

两种栽培方式对排草香、碰碰香生长和品质的影响^{*}

莫云豹¹ 高健敏² 王洪峰² 何春梅²

(1. 广东省林业厅科技推广总站, 广东广州 510173;

2. 广东省林业科学研究院/广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东广州 510520)

摘要 以排草香 (*Anisochilus carnosus*)、碰碰香 (*Plectranthus hadiensis* var. *tomentosus*) 两种芳香药用植物为试验材料, 在气雾栽培 (雾培) 和土壤栽培 (土培) 两种栽培方式下, 对两种植物的生长指标 (株高、根长、株重)、营养成分 (维生素 C、游离氨基酸、可溶性糖、可溶性蛋白、硝酸盐) 和药用成分 (总黄酮) 含量进行测定和比较。结果表明雾培与土培的植物在生物量、营养成分及药用成分含量等方面差异明显: (1) 雾培组排草香株高、根长、株重分别比土培组增长 28.8%、58.9%、146.7%, 碰碰香增长 14.4%、58.6%、103.6%。(2) 雾培组排草香维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白含量分别比土培组增长 13.6%、42.9%、51.3%, 碰碰香增长 28.9%、42.9%、20.4%。雾培组的硝酸盐含量分别是土培组的 3.76 倍、3.58 倍, 而游离氨基酸含量则是土培组比雾培组增加 16.0%、44.9%。(3) 土培组的排草香、碰碰香总黄酮含量比雾培组的增加 186.4%、277.5%。两种植物土培组与雾培组的抗氧化能力无太大差异。气雾栽培相对于传统的土壤栽培, 植物生长速度可以提高 1.4~5.2 倍, 且一些营养成分含量显著提高, 但药用成分的积累偏低。

关键词 气雾栽培; 土壤栽培; 生长; 品质

中图分类号: S567 文献标识码: A 文章编号: 2096-2053 (2018) 02-0073-06

Effects of Two Kinds of Cultivation Methods on the Growth and Quality of *Anisochilus carnosus* and *Plectranthus hadiensis* var. *tomentosus*

MO Yunbao¹ GAO Jianmin² WANG Hongfeng² HE Chunmei²

(1. Guangdong Province Forestry Science and Technology Extension Station, Guangzhou, Guangdong 510173, China;

2. Guangdong Academy of Forestry/ Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract This article studied the effects of aeroponics and soil cultivation on growth and quality of *Anisochilus carnosus* and *Plectranthus hadiensis* var. *tomentosus*. The indexes that we measured include height, root length, plant weight, Vitamin C (Vc), free amino acid (FAA), free soluble sugar, soluble protein, nitrate content, total flavonoids. The results showed that two kinds of cultivation methods have obvious different effects on growth, nutritional components and medicinal constituents: (1) The height, the root length and the plant weight of *A. carnosus* grown in aeroponics had an increase of 28.8%, 58.9% and 146.7% respectively than those in soil, while those growth indicators of *P. hadiensis* var. *tomentosus* also had a similar increase, with the numbers being 14.4%, 58.6% and 103.6%. (2) The content of Vc, free soluble sugar and soluble protein of *A. carnosus* grown in aeroponics had increased 13.6%, 42.9% and 51.3% respectively than those in soil; As for *P. hadiensis* var.

^{*} 基金项目: 中央财政林业改革发展资金项目“林下红葱综合利用技术示范”([2017] GDTK-03)。

第一作者: 莫云豹 (1988—), 男, 助理工程师, 主要从事林业科技管理与推广工作, E-mail: moyunbao123@126.com。

通信作者: 何春梅 (1986—), 女, 工程师, 主要从事植物资源研究工作, E-mail: hcm_09@163.com。

tomentosus, the increasing proportions were 28.9%, 42.9% and 20.4%, respectively. The nitrate contents of *A. carnosus* and *P. hadiensis* var. *tomentosus* grown in aeroponics were 3.76 times and 3.58 times than those in soil cultivation, respectively. However, the free amino acids contents of *A. carnosus* and *P. hadiensis* var. *tomentosus* grown in soil cultivation had an increase of 16.0% and 44.9% over in aeroponics. (3) Similarly, the total flavonoids contents of *A. carnosus* and *P. hadiensis* var. *tomentosus* grown in soil cultivation were also higher than those in aeroponics, having an increase of 186.4%, 277.5%, respectively. The anti-oxidation ability of *Anisochilus carnosus* and *Plectranthus hadiensis* var. *tomentosus* grown in soil cultivation had no significant difference with those in aeroponics. Compared with traditional soil culture, aeroponics increased the plant growth rate by 1.4~5.2 times, and also increased some nutrient contents significantly, but decreased the contents of medicinal composition.

