

王 涛, 黄语燕, 陈永快, 等. 不同复配基质对南方设施金线莲生长及品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(3): 141–148.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.03.023

不同复配基质对南方设施金线莲生长及品质的影响

王 涛¹, 黄语燕¹, 陈永快¹, 兰 婕¹, 张剑亮², 康育鑫¹

(福建省农业科学院数字农业研究所, 福建福州 350003; 2. 龙岩草韵堂农业科技发展有限公司, 福建龙岩 364214)

摘要:探索南方温室大棚室内金线莲无土栽培最优基质配方, 为福建设施金线莲规模化无土栽培提供理论依据。以“红霞”金线莲为供试材料, 以常规栽培基质草炭、珍珠岩、蛭石作为材料, 通过不同混配方式, 研究金线莲栽培前后不同配方的理化性质、金线莲生长及养分的差异, 明确不同配方对金线莲生长、生理及有效成分的影响。经过 7 个多月的栽培, 基质的理化性质总体呈现容重及通气孔隙度下降的趋势, 总孔隙度、持水孔隙度及 EC 值呈上升趋势, 但 pH 值变化无规律性。配方 T₆ (草炭: 蛭石 = 3 : 1) 在株高、根数、节间距、地上部鲜质量、地上部干质量、地下部干质量方面表现优于 CK, 其中株高较 CK 显著增加 18.44%, 根数和节间距分别较 CK 增加 6.26%、12.10%, 地上部鲜质量、地上部干质量和地下部干质量分别较 CK 提高 34.94%、41.06%、12.70%; 单位面积产量最高, 较 CK 增加了 23.54%, 同时可节省成本约 2 025 元/667 m²。配方 T₂ 在根长、节间数、最大叶面积和地下部鲜质量方面优于 CK, 较 CK 分别提高 14.65%、12.51%、31.00%、12.14%, 单位面积产量次于配方 T₆, 较 CK 增加了 16.23%, 可节省成本约 3 240 元/667 m²。草炭: 蛭石 = 3 : 1 (体积比) 为设施内金线莲栽培最优配方, 合理的配方能够为金线莲提供良好的根际环境, 提高其生物量的积累。

关键词:金线莲; 基质; 生长; 生理; 品质; 无土栽培

中图分类号:S682.310.4

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2022)03-0141-08

金线莲 [*Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl.] 为兰科开唇兰属的一种多年生草本植物, 主要分布在我国福建、浙江、江西以及台湾等地区^[1]。作为一种名贵药用植物, 可以全草入药, 富含多糖、

黄酮类、氨基酸、生物碱等成分, 具有抗衰老、增强人体免疫力等作用, 还被用于预防和治疗糖尿病、高脂血症、肝炎、肿瘤等疾病^[2-4], 其中特有的金线莲苷成分具有修复受损胰岛细胞并恢复正常胰岛素分泌的作用^[5]。金线莲喜阴凉及潮湿的环境, 其生长最适温度为 20~28℃, 低于 10℃ 时生长速度缓慢, 高于 30℃ 时会产生高温胁迫, 影响其生长^[6]。目前, 金线莲人工栽培主要有林下栽培和大棚设施栽培 2 种模式, 其中大棚设施金线莲栽培上鲜有针对无土基质配方的报道, 不同配方基质理化性质对金线莲生长及营养成分的影响需要进一步

收稿日期: 2021-06-02

基金项目: 南方丘陵农情监测科技创新团队 (编号: CXTD2021012-3); 福建省农业科学院一般项目 (编号: Sfjd1941)。

作者简介: 王 涛 (1992—), 男, 福建福州人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为设施农业。E-mail: 793831167@qq.com。

通信作者: 陈永快, 硕士, 副研究员, 主要从事设施农业、数字农业研究。E-mail: stonecyk@126.com。

[17] Hameed A, Goher M, Iqbal N. Drought induced programmed cell death and associated changes in antioxidants, proteases, and lipid peroxidation in wheat leaves[J]. *Biologia Plantarum*, 2013, 57(2): 370–374.

[18] 王 帅. 设施葡萄延迟栽培叶片衰老生理及抗衰老技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.

[19] 李 田. 外源赤霉素和抗坏血酸对厚皮甜瓜坐果节位叶片早衰的调控机理研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2018.

[20] 曲亚英, 常 涛, 陶兴林, 等. 外源激素处理对甜椒生长发育及后期植株衰老的影响[J]. *北方园艺*, 2008(7): 4–7.

[21] Tewari R K, Singh P K, Watanabe M. The spatial patterns of oxidative stress indicators co-locate with early signs of natural

senescence in maize leaves[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2013, 35(3): 949–957.

[22] Bieker S, Riester L, Stahl M, et al. Senescence-specific alteration of hydrogen peroxide levels in *Arabidopsis thaliana* and oilseed rape spring variety *Brassica napus* L. cv. Mozart[J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2012, 54(8): 540–554.

[23] Dai H P, Zhang P P, Lu C, et al. Leaf senescence and reactive oxygen species metabolism of broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) under drought condition[J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2011, 5(12): 1655–1660.

[24] 徐 践, 程玉琴. 园艺植物生物学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.

