

## 不同根际促生菌对金线莲生理特性的影响

杨娟<sup>1,2</sup>, 赵涵予<sup>1,2</sup>, 陈婷<sup>1,2</sup>, 周鑫焯<sup>1,2</sup>, 林文雄<sup>1,2</sup>, 林生<sup>1,2\*</sup>

(1. 福建农林大学生命科学学院, 福建福州 350002; 2. 福建省农业生态过程与安全监控重点实验室, 福建福州 350002)

**摘要** [目的]探索植物根际促生菌对金线莲生理特性的影响,为金线莲产业的可持续发展提供新思路。[方法]运用3株植物根际促生菌(蜡样芽孢杆菌 H-15、阿耶波多氏芽孢杆菌 H-6、伯克氏菌 P<sub>4</sub>),通过盆栽试验,研究其对金线莲生长的影响。[结果]根际促生菌 H-15、H-6、P<sub>4</sub> 处理下金线莲的存活率分别比 CK 增加了 40%、22%、39%;发病率分别比 CK 降低了 22%、33%、11%;鲜重增加率分别是 CK 的 2.57、1.60、1.74 倍;与此同时,3 株根际促生菌处理下金线莲中多糖含量显著高于 CK, P<sub>4</sub> 处理下的总黄酮含量和微量元素含量均高于 CK,而 3 株根际促生菌处理下金线莲的游离氨基酸含量均低于 CK,分别比 CK 下降了 29%、11%、23%。[结论]植物根际促生菌能显著促进金线莲生长,具有良好的应用潜力。

**关键词** 金线莲;根际促生菌;人工种植;理化性质

中图分类号 S567.23<sup>9</sup> 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)02-0186-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.02.051



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effects of Different Rhizosphere Promoting Bacteria on Physiological Characteristics of *Anoectochilus roxburghii*

YANG Juan<sup>1,2</sup>, ZHAO Han-yu<sup>1,2</sup>, CHEN Ting<sup>1,2</sup> et al (1. College of Life Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Agroecological Processing and Safety Monitoring, Fuzhou, Fujian 350002)

**Abstract** [Objective] To explore the effect of rhizosphere promoting bacteria on physiological characteristics of *Anoectochilus roxburghii*, and to provide new ideas for sustainable development of *Anoectochilus roxburghii* industry. [Method] Three plant rhizosphere promoting bacteria (*Bacillus* H-15, *Bacillus* H-6 and *Burkholderia* P<sub>4</sub>) were used to study their effects on the growth of *Anoectochilus roxburghii* through pot experiments. [Result] Compared with CK, the survival rate of *Anoectochilus roxburghii* treated with H-15, H-6 and P<sub>4</sub> increased by 40%, 22% and 39%, respectively; the incidence decreased by 22%, 33% and 11%, respectively; the fresh weight increase rate was 2.57, 1.60 and 1.74 times of CK, respectively. At the same time, the polysaccharide content of the treatments treated with rhizosphere promoting bacteria was significantly higher than CK, the total flavonoids content and microelement content under P<sub>4</sub> treatment were all higher than CK, while the free amino acids content were all lower than CK, which decreased by 29%, 11% and 23%, respectively. [Conclusion] Rhizosphere promoting bacteria can significantly promote the growth of *Anoectochilus roxburghii* and have bright application prospects.

**Key words** *Anoectochilus roxburghii*; Rhizosphere promoting bacteria; Artificial cultivation; Physicochemical property

金线莲(*Anoectochilus roxburghii*),又名“金线兰”,是兰科(Orchidaceae)开唇兰属的一种多年生草本药用植物,其药性平和,具有清热凉血、祛风利湿、解毒止痛等功效,常用于治疗幼儿发热、百日咳、小儿惊风、毒蛇咬伤等疾病,对糖尿病、肝炎、肾病、风湿性关节炎、肿瘤等疑难杂症也具有较好的疗效<sup>[1-2]</sup>,故金线莲在民间素有“药王”“乌人参”“金钱草”等美誉<sup>[3]</sup>。除药用价值外,金线莲还具有较高的观赏价值,既可单独进行盆栽,也可与兰草等其他盆栽苗木镶嵌搭配,作为高端室内观赏盆景,日渐受到消费者的青睐<sup>[4]</sup>。因此,市场上对金线莲的需求相当旺盛。然而,金线莲种子微小,自然状态下萌发率低,难以大量繁殖<sup>[5]</sup>,人们的过度采挖使得野生金线莲濒临灭绝。1990年,金线莲被福建省人民政府列入“福建省重点保护野生药材物种名录”<sup>[6-7]</sup>。近年来,金线莲组织培养技术的发展在很大程度上缓解了当前市场上金线莲供不应求的状况,但组培苗中的农药残留、重金属残留和植物类激素残留等对人的身体健康存在一定的安全隐患<sup>[7-8]</sup>。有研究表明,组培苗仿生生态栽培5个月后才可使其品质接近于野生金线莲<sup>[9]</sup>,而金线莲对生境要求较高,人工

