雾化栽培马铃薯微型薯每株匍匐茎数可达到 97 条, 膨大成薯 76 个, 分别是对照组的 6.5 倍和 13.3 倍^[4]。与营养液栽培和沙培比较, 雾培马铃薯植株生长旺盛, 块茎产量显著增加^[10-11]。王珺玲等^[12]采用无土研究表明, 雾培黄瓜根系体积、根系长度和光合作用能力显著高于液培和基质培, 果实产量显著增加。丁文雅等^[13]研究发现在同一供氮水平下, 雾培生菜 (*Lactuca sativa* var. *ramosa*) 的根系总长、根直径、根总表面积、根体积和根系活力均显著高于水培, 在培养中后期两者的差异更为明显。

3.2 气雾栽培对植物品质的影响

研究表明, 气雾栽培与传统的土培和水培相比, 不仅在促进植物生长方面有优势, 还能增加植物体内干物质积累, 提高植物营养品质。孙周平等^[5]研究指出, 雾培番茄叶片的叶绿素含量、净光合速率与产量均显著高于土壤栽培。丁一等^[14]以基质栽培香菜 (*Coriandrum sativum*) 为对照, 研究了气雾栽培对香菜品质的影响。结果表明, 气雾栽培条件下的香菜维生素 C 含量为 70.7 mg/100 g, 较基质栽培的香菜维生素 C 含量 (37.8 mg/100 g) 有提高; 矿物质元素硒的含量比基质培香菜提高一倍。周剑等^[15]以基质培和水培为对照, 研究了雾培对网纹甜瓜 (*Cucumis melo*) 植株生长、产量和品质的影响。结果表明, 雾培网纹甜瓜的株高、茎粗、叶片数、根长、根体积、根系活力和根干物质积累均高于水培和基质培, 说明雾培能促进网纹甜瓜植株生长, 使其根系发达, 长势旺盛。刘义玲等^[16]研究发现雾培可促进网纹甜瓜根系的生长和干物质的积累, 在植物生长前期促进作用不显著, 在开花后植物硝态氮还原酶活性增加。刘泽发等^[17]研究了小型西洋南瓜 (*Cucurbita maxima*) 的气雾栽培技术, 通过与露地栽培的两种小型西洋南瓜进行比较, 发现气雾栽培的小型西洋南瓜第一雌花节位降低 1~2 个节位, 生育期缩短 7~8 d, 平均单果重和果实中维生素 C 含量增加。

3.3 雾培营养液的研究

营养液是雾培等无土栽培技术中植物根系营养的唯一来源, 其营养元素的组成、离子浓度的高低、pH 值等物理条件都会对植物的生长发育产

生影响。植物能否正常生长、品质是否有所提高与营养液配制是否合理息息相关, 因此, 营养液的配制、优化和调控是气雾栽培技术的核心。不同的植物有不同的根系构造, 有不一样的需肥特征, 必须根据植物的栽培条件和生理特征对现有的经典水培营养液配方进行筛选和改善, 为常见的植物制定出特有的雾培营养液通用配方, 才能真正实现植物的优质高产。目前, 国内对雾培马铃薯的营养液进行了较深入的研究, 内容包括营养液的配方、氮钾比例、氮源的形态到营养液离子浓度、外源离子的添加、pH 值等, 为马铃薯的气雾栽培生产提供了丰富的理论基础和科学的技术指导^[18]。例如, 王素梅等^[19]提出, 在营养液中适当增加 K^+ 的浓度, 降低 N 素的含量, 有利于马铃薯块茎的膨大。卢泳全等^[20]研究认为氨态氮和硝态氮的混合使用所得的产量比使用单一形态的氮源产量要高。氨态氮有利于块茎的增大, 而硝态氮可以刺激马铃薯匍匐茎的分支, 主要促进主茎的生长。两种形态的氮混合使用可同时促进分支的增多和块茎的增大, 这项研究结果与之前 OSAKI 等^[21]的研究一致。另外, 研究发现在黄瓜的雾培营养液中添加 2~4 mol/L 的 HCO_3^- , 有利于稳定营养液的 pH 值, 促进黄瓜根系对 NO_3^- 、 K^+ 、 Ca^{2+} 的吸收, 从而促进植物的生长^[22]。

4 气雾栽培前景展望

气雾栽培技术通过给植物根域创造良好的生长环境条件, 实现植物短期内的快速生长和发育, 与传统的土培相比可以节省大量的水和肥料的用量, 是当前农业生产中最先进的栽培技术之一, 在国内外引起了很大的反响。目前, 气雾栽培技术已经应用到科研、生产、农业观光等领域, 虽然发展还不够完善, 但气雾栽培是大势所趋。目前在乌鲁木齐市已建成全疆首个气雾蔬菜栽培基地^[23], 已经投入生产使用, 所种植的蔬菜生长周期与传统的土壤种植相比缩短三分之一, 产量则提高 7~10 倍, 所有蔬菜均符合有机蔬菜标准。珠海市已建成一个高 11 m, 面积 1 200 m² 的采用气雾栽培、具节能效果的球形鸟巢温室^[24], 目前用于观光农业。