明确。吴显芝等研究发现,基质配方营养土:黄壤土=3:1(体积比)于林下育苗盆种植金线莲,效果最佳^[7];童晨晓等研究发现,70% 泥炭土+30% 废菌棒+木醋液处理的金线莲生长状况最佳,且维生素 C、黄酮、多糖、总酚、游离氨基酸等含量均优于纯泥炭土栽培^[8];朱建军等研究发现,基质配比为泥炭:河沙:花生壳=4:2:2 时,3 种不同品种金线莲移栽存活率最高且株高、径粗、植株鲜质量、最长根长度、根直径达到最大值^[9]。甘金佳等利用 8 种栽培基质进行金线莲栽培测试,发现不同栽培基质可明显影响金线莲的成活率,其中堆沤发酵后的木糠为最佳栽培基质^[10]。金线莲作为一种高附加值的药用作物,近年来研究越来越多,但是系统性的从基质配方研究的相对较少,大部分研究仅停留在成活率及生长性状等方面。金线莲经济价值高,但植株矮小,根系不发达且生产缓慢,对环境要求高,且金线莲种子不具胚乳,需与真菌共生才能实现种子萌发生长^[11];加上外界人为采摘及虫兽捕食等原因,导致全国范围内的野生金线莲均处于资源匮乏状态^[12]。为了能够稳定地进行金线莲设施规模化生产,试验以南方温室大棚室内无土栽培的金线莲为研究对象,采用不同栽培基质进行混配,在设施大棚环境内进行金线莲栽培生长测试研究,探索栽培前后不同配方的理化性质、金线莲生长性状及养分含量的差异,明确不同栽培基质对其生长及养分积累的影响,为福建省设施金线莲无土栽培基质配方提供依据和参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以“红霞”金线莲为供试材料,由龙岩市三禾农业科技有限公司提供。以草炭、珍珠岩、蛭石作为复配基质材料。草炭采用德国 K 牌草炭土,珍珠岩(0~10 mm)和蛭石(0~5 mm)购自众耕(厦门)农业科技有限公司。栽培穴盘采用 45 cm×45 cm×10 cm 的塑料正方形育苗盘,购自福州市仓山区护花使者园艺资材商行。

1.2 试验方法

试验于 2020 年 2 月 4 日至 9 月 25 日在福建省农业科学院薄膜小温室和生理生化实验室内进行。基质混配时间为 2 月 4 日,金线莲定植时间为 2 月 5 日。试验共设 8 个配方,每个配方重复 10 次。将草炭与珍珠岩、蛭石以不同的体积比配成复合基质,

各配方的基质配比见表 1,以全草炭作为对照,将混配好的基质倒入正方形育苗盘内,基质高度为 5 cm,每盘内种植 81 株(9×9)金线莲,每个配方种植 10 盘,随机抽选 3 盘用于后续数据采集。

表 1 复合基质配方设计

处理	配比		
	草炭	珍珠岩	蛭石
CK	1	0	0
T ₁	1	1	0
T ₂	3	2	0
T ₃	3	1	0
T ₄	1	0	1
T ₅	3	0	2
T ₆	3	0	1
T ₇	1	1	1

金线莲栽培前,先将其组培苗放入温室内用自然光照炼苗 30 d,炼苗前 15 d 不打开瓶口,15 d 后打开组培瓶盖炼苗。2 月 5 日用小锤子将组培瓶轻轻敲碎将组培苗整批取出,用水冲洗干净,保证根部无培养基残留,随后用 1‰ 高锰酸钾稀释液浸泡全株 2 min,取出后将根部再次清洗干净后定植于育苗盘基质内。定植后置于薄膜小温室药用作物栽培区移动苗床上进行统一管理,营养液通过水肥一体化控制系统进行自动喷灌,每天 09:30、14:30 喷淋,每次喷淋 3 min,阴天仅早上喷淋 1 次,遮阳网全天开启,确保金线莲生长过程光照和养分均一致。营养液母液配方为每 200 L 水中添加 A 液:Ca(NO₃)₂ 16 kg, KNO₃ 6 kg; B 液:KH₂PO₄ 3 kg, MgSO₄ 10 kg, EDTA-Fe 460 g, MnSO₄ 120 g, ZnSO₄ 60 g, CuSO₄ 4 g, (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O 1.5 g, H₃BO₃ 60 g。在 2 月 20 日及 9 月 20 日测定基质的理化性质及金线莲形态指标、生理指标。自 2 月 20 日起,每个月测定 1 次金线莲株高和茎粗变化;9 月 20 日测定金线莲营养指标。金线莲采收时间为 9 月 20 日。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 基质的理化特性测定 容重、总孔隙度、通气孔隙度、持水孔隙度等参照连兆煌的饱和浸提法^[13]测定;pH 值采用 pH S-25 台式酸度计测定,EC 值采用 DDS-307 电导率仪测定。

1.3.2 金线莲测定项目及方法 鲜质量和干质量采用 JJ223BC 型电子天平(感量为 0.1 mg)测量;根冠比为地下部鲜质量与地上部鲜质量的比值;折干

率 = 全株干质量/全株鲜质量 × 100% ; 节间距 = 株高/节间数; 茎粗采用 MNT-200 锌合金数显游标卡尺测量, 以子叶下部节间为基准点; 株高及根长采用刻度尺进行测量, 从植株基部至主茎顶部(即主茎生长点)之间的距离为株高; 最大叶面积用 YMJ-B 型叶面积测定仪进行测量。单位面积产量 = 39 525 盘/hm² × 81 株/盘 × 单株产量 × 成活率, 其中 39 525 为 1 hm² 苗床可种植穴盘数。取样时, 每个配方分别抽取 10 株长势一致且具有代表性的金线莲, 重复 3 次。

超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)法测定, 过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定, 过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收比色法测定, 游离氨基酸含量采用茚三酮试剂显色法^[14]测定, 有机酸含量采用氢氧化钠滴定法^[15]测定, 黄酮含量采用紫外分光光度法^[16]测定, 多糖含量采用苯酚-硫酸法^[17]测定。取样时, 随机选取各配方下长势一致的金线莲, 将整株剪碎混匀后进行称量, 重复 3 次。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel、DPS 软件进行统计和

分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理配方的理化性质分析

由表 2 可知, 对于新配基质, 草炭与珍珠岩互配过程中, 随着草炭用量的增加, 基质容重及持水孔隙度呈现上升趋势, 通气孔隙度及 pH 值呈现下降趋势; 草炭与蛭石互配过程中, 随着草炭用量的增加, 容重和 pH 值呈现上升趋势, 持水孔隙度呈现下降趋势。容重指标以配方 T₆ 最高, 达到 0.335 g/cm³, 与其他配方之间存在显著差异(*P* < 0.05); 总孔隙度和 EC 值以配方 T₅ 最高, 分别为 60.831% 和 464.500 μS/cm, 均与其他配方之间存在显著差异(*P* < 0.05); 通气孔隙度及 pH 值以配方 T₁ 最高, 分别为 22.835% 和 7.095, 与其他配方存在显著差异(*P* < 0.05); 持水孔隙度以配方 T₄ 表现最佳, 为 47.074%, T₅ 次之, 与除 T₅ 外的其余配方之间存在显著差异(*P* < 0.05)。在 9 月 20 日金线莲采收后, 基质理化性质也发生了一定的变化, 其中容重及通气孔隙度下降, 总孔隙度、持水孔隙度及 EC 值上升, 而 pH 值变化无规律性。