Key words aeroponics; soil cultivation; growth; quality

气雾栽培(雾培)是让植物的根系离开了基质与水,把植物根系完全放置于气雾环境下进行生长发育的一种新型无土栽培模式,通过雾化的水气满足植物根系对水肥的需求,并具有最充足的氧气与最自由伸展的空间,使根系在毫无阻力的环境下生长^[1]。与传统的栽培方式相比,气雾栽培对植物生长潜能的发挥具有得天独厚的优势,具体表现在生长周期缩短、生物量与产量显著提高、次生代谢产物稳定性提高及产品安全无污染等方面。

试验选用的两种芳香植物排草香(*Anisochilus carnosus*)和碰碰香(*Plectranthus hadiensis* var. *tomentosus*)均为唇形科植物,植株的生物活性成分具有多种功能,可用于医药、保健、食品、化妆品等行业。本试验对雾培和土培条件下两种芳香药用植物的生长、营养以及药用成分进行了比较研究,旨在探寻气雾栽培技术是否适用于药用植物的栽培。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

排草香、碰碰香苗取自广东省林业科学研究院苗圃。

园试营养液配方: KNO_3 0.81 g/L、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.155 g/L、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.95 g/L、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g/L。pH 值保持在 5.8 左右。

微量元素配方: H_3BO_3 0.003 g/L、 $\text{Na}_2\text{Fe-ED-TA}$ 0.025 g/L、 $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.002 g/L、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.000 05 g/L、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.000 22 g/L、 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.000 02 g/L。

1.2 试验方法

1.2.1 试验准备 分别取长势一致的排草香、碰碰香 120 株,土培组、雾培组各取 60 株,每组设置 3 个处理,每个处理 20 株。两个组的苗洗干净后测量株重、株高、茎粗。

土培组:将排草香、碰碰香按株行距 50cm × 50 cm 进行定植。植株生长稳定后每周定时浇 1 L 的园试配方营养液。

雾培组:将排草香、碰碰香种植在雾培架上,采用定时器来控制,在排草香、碰碰香缓苗期,白天(8:00—18:00 时)每隔 5 min 供营养液 50 s,晚上(18:00—8:00 时)每隔 30 min 供营养液 60 s;待排草香、碰碰香生长稳定后,每隔 20 min 供营养液 60 s。雾化喷头流量 1 L/min,营养液管道压力约 0.2 Pa,营养液一周更换一次,保持营养持续供应及雾化环境洁净。

土培组与雾培组在同等环境条件下进行。

1.2.2 生长数据和供试材料采集 待土培及雾培排草香、碰碰香生长稳定之后,每隔 15 天分别从 3 个处理中随机取出 2 株,洗净后测定其株重、株高、根长,共测 5 次。2 个月后,取 15 株用液氮磨碎后于 -40 °C 保存,供营养品质测定,剩下 15 株烘干后粉碎过 60 目筛,作为测量黄酮含量的材料。数据运用 SPSS17.0 进行统计分析。

1.2.3 营养品质测定 Vc 含量测定:比色法^[2];硝酸盐含量测定:水杨酸—硫酸法^[2];可溶性糖含量测定:蒽酮比色法^[2];游离氨基酸含量的测定:水合茚三酮法^[3];可溶性蛋白含量测定:考马斯亮蓝 G-250 染色法^[4]。测得数据运用 SPSS17.0 进行分析。

1.2.4 药用品质测定 (1) 排草香、碰碰香总黄酮的提取及含量测定：排草香、碰碰香总黄酮的提取：干燥粉碎的材料 2.0 g，加入 10 mL 的 80% 甲醇超声提取 1 h，提取 2 次，提取液离心，减压浓缩并用石油醚脱色，得到样品溶液。总黄酮含量的测定方法参照 Xu 等^[5]的方法稍微调整，测得数据运用 SPSS17.0 进行分析。