短期内实现植物的快速生长, 成倍提高生物产量, 有效提高作物营养品质, 减少化学肥料对土壤和水环境的污染等优势使得气雾栽培技术成

为现代农业研究的热点。国内气雾栽培技术多应用于果菜类蔬菜,例如南瓜、黄瓜、番茄等,对药用植物的研究报道较少^[25-26]。药用植物具有特殊性,一般生长周期较长,到一定的年限才能达到药用采收标准;根茎类药材的采挖往往需要连根拔起,极易破坏土壤层,造成水土流失;目前野生药用植物资源逐年减少,药材来源多为人工栽培。人工种植模式下,部分农户滥用化肥、农药、生长调节剂,造成农残含量超标和土壤盐渍化等问题,给药品的安全使用带来了极大的隐患。气雾栽培有望解决中草药种植面临的难题,通过雾化的营养液满足药用植物对水肥的需求,避免了土壤盐渍化、化肥污染等环境问题。同时,根茎类药材不用破坏土壤就可采收。气雾栽培设施多建于大棚内,可利用防虫网预防虫害的发生,减少农药的使用。

气雾栽培作为一种新型的栽培模式,是基于工程技术、生物技术、计算机控制技术等基础上的一种全新栽培模式,在理论及实际操作中还有极大的改进与提升空间。目前已有对部分城市的露天阳台、楼顶、广场、公园等场合采用气雾栽培设施种植观赏植物,均取得较好的效果。气雾栽培是未来发展高效农业的最佳栽培模式,露天自然条件下形成可操作的气雾栽培技术体系将会彻底改变当前的耕作模式。

参考文献

- [1] 徐伟忠,王利炳,詹喜法,等.一种新型栽培模式——气雾培的研究[J].广东农业科学,2006(7): 30-33.
- [2] 闻婧,程瑞峰,孟力力,等.超声波雾化栽培装置的研制和应用效果[J].江西农业学报,2012,24(1): 23-25.
- [3] 高建民,黄桂珍,尹文楚,等.桁架式超声雾化栽培器的雾滴沉降和根际温湿度变化规律[J].农业工程学报,2013,29(6): 185-192.
- [4] 杨元军,孙慧生,王培伦,等.马铃薯脱毒小薯雾培结薯特点及增产效果[J].园艺学报,2002,29(4): 333-336.
- [5] 孙周平,刘涛,蔺姗姗,等.雾培对番茄植株生长、产量和品质的影响[J].沈阳农业大学学报,2006,37(3): 488-490.
- [6] 郭世荣.无土栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003: 259-263.
- [7] RIETVELD W J. Evaluation of three root growth potential techniques with tree seedlings[J]. New Forests, 1989, 3: 181-189.
- [8] SOURET F F, WEATHERS P J The growth of saffron (*Crocus sativus* L.) in aeroponics and hydroponics[J]. Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants, 2000, 7(3): 25-36.
- [9] HAYDEN A L. Aeroponics and hydroponics systems for medicinal herb, rhizome, and root crops[J]. HortScience, 2006, 41(3): 536-538.
- [10] 修英涛,曹嘉颖,孙周平,等.不同无土栽培方式对马铃薯脱毒小薯繁育的影响[J].辽宁农业科学,2003(2): 1-3.
- [11] 吕树鸣.有土、无土繁育方式下马铃薯微型薯发育的机理比较研究[D].重庆:西南农业大学,2005.
- [12] 王珺玲,刘广晶,孙周平.雾培对黄瓜植株生长、产量和品质的影响[J].江苏农业科学,2009(1): 174-176.
- [13] 丁文雅,邬小撑,刘敏娜,等.不同营养液配方对雾培生菜生物量和营养品质的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2012,38(2): 175-184.
- [14] 丁一,张路,于超,等.无土气雾式栽培对香菜品质的影响[J].北方园艺,2013(2): 23-25.
- [15] 周剑,李天来,刘义玲.雾培对网纹甜瓜生长和产量及品质的影响[J].北方园艺,2013(4): 16-19.
- [16] 刘义玲,孙周平,李天来.雾培对网纹甜瓜根系生长和氮代谢的影响[J].西北农业学报,2013,22(7): 174-180.
- [17] 刘泽发,姜艳芳,罗育才,等.迷你型西洋南瓜气雾栽培技术[J].吉林蔬菜,2012(4): 49-50.
- [18] 肖英奎,张艳平,张强,等.马铃薯微型薯气雾培营养液研究综述[J].农机化研究,2011,33(10): 220-223.
- [19] 王素梅,王培伦,王秀峰,等.营养液成分对雾培脱毒微型马铃薯产量的影响[J].山东农业科学,2003(4): 32-34.
- [20] 卢泳全,陈伊里.营养液栽培法在马铃薯研究中的应用[J].马铃薯杂志,1999,13(4): 240-244.
- [21] QSAKI M, SHIRAI J, SHINANO T, et al. Effects of ammonium and nitrate assimilation on the growth and tuber swelling of potato plants[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1995, 41(4): 709-719.
- [22] 孙周平,薛东东,刘义玲.添加 HCO_3^- 处理对雾培黄瓜营养液及其根系矿质离子吸收的影响[J].园艺学报,2012,39(增刊): 2695.
- [23] 陈岩.气雾栽培技术落户新疆[J].致富天地,2013(4): 71.
- [24] 刘晶.基于超声雾化自动喷雾栽培实验系统[D].昆明:昆明理工大学,2013.
- [25] 凌敏,何春梅,高健敏,等.雾培对药用植物车前生长及品质的影响[J].广东林业科技,2015,31(1): 29-33.
- [26] 高健敏,凌敏,何春梅,等.3种药食植物雾培生长效果研究[J].广东林业科技,2015,31(1): 34-37.