种植过程中极易出现病虫害等问题<sup>[10]</sup>。探索在人工种植过程中如何提高金线莲的产量和品质,对于金线莲种质资源的保存以及金线莲产业的发展具有现实意义。

植物根际促生菌(PGPR)是一类定殖于植物根际、根表或根内的有益微生物,可通过释放植物生长调节剂、参与土壤养分循环、抑制病原菌等方式直接或间接促进植物生长<sup>[11-14]</sup>。目前,国内外已发现多个种属的根际微生物具有良好的促生效果,如假单胞菌属(*Pseudomonas*)、芽孢杆菌属(*Bacillus*)、沙雷氏菌(*Serratia*)、肠杆菌(*Enterobacter*)、伯克氏菌属(*Burkholderia*)等<sup>[15]</sup>。研究显示,植物根际促生菌对草莓、小麦、大豆等植物均具有较好的促生效果<sup>[16-18]</sup>。关于植物根际促生菌在金线莲上的应用还鲜有报道。该研究运用3株植物根际促生菌(蜡样芽孢杆菌 H-15、阿耶波多氏芽孢杆菌 H-6、伯克氏菌 P<sub>4</sub>),研究不同促生菌处理下金线莲的生理特性变化,以期在金线莲的高产优质栽培提供新思路,同时也为扩大植物根际促生菌的适用范围提供一定的参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 供试植物。**供试金线莲组培瓶苗品种为福建本地野生,购于福建省拿锄头农业科技有限公司。

**1.1.2 供试菌株。**供试菌株由福建农林大学生命科学学院农业生态研究所提供,菌株编号分别为 H-15(蜡样芽孢杆

**基金项目** 国家重点研发计划项目(2017YFE0121800);福建农林大学科技创新专项基金项目(CXZX2018046)。

**作者简介** 杨娟(1997—),女,重庆人,硕士研究生,研究方向:植物生态学。\*通信作者,副教授,博士,硕士生导师,从事作物生态与分子生理研究。

**收稿日期** 2021-01-06;修回日期 2021-06-01

菌)、H-6(阿耶波多氏芽孢杆菌)、P<sub>4</sub>(伯克氏菌),均为从土壤中分离的根际促生菌。

**1.1.3 供试土壤。**供试土壤采挖自福建农林大学生命科学学院试验田,将其与泥炭土(丹麦品氏进口泥炭土)按体积比1:1的比例混合,混合后装入专业灭菌袋,高压灭菌。

**1.2 试验设计** 盆栽试验于2018年3月28日在福建农林大学农业生态研究所温室进行。用镊子将金线莲组培苗小心地从组培瓶中取出,洗净根际附着培养基。选用长势一致的金线莲组培苗,种植于小塑料花盆中(规格:外径8.0 cm×内径5.5 cm×高6.5 cm),每盆装无菌土200 g,金线莲3株。试验共设置4个处理:不加菌(CK);加蜡样芽孢杆菌 H-15(H-15);加阿耶波多氏芽孢杆菌 H-6(H-6);加伯克氏菌 P<sub>4</sub>(P<sub>4</sub>)。于加菌前1 d分别吸取各菌液50 μL至5 mL LB培养基中过夜培养8~12 h,然后吸取活化后的菌液2 mL至200 mL LB培养基中,37℃培养2 h;再将菌液分装至50 mL离心管中,6 000 r/min,10 min,离心收集菌体。用无菌水清洗菌体3次,最后用无菌水调节菌悬液浓度为1×10<sup>8</sup> CFU/mL(OD<sub>600</sub>约为0.5),用移液枪吸取菌悬液,加入盆栽中,接种量200 μL/盆,对照组(CK)加等量无菌水。于金线莲种植后的前90 d,每30 d进行1次加菌处理。整个试验期间控制环境温度为16~23℃,180 d后收获。