(2) 排草香、碰碰香抗氧化能力的测定：活性成分的提取：将排草香、碰碰香粉各称取 5 g，用 30 mL 75% 乙醇在常温下超声提取 30 min，在 4 000 rpm 离心 20 min 后过滤，滤渣再次提取，合并滤液，弃去滤渣。用旋转蒸发器浓缩所得滤液，加乙醇定容至 10 mL 备用。

DPPH 自由基率测定参照 Tadolino 等^[6]的方法。FRAP 抗氧化能力测定参照 Benzie 等^[7]的方法。

2 结果与分析

2.1 不同栽培方式对排草香、碰碰香生长的影响

2.1.1 不同栽培方式对排草香生长的影响 由表 1 可知雾培组排草香生长速度比土培组更快，栽培 60 d，雾培组排草香株高增速为 0.68 cm/d，土培组为 0.48 cm/d，雾培组是土培组的 1.42 倍。移栽时，两组平均株高基本一致，雾培组为 10.39 cm，土培组为 10.56 cm。15 d 以后两组平均株高差距逐渐加大；移栽 30 d 后，雾培组是土培组的 1.06 倍，差异显著；移栽 45 d 后，雾培组平均株高是土培组的 1.21 倍，两组差异达到极显著水平。生长 60 d 后，雾培组的平均株高为 51 cm，土培组为 39.60 cm，雾培组是土培组的 1.29 倍，两组之间差异极显著。

雾培组排草香的根长生长也比土培组迅速，栽培 60 d，雾培组根长增速是土培组的 1.8 倍。刚

移栽时，雾培组平均根长为 5.82 cm，土培为 5.78 cm。移栽 15 d 后两组差异极显著；60 d 后雾培组根长为 34.24 cm，土培组为 21.55 cm，雾培组根长为土培组的 1.66 倍，两组之间差异极显著。

株重方面，雾培组排草香与土培组相比，株重急剧增长，生长 60 d，雾培组增速为土培组的 5.2 倍。移栽时，雾培组排草香平均株重为 12.18 g，土培为 12.23 g。移栽 15 d，雾培组排草香平均株重为土培组的 1.25 倍，两组之间存在极显著性差异；生长 60 d 后雾培组株重为 284.79 g，土培组为 115.42 g，雾培组株重为土培组的 2.46 倍，两组之间差异极显著。

综上可知，栽培 60 d 后，雾培组排草香各生长指标值均比土培组高（表 1），雾培组的株高、根长、株重分别较土培组增长 28.8%、58.9%、146.7%，两组差异达到极显著水平。

2.1.2 不同栽培方式对碰碰香生长的影响 由表 2 可知雾培组碰碰香的生长速度比土培更快，生长 60 d，雾培组碰碰香株高增速为 0.10 cm/d，土培为 0.07 cm/d，雾培组是土培组的 1.43 倍。移栽时，雾培碰碰香平均株高为 5.48 cm，土培为 5.80 cm。种植 30 d，两组差异不显著；种植 45 d，雾培组的株高是土培的 1.09 倍，两组之间存在显著性差异。生长 60 d 后，雾培碰碰香平均株高为 11.74 cm，土培为 9.26 cm，雾培株高是土培的 1.27 倍，两组之间差异极显著。

雾培碰碰香的根长也始终比土培的增长要快，生长 60 d，雾培碰碰香根长增速为 0.31 cm/d，土培组为 0.18 cm/d，雾培组是土培组的 1.72 倍。移栽时，雾培组碰碰香平均根长为 2.88 cm，土培组为 2.76 cm；移栽 15 d，雾培组为土培组的 1.44 倍，两组之间差异显著；移栽后 30 d，雾培组为

表 1 两种栽培方式下载培 60 d 的排草香生长指标比较

Table 1 Comparison of the growth indexes of *Anisochilus carnosus* under two kinds of cultivation methods after 60 days

栽培方式 Cultivation methods	株高 Height/cm $\bar{x} \pm s$	根长 Root length/cm $\bar{x} \pm s$	株重 Weight/g $\bar{x} \pm s$
土培 Soil cultivation	39.6 ± 1.51	21.55 ± 2.02	115.42 ± 1.98
雾培 Aeroponics	51.0 ± 3.12**	34.24 ± 1.54**	284.79 ± 34.49**
<i>F</i>	32.38	74.9	5337.265
<i>P</i>	0.005	0.001	0

注：与对照组相比，** 表示 $P < 0.01$ 。Note: Compared with the control group, ** represents $P < 0.01$.