表 2 不同处理配方的理化性质

时间 (年-月-日)	处理	容重 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	通气孔隙度 (%)	持水孔隙度 (%)	EC 值 (μS/cm)	pH 值
2020-02-20	CK	0.264 ± 0.000d	49.911 ± 0.004c	16.029 ± 0.009c	33.883 ± 0.005b	387.000 ± 2.828b	6.765 ± 0.078b
	T ₁	0.246 ± 0.000ef	47.105 ± 0.001d	22.835 ± 0.001a	24.270 ± 0.003d	279.500 ± 2.121e	7.095 ± 0.021a
	T ₂	0.252 ± 0.003de	45.799 ± 0.113e	19.874 ± 0.001b	25.925 ± 0.115d	365.000 ± 1.141c	6.480 ± 0.028c
	T ₃	0.281 ± 0.011c	47.207 ± 0.890d	12.489 ± 0.001e	34.718 ± 0.892b	316.000 ± 1.414d	6.330 ± 0.000d
	T ₄	0.235 ± 0.001f	58.731 ± 0.001b	11.657 ± 0.000e	47.074 ± 0.001a	224.500 ± 0.707f	6.120 ± 0.028e
	T ₅	0.174 ± 0.010g	60.831 ± 0.738a	14.064 ± 1.682d	46.767 ± 2.419a	464.500 ± 0.707a	6.520 ± 0.014c
	T ₆	0.335 ± 0.006a	38.773 ± 0.002g	9.665 ± 0.000f	29.108 ± 0.002c	192.100 ± 0.071g	6.515 ± 0.021c
2020-09-20	T ₇	0.309 ± 0.005b	44.430 ± 0.000f	15.665 ± 0.000c	28.765 ± 0.000c	153.600 ± 0.424h	6.170 ± 0.057e
	CK	0.309 ± 0.005b	44.430 ± 0.000f	15.665 ± 0.000c	28.765 ± 0.000c	153.600 ± 0.424h	6.170 ± 0.057e
	T ₁	0.165 ± 0.004e	69.060 ± 0.172c	10.036 ± 0.053ab	59.025 ± 0.220c	504.000 ± 39.950g	6.727 ± 0.030cd
	T ₂	0.172 ± 0.006e	63.084 ± 0.319d	10.484 ± 0.111a	52.600 ± 0.276f	529.333 ± 13.317g	7.543 ± 0.100a
	T ₃	0.192 ± 0.003d	63.579 ± 0.618d	9.101 ± 0.253b	54.478 ± 0.406d	874.667 ± 34.034d	7.097 ± 0.080b
	T ₄	0.129 ± 0.010f	74.584 ± 1.904b	9.818 ± 1.471ab	64.766 ± 0.433b	1425.333 ± 27.610b	7.043 ± 0.040b
	T ₅	0.239 ± 0.008b	76.037 ± 0.528a	10.040 ± 0.661ab	65.997 ± 0.184a	816.000 ± 25.357e	6.453 ± 0.060e
	T ₆	0.213 ± 0.003c	75.257 ± 0.067ab	9.626 ± 0.115ab	65.632 ± 0.182a	967.333 ± 28.308c	6.810 ± 0.160c
	T ₇	0.305 ± 0.003a	63.521 ± 0.046d	10.054 ± 0.113ab	53.466 ± 0.141e	610.333 ± 4.163f	6.737 ± 0.070cd

注: 相同日期同列数值后不同小写字母表示处理间差异显著(*P* < 0.05)。下表同。

2.2 不同处理配方对金线莲形态指标的影响

2.2.1 不同处理配方对金线莲株高的影响 由图 1 可知, 金线莲的株高在 2—8 月间增长较低, 而 8—

9 月间增长相对较快。金线莲生长速度缓慢, 试验期间株高仅从 6.83 ~ 7.57 cm 增加到 8.97 ~ 11.13 cm, 仅增加了 1.80 ~ 3.57 cm。至采收时期, 配

方 T₆ 株高表现最佳,达到 11.13 cm,与除 T₂ 和 T₄ 外的配方之间存在显著差异($P < 0.05$),而配方 T₁、T₂、T₄、T₇、CK 之间差异不显著。至采收时期,金线莲株高表现为 T₆ > T₂ > T₄ > T₅ > CK > T₁ > T₇ > T₃。

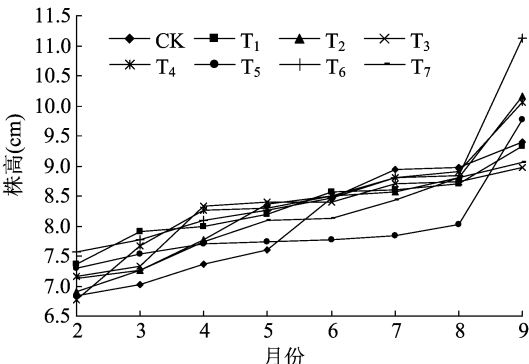


图1 不同处理配方下金线莲株高变化

2.2.2 不同处理配方对金线莲茎粗的影响 由图 2 可知,金线莲茎粗在 2—8 月间从 2.33 ~ 2.99 mm 增长至 3.37 ~ 4.71 mm。栽培初期(2—3 月)及 8—9 月之间,茎粗涨幅较大,而 3—8 月间涨幅较小。至采收期时,配方 T₃ 茎粗表现最佳,配方 T₆ 次之,配方 T₃ 与除配方 T₆ 外的各个配方之间存在显著差异($P < 0.05$)。至采收期时,金线莲茎粗表现为 T₃ > T₆ > T₂ > T₁ > T₅ > T₄ > T₇ > CK。