### 1.3 测定项目及方法

**1.3.1 生理生化指标测定。**株高采用皮尺测定,以植株最下部茎节的底部到最上部茎节的顶部的绝对高度表示;茎粗采用游标卡尺测定;分别在种植前和收获时对金线莲的株高、茎粗、叶片数进行测定。待对收获的金线莲进行一系列的生理指标测定后,将不同处理下的植株放置于烘箱中,80℃烘干至恒重,用冷冻混合型球磨机 MH400(MH400,德国

RETSCH)粉碎,用于金线莲品质的测定。总黄酮采用紫外-可见分光光度法测定;总多糖采用苯酚-硫酸法测定;游离氨基酸采用茚三酮比色法测定<sup>[19]</sup>。微量元素含量采用 ICP-MS(NexION™300X,Perkinelmer 公司)测定。叶片增加率=(收获时叶片数-种植时叶片数)/种植时叶片数;鲜重增加率=(收获时鲜重-种植时鲜重)/种植时鲜重。

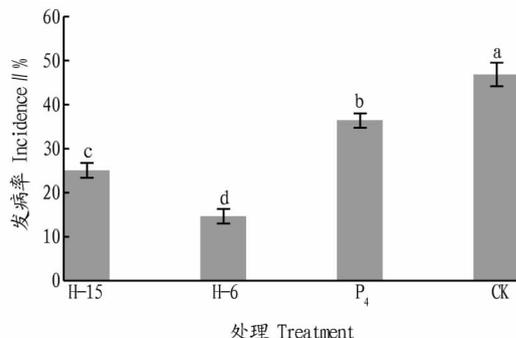
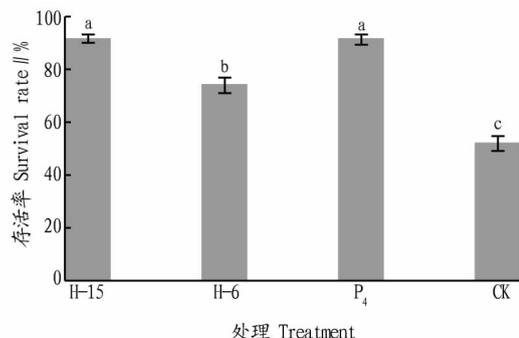
**1.3.2 土壤养分测定。**土壤中全氮、全磷用德国的全自动化学间断分析仪(Smartchem 2000)测定;全钾和速效钾采用火焰光度法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;速效磷用0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提-钼锑抗显色法测定<sup>[20]</sup>。

**1.4 统计分析** 试验数据采用 DPS 统计软件进行单因素方差分析,用 Excel 2013 软件进行绘图。

## 2 结果与分析

**2.1 不同根际促生菌对金线莲生长的影响** 由图1可知,3种根际促生菌的添加均可显著提高金线莲的存活率,不同处理下金线莲的存活率由高到低的顺序为 H-15>P<sub>4</sub>>H-6>CK;其中,根际促生菌 H-15、P<sub>4</sub> 处理对金线莲存活率的影响显著(P<0.05),H-15 处理下金线莲的存活率为93%,P<sub>4</sub> 处理下金线莲的存活率为92%,分别比 CK 增加了40%、39%。同时,根际促生菌的添加还可以降低发病率,与 CK 的发病率(48%)相比,H-6 处理下的发病率最低,为15%;其次是 H-15,发病率为26%。

从图2可以看出,H-15 处理下金线莲的叶片增加率明显提高(P<0.05),是 CK 的1.39倍,而 H-6、P<sub>4</sub> 处理下的叶片增加率与 CK 无显著差异。此外,与 CK 相比,各处理下金线莲的鲜重增加率均有提高(P<0.05),H-15、H-6、P<sub>4</sub> 处理下的鲜重增加率分别为59%、37%、40%,其中,H-15 处理下的鲜重增加较为显著,鲜重增加率约是 CK 的2.57倍。



注:不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments (P<0.05)

图1 不同处理下金线莲的存活率和发病率

Fig.1 The survival rate and incidence of *Anoctochilus roxburghii* under different treatments