土培组的 1.62 倍，两组之间差异极显著。移栽后 60 d，雾培组平均根长为 21.96 cm，土培组为 13.68 cm，雾培组为土培组的 1.57 倍，两组根长差异达到极显著水平。

株重方面，与土培组相比，雾培组碰碰香株重增长更快，生长 15 d 后两组株重差异即达到极显著水平。栽培 60 d，雾培碰碰香株重增速为 0.24 g/d，土培为 0.10 g/d，雾培组是土培组的 2.4 倍。移栽时，雾培碰碰香平均株重为 2.23 g，土培为 2.15 g；移栽第 15 天测得雾培碰碰香的平均株重为 4.49 g，土培的为 3.24 g，雾培组为土培组的 1.39 倍，两组之间差异达到极显著水平；移栽后 30 d、45 d 测量结果分析均达极显著水平。栽培 60 d，雾培组碰碰香株重为 16.35 g，土培组为 8.07 g，雾培组是土培组的 2.03 倍，两组之间差异极显著。

综上可知，栽培 60 d 后，雾培组碰碰香各生长指标值均比土培组高（表 2），雾培组的株高、根长、株重分别较土培组增长 14.4%、58.6%、103.6%，两组差异达极显著水平。

2.2 不同栽培方式对排草香、碰碰香营养品质的

影响

由表 3 可以看出，排草香生长 2 个月后雾培组和土培组之间的营养品质含量 Vc、硝酸盐、可溶性糖、可溶性蛋白、游离氨基酸均存在极显著差异。雾培组 Vc、硝酸盐、可溶性糖、可溶性蛋白含量分别是土培组的 1.14 倍、3.76 倍、1.43 倍、1.51 倍；而游离氨基酸含量方面，土培组排草香极显著高于雾培组，土培组是雾培组的 1.16 倍。

由表 4 可以看出，生长 2 个月后雾培组与土培组碰碰香的 Vc、硝酸盐、可溶性糖、游离氨基酸、可溶性蛋白含量均存在极显著差异。雾培组碰碰香的 Vc、硝酸盐、可溶性糖、可溶性蛋白含量均极显著高于土培组，分别是 1.29 倍、3.58 倍、1.43 倍、1.20 倍。而在游离氨基酸含量方面，土培组碰碰香是雾培组的 1.45 倍。

2.3 不同栽培方式对排草香、碰碰香药用品质的影响

由表 5 可知，生长 2 个月后土培组排草香总黄酮含量极显著高于雾培组，土培组是雾培组的 2.86 倍；抗氧化能力方面，总抗氧化活性和 DPPH 自由基清除率的差异均不显著。

表 2 两种栽培方式下栽培 60 d 的碰碰香生长指标比较

Table 2 Comparison of the growth indexes of *Plectranthus hadiensis* var. *tomentosus* under two kinds of cultivation methods after 60 days

栽培方式 Cultivation methods	株高 Height/cm $\bar{x} \pm s$	根长 Root length/cm $\bar{x} \pm s$	株重 Weight/g $\bar{x} \pm s$
土培 Soil cultivation	9.26 ± 0.12	13.68 ± 0.76	8.07 ± 0.36
雾培 Aeroponics	11.74 ± 0.64**	21.96 ± 1.09**	16.35 ± 0.44**
F	43.14	116.33	638.74
P	0.003	0.000	0.000

注：与对照组相比，** 表示 $P<0.01$ 。Note: Compared with the control group, ** represents $P<0.01$.