2.2.3 不同处理配方对金线莲农艺性状指标的影响 由表 3 可知,经过 15 d 的种植后,金线莲成活率均达到 100%;至采收期,金线莲的成活率虽出现

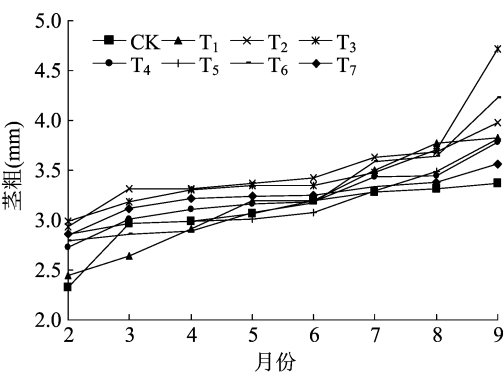


图2 不同处理配方下金线莲茎粗变化

了略微下降,但均高于 90%,其中以 CK 和配方 T₃ 成活率最高,但各个配方之间无显著差异。金线莲节间数栽培初期仅为 3~4 节,采收时为 5~6 节,平均增加 2 节,其中配方 T₂ 采收时节间数最多,为 6 节,与配方 T₅、T₇ 间存在显著差异($P < 0.05$)。节间距栽培初期为 1.460 ~ 2.106 cm,采收时为 1.694 ~ 1.986 cm,节间距与作物徒长存在一定的相关性,除 CK 和配方 T₁、T₂ 节间距下降,其余配方节间距均增加,但各个配方之间均无显著差异。最大叶面积方面,栽培初期,其范围为 2.927 ~ 4.124 cm²,而采收时可达 4.746 ~ 8.177 cm²,以配方 T₂ 表现最佳,与除配方 T₆ 外的各个配方之间存在显著差异($P < 0.05$)。根长方面,栽培初期仅为 3.233 ~ 4.067 cm,采收期基本达到 9.400 ~ 12.000 cm,其中配方 T₂ 表现最佳,但无论是栽培初期还是采收期各个配方之间

表 3 不同处理配方下对金线莲成活率及农艺性状指标的影响

时间 (年-月-日)	处理	成活率 (%)	节间数 (节)	节间距 (cm)	最大叶面积 (cm ²)	根长 (cm)	根数 (条)
2020-02-20	CK	100	3.000 ± 0.000b	2.106 ± 0.484a	3.366 ± 0.938abc	3.533 ± 0.586a	4.000 ± 0.000a
	T ₁	100	3.000 ± 0.000b	2.006 ± 0.106ab	2.927 ± 0.660c	3.333 ± 0.153a	4.333 ± 0.577a
	T ₂	100	4.333 ± 0.577a	1.897 ± 0.160abc	3.908 ± 0.755abc	3.600 ± 0.346a	4.000 ± 0.000a
	T ₃	100	4.000 ± 0.000ab	1.561 ± 0.162bc	4.059 ± 0.652ab	3.733 ± 0.929a	4.000 ± 0.000a
	T ₄	100	4.000 ± 1.000ab	1.692 ± 0.163abc	4.124 ± 0.245a	4.067 ± 0.116a	4.000 ± 0.000a
	T ₅	100	4.667 ± 0.577a	1.460 ± 0.087c	2.970 ± 0.426bc	3.233 ± 0.252a	4.000 ± 0.000a
	T ₆	100	4.333 ± 0.577a	1.547 ± 0.263c	3.300 ± 0.228abc	3.433 ± 0.208a	4.000 ± 1.000a
	T ₇	100	4.000 ± 1.000ab	1.548 ± 0.245c	3.417 ± 0.143abc	3.367 ± 0.231a	4.333 ± 0.577a
2020-09-20	CK	96.296 ± 6.415a	5.333 ± 0.577ab	1.771 ± 0.156a	6.242 ± 0.737cd	10.467 ± 1.457a	5.333 ± 0.577ab
	T ₁	94.650 ± 9.266a	5.333 ± 0.577ab	1.756 ± 0.077a	5.337 ± 0.453de	9.633 ± 0.569a	5.333 ± 0.577ab
	T ₂	93.827 ± 10.692a	6.000 ± 0.000a	1.694 ± 0.187a	8.177 ± 0.590a	12.000 ± 2.022a	5.333 ± 0.577ab
	T ₃	96.296 ± 6.415a	5.333 ± 0.577ab	1.948 ± 0.355a	6.785 ± 0.337bc	10.167 ± 1.222a	4.333 ± 0.577b
	T ₄	93.416 ± 11.405a	5.333 ± 0.577ab	1.897 ± 0.145a	5.657 ± 0.073de	11.233 ± 0.851a	4.333 ± 0.577b
	T ₅	94.650 ± 9.266a	5.000 ± 0.000b	1.953 ± 0.141a	5.864 ± 0.623d	9.400 ± 1.819a	4.333 ± 0.577b
	T ₆	94.650 ± 9.266a	5.667 ± 0.577ab	1.986 ± 0.313a	7.395 ± 0.573ab	11.600 ± 1.552a	5.667 ± 0.577a
	T ₇	90.947 ± 15.681a	5.000 ± 0.000b	1.813 ± 0.070a	4.746 ± 0.318e	10.733 ± 2.160a	4.667 ± 0.577ab

均无显著差异。根数方面,栽培初期,各个配方根数均为 4 条,且各个配方无显著差异,到了采收期,根数在 4.333 ~ 5.667 条,其中配方 T₆ 表现最佳,与配方 T₃、T₄、T₅ 之间存在显著差异($P < 0.05$)。