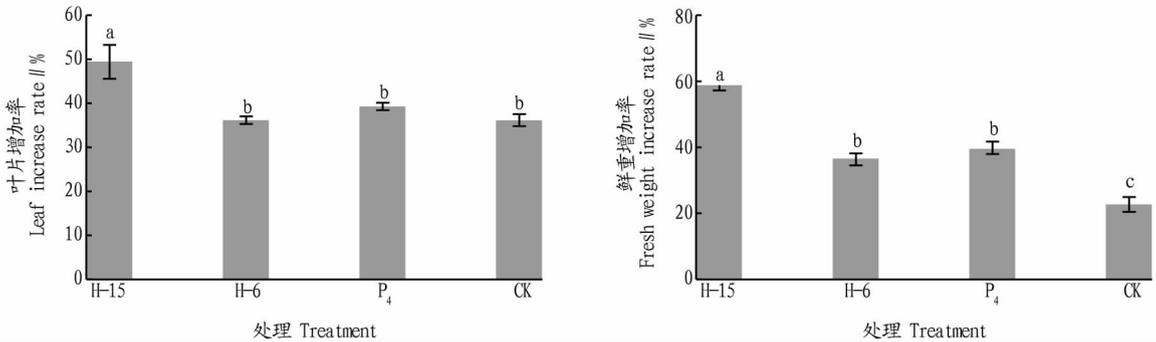
**2.2 不同根际促生菌对金线莲品质的影响** 由图3可知,不同处理下金线莲中多糖含量差异显著(P<0.05),由高到低的顺序为 H-15>P<sub>4</sub>>H-6>CK,促生菌 H-15、H-6、P<sub>4</sub> 处理下的多糖含量分别比 CK 提高19%、3%、12%。不同处理下金线莲中总黄酮含量也存在一定的差异,根际促生菌 P<sub>4</sub> 处理下的总黄酮含量最高,为13.8629 mg/g,比 CK 提高4%;而根际促生菌 H-15、H-6 处理下的总黄酮含量与 CK 相比略有下

降,分别比 CK 降低了4%、7%。不同根际促生菌处理下金线莲中游离氨基酸含量均显著低于 CK(P<0.05),促生菌 H-15、H-6、P<sub>4</sub> 处理下的游离氨基酸含量分别比 CK 下降了29%、11%、23%。

从表1可以看出,从整体上来看,CK 处理下的6种微量元素(Mn、Zn、Cr、Ni、Cu、Mo),只有 Mo 的含量高于其他3种处理。根际促生菌 P<sub>4</sub> 处理对金线莲微量元素含量的影响较

为显著,其处理下微量元素 Mn、Zn、Cr、Ni、Cu 的含量均高于 CK,分别比 CK 提高了 21.64%、5.06%、60.41%、35.07%、29.72%;根际促生菌 H-6 处理下微量元素 Cr、Ni、Cu 的含量分别比 CK 增加了 32.701、13.738、6.080  $\mu\text{g/L}$ ;根际促生菌 H-15 处理下,微量元素 Cu 的含量比 CK 增加了 5.045  $\mu\text{g/L}$ ,

而其他微量元素的含量均低于 CK。3 种根际促生菌处理下,微量元素 Zn、Cr、Ni、Cu 的含量由高到低的顺序均为  $P_4 > H-6 > H-15$ ;微量元素 Mn 的含量由高到低的顺序为  $P_4 > H-15 > H-6$ ;微量元素 Mo 的含量由高到低的顺序为  $H-6 > P_4 > H-15$ 。

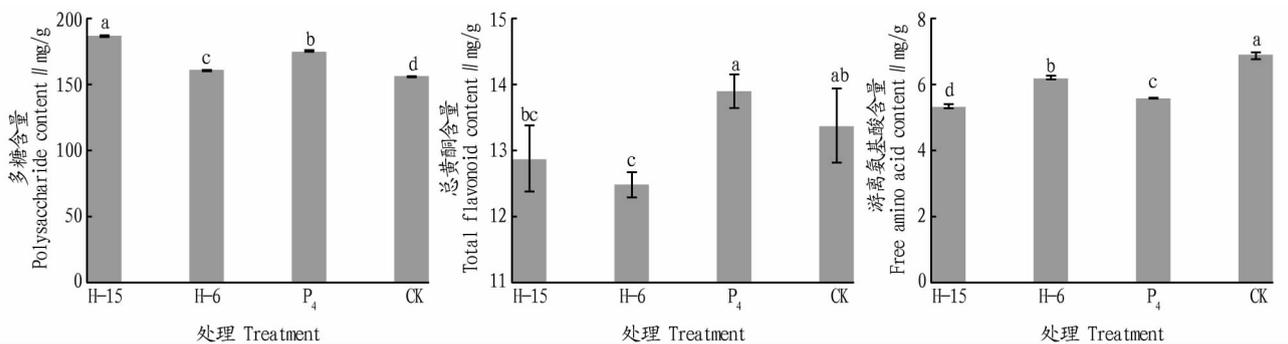


注:不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments ( $P < 0.05$ )