表 3 两种栽培方式排草香营养品质含量的差异性分析

Table 3 Differential analysis of nutritional components of *Anisochilus carnosus* under two kinds of cultivation methods

组别 Groups	Vc/ (mg/100g) $\bar{x} \pm s$	硝酸盐 Nitrate/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) $\bar{x} \pm s$	可溶性糖 Soluble sug- ar/ (mg · g ⁻¹) $\bar{x} \pm s$	游离氨基酸 Free ami- no acid/ (mg · g ⁻¹) $\bar{x} \pm s$	可溶性蛋白 Soluble protein/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) $\bar{x} \pm s$
土培 Soil cultivation	66.79 ± 2.16	126.28 ± 11.81	24.74 ± 0.10	12.14 ± 0.14	40.42 ± 0.08
雾培 Aeroponics	76.77 ± 1.12**	475.08 ± 15.78**	35.33 ± 0.11**	10.47 ± 0.33**	61.15 ± 0.70**
F	50.52	939.82	15490.31	62.47	2606.06
P	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000

注：与对照组相比，** 表示 $P<0.01$ 。Note: Compared with the control group, ** represents $P<0.01$.

表 4 两种栽培方式下碰碰香营养品质的差异性分析

Table 4 Differential analysis of the nutritional components of *Plectranthus hadiensis* var. *tomentosus* under two kinds of cultivation methods

组别 Groups	Vc/ (mg/100g) $\bar{x} \pm s$	硝酸盐 Nitrate/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) $\bar{x} \pm s$	可溶性糖 Soluble sugar/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) $\bar{x} \pm s$	游离氨基酸 Free ami- no acid/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) $\bar{x} \pm s$	可溶性蛋白 Soluble protein/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) $\bar{x} \pm s$
土培 Soil cultivation	51.68 ± 2.75	131.76 ± 1.33	22.58 ± 0.04	15.46 ± 0.26	50.38 ± 0.66
雾培 Aero- ponic	66.64 ± 4.67**	470.74 ± 27.17**	32.28 ± 0.03**	10.67 ± 0.29**	60.39 ± 0.48**
<i>F</i>	22.85	465.77	111269.26	463.62	453.54
<i>P</i>	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000

注：与对照组相比，** 表示 $P<0.01$ 。Note: Compared with the control group, ** represents $P<0.01$.

表 5 两种栽培方式排草香药用品质比较

Table 5 Comparison of the medicinal quality of *Anisochilus carnosus* under two kinds of cultivation methods

组别 Groups	总黄酮含量 Total flavonoid con- tent/ ($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) $\bar{x} \pm s$	总抗氧化活性 Total antioxidant activity/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) $\bar{x} \pm s$	总自由基清除率 Total free radical clearance /%
土培 Soil cultivation	83.98 ± 0.81	1.52 ± 0.05	88.69 ± 1.69
雾培 Aeroponic	29.32 ± 0.81**	1.55 ± 0.10	88.77 ± 1.16
<i>F</i>	656.46	0.229	0.005
<i>P</i>	0.000	0.657	0.949

注：与对照组相比，** 表示 $P<0.01$ 。Note: Compared with the control group, ** represents $P<0.01$.

表 6 两种栽培方式碰碰香药用品质比较

Table 6 Comparison of the medicinal quality of *Plectranthus hadiensis* var. *tomentosus* under two kinds of cultivation methods

组别 Groups	总黄酮含量 Total flavonoid con- tent/ ($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) $\bar{x} \pm s$	总抗氧化活性 Total antioxidant activity/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) $\bar{x} \pm s$	总自由基清除率 Total free radical clearance /%
土培 Soil cultivation	92.10 ± 6.91	1.84 ± 0.07	87.38 ± 0.83
雾培 Aeroponic	24.41 ± 3.64**	2.02 ± 0.22	88.01 ± 0.41
<i>F</i>	225.38	1.94	1.39
<i>P</i>	0.000	0.236	0.304

注：与对照组相比，** 表示 $P<0.01$ 。Note: Compared with the control group, ** represents $P<0.01$.