2.2.4 不同处理配方对金线莲质量、折干率及根冠比的影响 由表 4 可知,栽培初期,金线莲地上部鲜质量为 0.868 ~ 1.276 g,其中以配方 T₂ 表现最佳,与 CK 和配方 T₁ 间存在显著差异($P < 0.05$)。采收期时,地上部鲜质量为 2.223 ~ 3.665 g,其中以配方 T₆ 表现最佳,与除配方 T₂、T₃ 外的其余配方存在显著差异($P < 0.05$);配方 T₇ 的地上部鲜质量含量最低,与配方 T₆ 相差 1.442 g。地下部鲜质量及干质量在栽培初期及采收期,各配方间均无显著差异;

地上部干质量在栽培初期以配方 T₂ 表现最佳,可达 0.140 g,与 CK、配方 T₁ 及 T₅ 间存在显著差异($P < 0.05$);采收期时,配方 T₆ 表现最佳,可达 0.371 g,与除配方 T₂、T₃ 外的各配方间存在显著差异($P < 0.05$);配方 T₇ 地上部干质量含量依旧最低,仅为 0.233 g。折干率在栽培初期为 9.120% ~ 10.867%,其中以配方 T₅ 表现最佳,配方 T₂ 次之,CK 表现最差;采收期折干率为 9.546% ~ 11.933% 之间,以配方 T₃ 表现最佳,与除配方 T₆、T₇ 外的各配方存在显著差异($P < 0.05$);配方 T₁ 最低,仅为 9.546%。根冠比在金线莲栽培过程中呈现下降的趋势,栽培初期为 0.610 ~ 1.090,栽培后期为 0.349 ~ 0.588,且各配方间无显著差异。

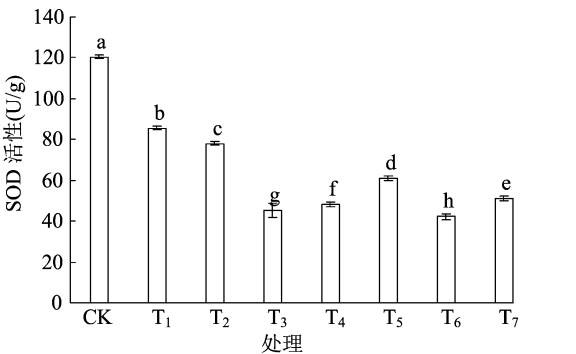
表 4 不同处理配方下对金线莲鲜干质量、折干率及根冠比的影响

时间 (年-月-日)	处理	地上部鲜质量 (g)	地下部鲜质量 (g)	地上部干质量 (g)	地下部干质量 (g)	折干率 (%)	根冠比
2020-02-20	CK	0.884 ± 0.206b	0.880 ± 0.138a	0.094 ± 0.041b	0.069 ± 0.015a	9.120 ± 1.066c	0.810 ± 0.335ab
	T ₁	0.868 ± 0.249b	0.650 ± 0.126a	0.087 ± 0.022b	0.067 ± 0.006a	10.210 ± 0.786ab	0.790 ± 0.125ab
	T ₂	1.276 ± 0.220a	0.820 ± 0.056a	0.140 ± 0.023a	0.084 ± 0.005a	10.673 ± 0.250a	0.610 ± 0.108b
	T ₃	1.115 ± 0.296ab	0.870 ± 0.110a	0.114 ± 0.033ab	0.072 ± 0.012a	9.293 ± 0.323bc	0.647 ± 0.110ab
	T ₄	0.976 ± 0.077ab	0.906 ± 0.175a	0.098 ± 0.005ab	0.093 ± 0.017a	10.170 ± 0.409ab	0.940 ± 0.147ab
	T ₅	0.920 ± 0.071ab	0.727 ± 0.234a	0.087 ± 0.009b	0.092 ± 0.032a	10.867 ± 0.347a	1.090 ± 0.494a
	T ₆	0.989 ± 0.150ab	0.938 ± 0.172a	0.104 ± 0.017ab	0.085 ± 0.012a	9.817 ± 0.208abc	0.817 ± 0.067ab
	T ₇	1.035 ± 0.166ab	0.705 ± 0.184a	0.110 ± 0.017ab	0.066 ± 0.016a	10.090 ± 0.416abc	0.617 ± 0.172b
2020-09-20	CK	2.716 ± 0.339bc	1.071 ± 0.411a	0.263 ± 0.030bc	0.126 ± 0.029a	10.314 ± 0.474bc	0.487 ± 0.129a
	T ₁	2.610 ± 0.669bc	0.977 ± 0.241a	0.243 ± 0.075bc	0.104 ± 0.039a	9.546 ± 1.136c	0.425 ± 0.067a
	T ₂	3.316 ± 0.728ab	1.201 ± 0.176a	0.307 ± 0.068abc	0.126 ± 0.008a	9.600 ± 0.063c	0.425 ± 0.092a
	T ₃	3.004 ± 0.134abc	0.804 ± 0.076a	0.327 ± 0.028ab	0.127 ± 0.010a	11.933 ± 0.692a	0.389 ± 0.017a
	T ₄	2.642 ± 0.308bc	1.009 ± 0.127a	0.248 ± 0.030bc	0.133 ± 0.027a	10.445 ± 0.753bc	0.541 ± 0.105a
	T ₅	2.774 ± 0.161bc	0.710 ± 0.076a	0.271 ± 0.007bc	0.094 ± 0.006a	10.490 ± 0.607bc	0.349 ± 0.024a
	T ₆	3.665 ± 0.576a	1.094 ± 0.483a	0.371 ± 0.069a	0.142 ± 0.041a	10.787 ± 0.337abc	0.402 ± 0.171a
	T ₇	2.223 ± 0.087c	0.980 ± 0.398a	0.233 ± 0.008c	0.135 ± 0.076a	11.434 ± 0.953ab	0.588 ± 0.347a

2.3 不同处理配方对金线莲生理指标的影响

由图 3 可知,金线莲采收时 SOD 活性为 42.196 ~ 120.459 U/g,其中 CK 的 SOD 活性最高,配方 T₁ 次之,配方 T₆ 活性最低,两者之间相差 1.85 倍,且各配方间均存在显著差异($P < 0.05$)。SOD 活性表现为 CK > T₁ > T₂ > T₅ > T₇ > T₄ > T₃ > T₆。