图2 不同处理下金线莲的叶片增加率和鲜重增加率

Fig.2 The leaf increase rate and fresh weight increase rate of *Anoectochilus roxburghii* under different treatments



注:不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments ( $P < 0.05$ )

图3 不同处理下金线莲的多糖、总黄酮和游离氨基酸含量

Fig.3 The content of polysaccharides, total flavonoids and free amino acids of *Anoectochilus roxburghii* under different treatments

表1 不同处理下金线莲的微量元素含量

Table 1 Trace element content of *Anoectochilus roxburghii* under different treatments

处理 Treatment	Mn	Zn	Cr	Ni	Cu	Mo
H-15	128.053±2.424 c	20.480±0.721 b	86.234±1.933 d	31.882±0.274 c	51.343±3.441 ab	29.268±1.359 c
H-6	116.348±1.595 d	22.701±0.541 ab	155.940±2.101 b	53.541±0.622 a	52.378±7.463 ab	45.101±1.012 b
P <sub>4</sub>	163.319±1.864 a	24.332±1.341 a	197.684±7.965 a	53.763±1.998 a	60.057±8.119 a	44.241±1.841 b
CK	134.267±1.273 b	23.161±1.926 a	123.239±2.487 c	39.803±1.511 b	46.298±0.141 b	49.882±0.201 a

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ( $P < 0.05$ )

### 3 结论与讨论

根际促生菌可通过溶磷、生物固氮、产生 1-氨基环丙烷-1-羧酸脱氢酶 (ACC)、干扰群体感应信号、产生植物激素、产生嗜铁素、抑制病原菌生长、诱导系统抗病性等方式对植物的生长产生影响,在农业生产上表现出极大的潜力,有望成为化肥、农药等的替代品<sup>[21]</sup>。有研究表明,加入假单胞菌可以刺激植物防御酶苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 的产生<sup>[22]</sup>。Zhou 等<sup>[23]</sup>研究表明,接种地衣芽孢杆菌可有效缓解盐浓度对菊花的有害影响;在盐碱土中接种地衣芽孢杆菌的菊花 56 d 后存活率为 76%,而未接菌的菊花种子 56 d 后的存活

率为 0。常慧萍等<sup>[24]</sup>用假单胞菌、芽孢杆菌菌液对小麦种子进行浸种处理,结果发现小麦幼苗根长、株高分别较对照(无菌液处理)显著增加。该试验运用 3 株植物根际促生菌(蜡样芽孢杆菌 H-15、阿耶波多氏芽孢杆菌 H-6、伯克氏菌 P<sub>4</sub>) 处理金线莲幼苗,结果发现 3 株植物根际促生菌的应用均可显著提高金线莲的成活率,降低发病率,鲜重增加率也显著提高,H-15 处理下的叶片增加率较为显著,可见该试验所使用的 3 株促生菌对金线莲均有显著促生作用。

该试验所使用的 3 株促生菌处理下的多糖含量均有所上升,这与唐明娟<sup>[25]</sup>的研究结果相一致。而总黄酮含量除

$P_4$  处理比 CK 提高 4% 外, 根际促生菌 H-15、H-6 处理下的总黄酮含量与 CK 相比略有下降, 分别比 CK 降低了 4%、7%。韩丽琴等<sup>[26]</sup> 研究指出, 中药中黄酮类物质和微量元素并不是单独发挥其药效作用, 如黄酮类成分可与微量元素 Cu 结合形成金属配合物, 从而发挥其抗氧化作用; 单纯讨论黄酮或微量元素, 不能很好地体现中药的作用, 必须将二者结合起来。故对该试验不同处理的微量元素进行测定, 发现  $P_4$  处理下的微量元素含量(除 Mo 外) 普遍高于对照, 根际促生菌 H-6 处理下微量元素 Cr、Ni、Cu 的含量均高于对照, 根际促生菌 H-15 处理下只有微量元素 Cu 的含量比对照略有增加。由此推测,  $P_4$  处理下总黄酮含量高于对照可能与其微量元素含量普遍提高有关系。