从表 6 可知，生长 2 个月后土培组碰碰香总黄酮含量极显著高于雾培组，土培组是雾培组的 3.77 倍；总抗氧化活性和 DPPH 自由基清除率差异均不显著。

3 结论与讨论

3.1 与传统的土壤栽培相比，气雾栽培能给植物提供更为充足的氧气和使根系更自由伸展的空间，从而提高植物对营养物质的吸收。在雾培环境中，根的呼吸作用强，充分吸收了营养液中的水和养分，与土培相比，雾培系统中的植物根系具有更好的矿质营养基础^[1]；雾培的有利因素为植物提

供了较佳的根域环境，植物的生长代谢活力明显提高，生长加快，植物生物量和营养成分积累也得到了提高。

3.2 经过 60 d 的生长，雾培组排草香、碰碰香与土培组相比，生物量有了较大提高，雾培组排草香的株高、根长、株重分别较土培组增长 28.8%、58.9%、146.7%，碰碰香增长 14.4%、58.6%、103.6%。其他学者的研究也证明雾培比土培能更快在短时间内提高植物生物量^[8-13]。

3.3 在营养品质方面，雾培组与土培组各有优势，雾培组的 Vc、可溶性糖、可溶性蛋白含量均高于土培组，排草香分别增长 13.6%、42.9%、

51.3%，碰碰香分别增长 28.9%、42.9%、20.4%；游离氨基酸则是土培组较高，土培组排草香、碰碰香的游离氨基酸含量分别比雾培组增加 16.0%、44.9%。雾培组的硝酸盐含量比土培组要高，雾培组排草香、碰碰香分别是土培组的 3.76 倍、3.58 倍。此结果也与丁一^[14]、凌敏^[15]等人得出的结论一致：生物量明显提高的同时营养品质也更高。

3.4 对于药用品质来说，土培组总黄酮含量极显著高于雾培组，排草香增加 186.4%，碰碰香增加 277.5%；雾培组与土培组抗氧化能力无明显差异。Hayden^[16]对塔银莲（*Anemopsis californica*）进行对比种植发现，雾培塔银莲根中 5 种有效药用成分的含量均低于土培组，再次验证了气雾栽培在药用品质方面不具优势。笔者推测可能是因为充足的水分和营养并不利于有效活性成分的积累，而适当的干旱则有利于提高某些药用植物有效成分含量，如中度干旱处理有利于丹参根系中丹参素和丹参酮 A 的积累^[17]。

3.5 药用植物的栽培与传统农作物栽培有所不同，其最适生长条件与其次生代谢产物的合成对生态环境要求在某些方面互相冲突，大部分研究认为不利于植物生长的胁迫环境却有利于药用植物次生代谢产物的积累，产量和质量无法在生产中得到统一保证^[18-19]，因此，在接下来的研究中可依据药用植物的生长特点，提供具有环境胁迫的次适宜条件来兼顾生物量和次生代谢产物积累之间的平衡，不同种类的药用植物采用不同的雾培条件，如不同的营养液供给、水分供给、光照时间等，为中药材高效培育提供一条新的途径。

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] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [3] 李锡香. 新鲜果蔬的品质及其分析法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [4] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72 (1-2): 248-254.
- [5] XU QL, XIE HH, WU P, et al. Flavonoids from the capitula of *Eriocaulon australe*[J]. Food Chemistry, 2013, 139(1): 149-154.
- [6] TADOLINI B, JULIANO C, PIU L, et al. Resveratrol inhibition of lipid peroxidation[J]. Free Radical Research, 2000, 33(1): 105-114.
- [7] BENZIE I J J, STRAIN J J. Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration[J]. Methods in Enzymology, 1999, 299: 15-27.
- [8] 姚其盛, 王洪峰, 高帅, 等. 两种培育方式对辣木苗生长的影响[J]. 广东林业科技, 2012, 28(1): 57-60.
- [9] 安娜, 须晖, 孙周平, 等. 雾培番茄不同营养液配方的生产效果比较[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3): 495-497.
- [10] 李永华. 宁夏马铃薯脱毒微型薯气雾栽培技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [11] 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.
- [12] PAGLIARULO C L, HAYDEN A L, GIACOMELLI G A. Potential for greenhouse aeroponic cultivation of *Urtica dioica*[J]. Acta Horticulturae (ISHS), 2004, 659: 61-66.
- [13] 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.
- [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] 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.
- [16] HAYDEN A L. Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome, and root crops[J]. HortScience, 2006, 41(3): 536-538.
- [17] 高扬. 不同土壤水分对丹参耗水特性及有效成分含量的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- [18] 苏文华, 张光飞, 李秀华, 等. 植物药材次生代谢产物的积累与环境的关系[J]. 中草药, 2005(9): 139-142.
- [19] 高健敏. 气雾栽培条件下四种香料植物扦插、生长及品质研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2015.