由图 4 可知,金线莲采收时 POD 活性为 0.882 ~ 9.719 U/(g · min),其中以配方 T₁ 最高,它与其余配方之间存在显著差异($P < 0.05$);CK 和配方 T₇ 次之,而配方 T₃ 最低,它与除配方 T₅ 外的各个配方间也存在显著差异($P < 0.05$)。POD 活性表现为 T₁ > T₇ > CK > T₂ > T₄ > T₆ > T₅ > T₃。



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下图同图3 不同处理配方下对采收时金线莲 SOD 活性的影响

由图 5 可知,金线莲采收时 CAT 活性为 1.243 ~ 5.385 U/(g · min),配方 T₆ 最高,与除配方 T₅ 和 T₇

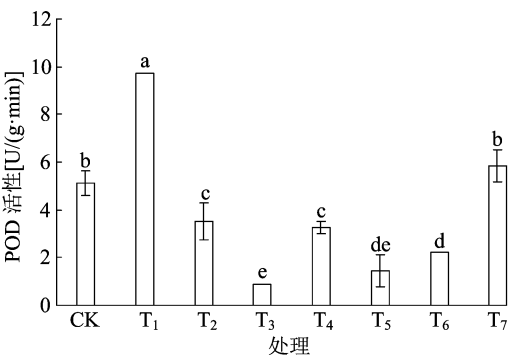


图4 不同处理配方下对采收时金线莲 POD 活性的影响

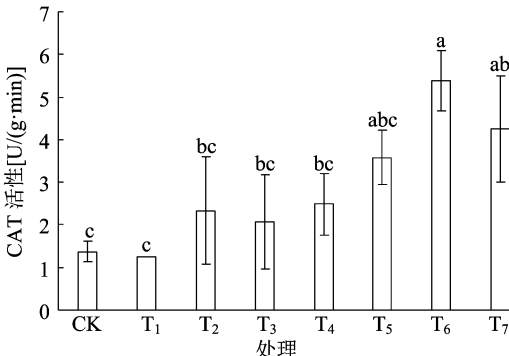


图5 不同处理配方下对采收时金线莲 CAT 活性的影响

外的其余配方间存在显著差异($P < 0.05$);CK 和配方 T_1 最低。CAT 活性表现为 $T_6 > T_7 > T_5 > T_4 > T_2 > T_3 > CK > T_1$ 。

2.4 不同处理配方对金线莲品质指标的影响

由表 5 可知,金线莲游离氨基酸含量为 19.878 ~ 29.415 mg/100 g,其中配方 T_7 含量最高,与其余配方均存在显著差异($P < 0.05$),比含量最低的配方 T_3 高 47.98%。有机酸含量为 0.020% ~ 0.025%,随着草炭使用比例增加而呈上升趋势,以配方 T_6 含量最高,与除 CK 外的其他配方存在显著差异($P < 0.05$);配方 T_1 含量最低,与其余配方也存在显著差异。黄酮含量为 6.028 ~ 14.824 mg/g,以 CK 含量最高,配方 T_7 次之,2 个配方与其余配方存在显著差异($P < 0.05$);配方 T_2 的黄酮含量最低,也与其他配方之间存在显著差异($P < 0.05$)。多糖含量为 36.424 ~ 53.742 mg/g,配方 T_5 含量最高,与其余配方存在显著差异($P < 0.05$),比含量最低的配方 T_4 高 47.55%。

表 5 不同处理配方下对金线莲品质指标的影响(2020 年 9 月 20 日)

处理	游离氨基酸含量 (mg/100 g)	有机酸含量 (%)	黄酮含量 (mg/g)	多糖含量 (mg/g)
CK	21.278 ± 0.793c	0.025 ± 0.000ab	14.824 ± 0.671a	39.478 ± 0.639e
T_1	20.052 ± 0.524d	0.020 ± 0.001e	12.451 ± 0.344b	40.512 ± 0.635d
T_2	22.056 ± 0.299bc	0.023 ± 0.000d	6.028 ± 0.488e	40.352 ± 0.633d
T_3	19.878 ± 0.302d	0.023 ± 0.000d	11.615 ± 0.316b	42.161 ± 0.368c
T_4	22.450 ± 0.603b	0.023 ± 0.000d	10.501 ± 0.857c	36.424 ± 0.368f
T_5	22.753 ± 0.602b	0.024 ± 0.001cd	9.302 ± 0.428d	53.742 ± 0.367a
T_6	21.754 ± 0.798bc	0.025 ± 0.001a	9.074 ± 0.912d	49.076 ± 0.367b
T_7	29.415 ± 0.300a	0.024 ± 0.001bc	14.410 ± 0.344a	42.629 ± 0.367c

2.5 不同处理配方对金线莲产量的影响

由表 6 可知,金线莲单株产量为 3.204 ~ 4.759 g,其中以配方 T_6 单株产量最高,与除配方 T_2 外的其余处理存在显著差异($P < 0.05$),比最低配方的 T_7 提高了 48.53%。单位面积产量建立在单株产量及成活率的基础上,本次试验中配方 T_6 的产量最高,与配方 T_1 、 T_4 、 T_5 、 T_7 存在显著差异($P < 0.05$),在草炭与珍珠岩混配过程中以草炭添加含量 60% 效果最佳,在草炭与蛭石混配过程中以草炭添加量 75% 效果最佳,草炭、珍珠岩、蛭石三者混配效果最差。草炭与珍珠岩及蛭石单一混配时,添加不超过 40% 珍珠或不超过 25% 蛭石效果优于纯草炭栽培。单位面积基质成本以全草炭最高,通过添加珍珠岩

表 6 不同处理配方下对金线莲产量及成本的影响(2020 年 9 月 20 日)