王正银等<sup>[27]</sup> 研究指出, 生育过程中尤其在油菜生长中期、后期, 一般以碳素代谢为主, 呈现出糖高氮低的代谢特点, 并以优质油菜表现更明显。刘浩荣等<sup>[28]</sup> 测定了油菜茎叶可溶性糖和游离氨基酸含量, 试验结果也显示可溶性糖比游离氨基酸更能反映植株生长及产量形成能力。这与该试验结果相一致, 虽然不同根际促生菌处理下金线莲的游离氨基酸含量均低于 CK, 但多糖含量有所上升, 与此同时, 存活率、鲜重增加率等指标也明显增加。此外, 根际促生菌处理下的金线莲体积显著高于 CK, 故植株总的游离氨基酸含量可能会被稀释, 从而造成相同质量下, 体积大的金线莲中游离氨基酸含量下降。

总的来说, 该试验所用的 3 种根际促生菌可增加金线莲产量、提高存活率、降低发病率, 具有良好的促生效果, 也为如何解决金线莲移栽成活率低的问题提供新的视角。3 种根际促生菌处理下多糖含量整体上升、游离氨基酸含量整体下降, 不同处理对于不同微量元素的含量有不同的表现, 但中药成分复杂多样, 定性定量地检测其中一种或几种成分存在与否、含量多少, 难以评价其优劣<sup>[29]</sup>, 以后还是要结合中药临床效用, 从而对其整体表现进行一个全面的评估。

## 参考文献

- [1] 管其乾. 亟待开发的珍贵草药: 金线莲[J]. 中国信息导报, 1994(7): 36.
- [2] 李秋静, 郑晓艳, 刘桂君, 等. 福建药用植物金线莲研究进展[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2018, 20(8): 1364-1372.
- [3] 杨成行, 李晓婷, 袁建振, 等. 金线莲组织培养技术研究进展[J]. 草业科学, 2018, 35(5): 1047-1056.
- [4] 张君诚, 张超, 陈强, 等. 金线莲产业化现状及发展对策[J]. 福建林业科技, 2014, 41(4): 220-224.
- [5] 周雨青, 谢学强, 季磊, 等. 国内金线莲组织培养研究进展[J]. 现代园艺, 2017(9): 23-25.

(上接第 138 页)

健壮、花期长, 易繁殖, 可作为夏季观花灌木在北京园林绿化、平原绿化中大面积推广应用。

## 参考文献

- [1] 陶韬, 刘青林. 北京地被植物研究现状与应用前景[C]//北京园林学会, 北京市园林局. 抓住 2008 年奥运会机遇进一步提升北京城市园林绿化水平论文集. 北京: 北京园林学会, 2015: 87-94.
- [2] 陈有民. 园林树木学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990.
- [3] 徐学雁, 崔琳, 张玉柱, 等. 花木蓝栽培技术及综合利用[J]. 现代农村科技, 2015(23): 49.
- [4] 杨国日, 李士, 张欣. 花木蓝播种分株育苗技术[J]. 内蒙古林业调查设