处理	单株产量 (g)	单位面积产量 (kg/667 m ²)	单位面积基质 成本(元/667 m ²)
CK	3.787 ± 0.503bc	778.292 ± 103.388abc	16 200
T_1	3.587 ± 0.862bc	724.718 ± 174.293bc	12 150
T_2	4.517 ± 0.780ab	904.663 ± 156.227ab	12 960
T_3	3.809 ± 0.171bc	782.814 ± 35.114abc	14 175
T_4	3.650 ± 0.328bc	727.826 ± 65.346bc	12 150
T_5	3.485 ± 0.140c	703.977 ± 28.335c	12 960
T_6	4.759 ± 0.431a	961.487 ± 86.989a	14 175
T_7	3.204 ± 0.398c	621.884 ± 77.273c	10 800

和蛭石可以相应地降低生产成本。

3 讨论

3.1 不同基质配方对金线莲生长的影响

栽培基质是影响金线莲栽培成活的关键环节之一,其配比及理化性质的差异能够对金线莲生长及有效成分的积累造成一定的影响。金线莲一般生长于温凉潮湿环境及富含腐殖质较多的土壤当中^[18],因此要求基质需具备疏松透气、具有一定保水保肥且排水性能好等特点,且无病菌和虫害潜藏为宜^[19]。本研究表明,在栽培初期通过在基质中添加一定量的珍珠岩及蛭石,可以降低复配基质中容重含量,增加通气孔隙度,但添加珍珠岩会降低持水孔隙度、提升 pH 值,而添加蛭石会增加持水孔隙度含量、降低 pH 值。栽培结束后,容重及通气孔隙度下降,总孔隙度、持水孔隙度及 EC 值上升,但 pH 值变化无规律性。因此,可以通过添加珍珠岩及蛭石作为辅料,用于调节基质的理化性质,使其更适合金线莲根系生长。

生物量是用于判断作物是否存活及移栽后生长状况的重要指标,也是评价药材栽培品质的重要指标。通过测定金线莲生物量及主要的农艺性状,探索不同复配基质对金线莲生长的影响^[20]。本研究表明,金线莲生长速度较为缓慢,尤其是株高,从定植至采收期,仅增加 1.80 ~ 3.57 cm,与陶子曦在林下仿野生栽培金线莲得到的结论^[21]相似。成活率是基质栽培的先决条件,魏翠华等利用泥炭土作为主基质种植金线莲,发现可以增加金线莲组培苗移栽的成活率^[22],本试验所使用的 7 种基质配方金线莲存活率均高于 90%,与其结果相一致。但是从节间数、节间距、最大叶面积、根数及根长等农艺指标上来看,各配方存在一定的差异性,总体来看配方 T₂ 和配方 T₆ 表现最佳。本试验地上部鲜质量及干质量以配方 T₆ 表现最佳,配方 T₂ 和 T₃ 次之,而地下部鲜质量及干质量无明显差异。折干率与产量有较大的相关性,因此在中草药栽培中具有重要的指导意义^[23]。本次试验表明,栽培初期至采收期金线莲折干率基本上呈现上升趋势,但是前后差异不大,但各配方间有一定的差异性,其中配方 T₃ 最佳,配方 T₆ 和 T₇ 次之。由上述的各农艺性状总体来看,配方 T₆ 植株生长最好,配方 T₂、T₃、T₇ 较佳,说明在主基质草炭为金线莲提供所需养分的基础上,添加珍珠岩、蛭石能够调节基质的孔隙度,减少基质板结,这与张丽萍的结论^[24]相一致。

3.2 不同基质配方对金线莲生理及品质的影响

SOD、CAT 及 POD 是植物抗氧化保护系统的重要组成部分,能够清除活性氧,保证细胞正常的生理功能^[25]。本研究 SOD 活性以 CK 和配方 T₁ 较高,POD 活性以 CK、配方 T₁ 及 T₇ 较高,而 CAT 活性以配方 T₆ 和 T₇ 较高,说明这 4 种配方下金线莲抗逆性较强。参照采收时基质的理化性质可以发现,4 种配方容重及通气孔隙度较高,EC 值及 pH 值相对较低,而 CK 的总孔隙度、持水孔隙度、EC 值及 pH 值更是所有配方数值中最低的,说明金线莲生长过程中基质质量不宜过大,保水保肥及透气性能要好,且酸碱度需适中为佳。

黄酮类化合物是作物次级代谢产物,种类繁多且结构复杂,具有抗氧化、抗肿瘤、保肝及治疗糖尿病等作用^[26-27]。本研究表明,在草炭中单一添加珍珠岩或蛭石作为辅料时,使用比例不超过 50% 金线莲中黄酮含量积累最多。多糖是一种天然的抗氧化剂,能有效清除氧自由基和抑制脂质过氧化,具有抗糖尿病、抗致癌和降血脂等作用^[28]。本研究表明,配方 T₃ 多糖含量最高,配方 T₆ 次之,说明在草炭中添加不超过 40% 的蛭石能够有效促进金线莲中多糖含量的积累。有机酸是一种含羧基的化合物,同样具有抗氧化、抗癌、护肝和提高免疫力的作用^[29]。本研究发现金线莲有机酸含量较低,为 0.020 ~ 0.025%,其中以配方 T₆ 含量最高。游离氨基酸是一类非蛋白质氨基酸,可直接被人体吸收,具有调节生物体生长发育和组织修复更新等作用^[30-31]。本研究表明,配方 T₇ 游离氨基酸含量最高,配方 T₁ 和 T₃ 含量最低,说明在草炭中添加蛭石对游离氨基酸的积累优于添加珍珠岩的处理,可能是因为珍珠岩质地轻,且不保水,因此对金线莲游离氨基酸的积累产生了一定的阻碍作用。

3.3 不同基质配方的效益分析

产量是衡量试验是否成功的最主要指标之一,本研究表明,金线莲单株产量为 3.204 ~ 4.759 g,配方 T₆ 的单位面积产量最高,其次是配方 T₂,较 CK 分别增加了 23.54%、16.23%,说明在草炭基质中添加珍珠岩及蛭石能够有效提高金线莲产量,其中蛭石最佳添加比例为 25%,珍珠岩最佳添加比例为 40%。目前福建省市面上草炭价格约 600 元/m³,珍珠岩和蛭石约 300 元/m³,667 m² 用基质约 27 m³,具体基质使用成本可见表 6,通过搭配珍珠岩和蛭石,可以降低纯草炭栽培的基质成本,以产量最高的配方

T₆ 为例,可节省成本约 2 025 元/667 m²,产量次之的配方 T₂ 则可以节省成本约 3 240 元/667 m²。

4 结论

研究表明,在设施大棚金线莲无土栽培中,在主基质草炭中添加 40% 比例的珍珠岩或者添加 25% 比例的蛭石,产量优于全草炭栽培,其中产量最优配方为草炭:蛭石=3:1(体积比)。金线莲根系生长弱,因此对基质的理化要求高,通过在草炭中添加珍珠岩及蛭石,不仅可以调节复配基质中容重、各孔隙度等理化性质,防止基质栽培后期出现板结,还能够有效降低基质成本,提升经济效益。本试验主要集中在复配基质理化性质差异对金线莲生长及品质的影响,后续研究将以本次筛选出的配方进一步开展人工光源对金线莲主要成分的反应及新型栽培模式等相关试验。

参考文献:

- [1]李瑞姿,林 军,汪厦霞,等. 基于不同栽培阶段金线莲的代谢组学分析[J]. 中国中药杂志,2017,42(23):4624-4630.
- [2]Cui S C, Yu J E, Zhang X H, et al. Antihyperglycemic and antioxidant activity of water extract from *Anoectochilus roxburghii* in experimental diabetes[J]. Experimental and Toxicologic Pathology, 2013,65(5):485-488.
- [3]Shao Q S, Deng Y M, Liu H B, et al. Essential oils extraction from *Anoectochilus roxburghii* using supercritical carbon dioxide and their antioxidant activity[J]. Industrial Crops and Products, 2014, 60: 104-112.
- [4]甘金佳,毛玲莉,黄容乐,等. 不同栽培方式对金线莲生长状况和品质的影响[J]. 中国农业科技导报,2018,20(7):130-136.
- [5]Ito A, Kasai R, Yamasaki K, et al. Aliphatic and aromatic glucosides from *Anoectochilus koshunensis* [J]. Phytochemistry, 1993, 33(5): 1133-1137.
- [6]林江波,王伟英,邹 晖,等. 金线莲大棚栽培技术[J]. 福建农业科技,2017(8):45-46.
- [7]吴显芝,杨顺刚. 不同栽培模式、不同栽培基质对金线莲组培苗生长的影响[J]. 种子,2020,39(4):146-149.
- [8]童晨晓,邹双全,胡 坤,等. 废菌棒替代泥炭土对金线莲生长和品质的影响[J]. 江西农业大学学报,2020,42(5):915-922.
- [9]朱建军,黄雨佳,金建红,等. 不同栽培基质对金线莲 3 种基原植物生长及其活性成分含量的影响[J]. 中国中药杂志,2019,44(12):2467-2471.
- [10]甘金佳,蒋水元,李 虹,等. 不同栽培基质对金线莲生长和主要活性成分的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(14):112-

- 114.
- [11]汤珥琳. 福建省金线莲产业化现状及市场开发策略分析[D]. 福州:福建农林大学,2016.
- [12]梅少苹,吕鉴泉,张恒铭,等. 半仿生-微波组合技术提取金线莲多糖的研究[J]. 嘉应学院学报,2017,35(8):56-60.
- [13]连兆煌. 无土栽培原理与技术[M]. 北京:中国农业出版社,1994:26-27.
- [14]王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2006.
- [15]曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007.
- [16]李稳宏,王 锋,李多伟,等. 银杏不同部位中黄酮含量分析方法研究[J]. 食品科学,2005,26(12):187-189.
- [17]张锦奎,吴晓珊,朱善岚,等. 金线莲多糖苯酚-硫酸法测定条件的优化[J]. 中国医院药学杂志,2010,30(2):113-116.
- [18]陈 裕,林坤瑞,管其宽,等. 金线莲生物学特性及生境特点的研究[J]. 亚热带植物通讯,1994,23(1):18-24.
- [19]邵清松,周爱存,黄瑜秋,等. 不同移栽条件对金线莲组培苗成活率及生长的影响[J]. 中国中药杂志,2014,39(6):955-958.
- [20]Stolarski M J, Śnieg M, Krzyżaniak M, et al. Short rotation coppices, grasses and other herbaceous crops: Biomass properties versus 26 genotypes and harvest time[J]. Industrial Crops and Products, 2018, 119: 109-120.
- [21]陶子曦. 林下仿野生栽培金线莲品质动态变化研究[D]. 福州:福建农林大学,2019.
- [22]魏翠华,谢 宇,秦建彬,等. 台湾金线莲组培苗定植规格及栽培基质筛选[J]. 南方农业学报,2016,47(1):92-95.
- [23]杨小花,郭巧生,朱再标,等. 不同采收期老鸦瓣生物量积累及药材品质研究[J]. 中国中药杂志,2016,41(4):624-629.
- [24]张丽萍. 金线莲高效优质生产关键技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2019.
- [25]龙聪颖,邓辉茗,苏明洁,等. 镉和模拟酸雨胁迫对苦楝幼苗镉含量及叶片抗氧化系统的影响[J]. 核农学报,2020,34(1):186-194.
- [26]王晋成. 金线莲化学成分研究进展[J]. 东南园艺,2014,2(6):68-74.
- [27]高华山,陈明辉,齐 光,等. 金钗石斛总黄酮提取工艺优化及抗氧化活性[J]. 江苏农业科学,2019,47(24):194-199.
- [28]蔡 超. 金线莲的鉴别与应用[J]. 中国中医药现代远程教育,2016,14(21):123-124,127.
- [29]叶申怡. 金线莲产量与品质调控初步研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2018.
- [30]王馨雨,王蓉蓉,王 婷,等. 不同品种百合内外鳞片游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. 食品科学,2020,41(12):211-220.
- [31]云金虎,江 皓,韩文学,等. 不同品种海棠叶茶游离氨基酸组成分析与评价[J]. 食品与发酵工业,2020,46(19):237-243.