- [6] 沈廷明, 吴仲玉, 黄春情, 等. 金线莲化学成分、药理、组培及栽培研究进展[J]. 海峡药学, 2016, 28(12): 26-30.
- [7] 林平, 华碧春, 黄智锋. 金线莲的质量标准探讨[J]. 福建中医药大学学报, 2012, 22(5): 40-42.
- [8] 黄智锋, 华碧春, 吕美玲, 等. 闽台珍稀药用植物金线莲开发刍议[J]. 中药与临床, 2017, 8(4): 14-15, 20.
- [9] 张海燕. 仿生态栽培金线莲的指纹图谱与微量元素研究[J]. 福建林业科技, 2018, 45(1): 44-46, 52.
- [10] 罗晓青, 吴明开, 查兰松, 等. 珍稀药用植物金线莲研究现状与发展趋势[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(3): 71-74.
- [11] MCCULLY M E. Niches for bacterial endophytes in crop plants: A plant biologist's view[J]. Functional plant biology, 2001, 28(9): 983-990.
- [12] WU S C, CAO Z H, LI Z G, et al. Effects of biofertilizer containing N-fixers, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial[J]. Geoderma, 2005, 125(1/2): 155-166.
- [13] AHMED M, MALIK A. Bioaccumulation of heavy metals by zinc resistant bacteria isolated from agricultural soils irrigated with wastewater[J]. Journal of bacteriology, 2011, 2(1): 12-21.
- [14] 赵晨阳, 戴峰, 刘述颖, 等. 植物根际促生菌的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(16): 12-13, 24.
- [15] SIVASAKTHI S, USHARANI G, SARANRAJ P. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR)-*Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review[J]. African journal of agricultural research, 2014, 9(16): 1265-1277.
- [16] 周贝贝. 植物根际促生菌的筛选及其在草莓上的应用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
- [17] 许芳芳, 袁立敏, 邵玉芳, 等. 肠杆菌 FYP1101 对盐胁迫下小麦幼苗的促生效应[J]. 微生物学通报, 2018, 45(1): 102-110.
- [18] 郭英, 杨萍, 张丹雨, 等. 野大豆多功能根际促生菌的筛选鉴定和促生效果研究[J]. 生物技术通报, 2018, 34(10): 108-115.
- [19] 秦朋. 金线莲遗传多样性和有效成分分析[D]. 福州: 福建农林大学, 2013.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 1999: 25-109.
- [21] RAAIJMAKERS J M, PAULITZ T C, STEINBERG C, et al. The rhizosphere: A playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms[J]. Plant & soil, 2009, 321(1/2): 341-361.
- [22] CHEN C Q, BÉLANGER R R, BENHAMOU N, et al. Defense enzymes induced in cucumber roots by treatment with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and *Pythium aphanidermatum*[J]. Physiological and molecular plant pathology, 2000, 56(1): 13-23.
- [23] ZHOU C, ZHU L, XIE Y, et al. *Bacillus licheniformis* SA03 confers increased saline-alkaline tolerance in *Chrysanthemum* plants by induction of abscisic acid accumulation[J]. Frontiers in plant science, 2017, 8: 1-17.
- [24] 常慧萍, 邢文会, 夏铁骑, 等. 根际促生细菌的筛选及其对小麦幼苗的促生作用[J]. 河南农业科学, 2016, 45(12): 52-57.
- [25] 唐明娟. 1. 菌根真菌在金线莲栽培中应用及其共生机理研究 2. 粉土螨和黑麦草变应原决定簇及其全长基因克隆与表达[D]. 北京: 中国协和医科大学, 2004.
- [26] 韩丽琴, 董顺福, 刘建华. 中药微量元素 Cu 和总黄酮测定与清除自由基功效关系[J]. 辽宁中医杂志, 2007, 34(8): 1130-1132.
- [27] 王正银, 胡尚钦, 孙彭寿. 作物营养与品质[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 202-208.
- [28] 刘浩荣, 宋海星, 刘代平, 等. 油菜茎叶可溶性糖与游离氨基酸含量的动态变化[J]. 西北农业学报, 2007, 16(1): 123-126.
- [29] 笪航芳, 戴忠华, 朱华. 中药品质评价研究现状及发展趋势[J]. 中华中医药学刊, 2017, 35(6): 1485-1488.

计, 2009, 32(1): 22, 24.

- [5] 李振坚, 王雁, 彭镇华. 温室盆花自动喷雾嫩枝扦插技术[J]. 农业工程技术(温室园艺), 2006, 26(2): 48-49.
- [6] 连永刚. 紫叶风箱果全光喷雾嫩枝扦插育苗技术[J]. 林业科技, 2010, 35(6): 56-57.
- [7] 岳成亮, 连永刚, 崔云, 等. 紫叶李全光喷雾嫩枝扦插育苗技术[J]. 绿色科技, 2011(2): 51-52.
- [8] 黄康康, 沈红杰. 杂交兰——黄金小神童全光照喷雾扦插繁殖技术[J]. 杭州农业与科技, 2011(3): 41-42.
- [9] 周军方, 段进潮, 徐岩, 等. 全光喷雾法在刺楸果嫩枝扦插上的应用[J]. 人参研究, 2011, 23(4): 52-54.
- [10] 杨俊明. 栗树苗木露地生产技术[N]. 河北科技报, 2011-05-26(B06).