

王洪秋,李 贺,吴春华,等. 几种因素对悬浮培养白色紫锥菊不定根生物量和有效物质积累的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):125-128.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.032

# 几种因素对悬浮培养白色紫锥菊不定根生物量和有效物质积累的影响

王洪秋<sup>1</sup>, 李 贺<sup>1</sup>, 吴春华<sup>2</sup>, 朴炫春<sup>1</sup>, 廉美兰<sup>1</sup>

(1. 延边大学长白山生物资源与功能分子教育部重点实验室, 吉林延吉 133002; 2. 大连市农业科学研究院, 辽宁大连 116036)

**摘要:**为优化白色紫锥菊不定根悬浮培养体系,从而获得较多有效物质的积累,以白色紫锥菊不定根为试验材料,探究培养基中  $\text{PO}_4^{3-}$  浓度、总氮浓度、 $\text{NO}_3^- - \text{NH}_4^+$  对白色紫锥菊不定根生物量及有效物质积累的影响。结果表明:当培养基中  $\text{PO}_4^{3-}$  浓度为 0.94 mmol/L、总氮浓度为 45 mmol/L、 $\text{NO}_3^- - \text{NH}_4^+$  为 37.5-7.5 mmol/L 时,悬浮培养白色紫锥菊不定根生物量及有效物质均达到最大值,其中酚、黄酮生产量分别为 253.78、178.08 mg/L。因此,通过调节培养基成分配比,可提供生物量及有效物质含量高的不定根为原材料,为进一步大规模培养白色紫锥菊不定根奠定了理论基础。

**关键词:**悬浮培养;白色紫锥菊;不定根;酚;黄酮;生物量;有效物质积累

**中图分类号:** S682.1+10.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)15-0125-03

白色紫锥菊(*Echinacea pallida*)属菊科松果菊属,多年生草本植物,为原产于北美地区的一种药用植物<sup>[1]</sup>,它被国际公认为免疫增强剂<sup>[2]</sup>。白色紫锥菊作为中草药使用,相对于其他药用植物比较安全<sup>[3]</sup>,它的药用功效主要为抗炎、抗菌、抗病毒、增强免疫等。白色紫锥菊含有酚类、黄酮类、咖啡酸类衍生物、多种烷基酰胺类化合物、挥发油、多糖等多种有效活性成分。其中,含有的多酚类物质具有抗炎活性,可以抑制透明质酸酶和环氧合酶等酶类,阻断前列腺素的合成,从而减少炎症细胞的入侵。多酚类物质也能通过清除活性氧,使自由基不损伤皮肤胶原蛋白<sup>[4]</sup>。此外,白色紫锥菊中还含有它特有的紫锥菊苷,具有治疗糖尿病、抗肿瘤、抗衰老等作用,还对肺癌、肝癌和胃腺癌有显著的疗效<sup>[5-6]</sup>。

栽培的白色紫锥菊易受不同地区和生长期等栽培条件的影响,其产量及品质难以满足需求<sup>[7]</sup>。利用植物组织培养手段培养的不定根遗传稳定性高、有效物质含量稳定,具有较高的安全性<sup>[8]</sup>,不定根培养成为快速获得药用植物活性成分的有效方法。因此,很多研究都采用这一方法进行有效物质的生产。姜银姬等探究了东北刺人参不定根培养方式,发现悬浮培养与固体培养相比较,具有更高的皂苷含量积累<sup>[9]</sup>。在紫锥菊不定根培养方面,吴春华等研究了白色紫锥菊不定根培养基中无机盐和蔗糖的浓度<sup>[10]</sup>。但白色紫锥菊不定根培养体系尚未完善。因此,本研究探究了磷浓度、总氮浓度和  $\text{NO}_3^- - \text{NH}_4^+$  对不定根生长以及有效物质积累的影响,为今后以培养的不定根作为白色紫锥菊产品开发及生产的原材料

提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

从大连市农业科学研究院获得白色紫锥菊不定根,2016年7月在延边大学农学院将其接种于[3/4 MS + IBA(吲哚丁酸)1 mg/L + 蔗糖 50 g/L + 琼脂 6.8 g/L, pH 值 5.8]<sup>[10]</sup> 固体培养基中,从而进行增殖培养。培养条件为:暗处理,培养温度为(25±1)℃。暗培养 30 d 后,取新鲜不定根切成大小约为 1 cm 的小段,作为试验材料。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 几种因素对白色紫锥菊不定根生物量和有效物质积累的影响** 为探明培养基中  $\text{PO}_4^{3-}$  浓度、总氮浓度、 $\text{NO}_3^- - \text{NH}_4^+$  对悬浮培养白色紫锥菊不定根增殖生长和有效物质积累的影响。称取白色紫锥菊不定根 0.35 g 鲜质量(FW),接种于 150 mL 锥形瓶中,其中含有 50 mL 液体培养基。

**$\text{PO}_4^{3-}$  浓度试验:**将培养基中  $\text{PO}_4^{3-}$  浓度分别设为 0、0.31、0.63、0.94、1.25、1.56、1.88 mmol/L,培养基中 IBA 为 1 mg/L、蔗糖为 50 g/L, pH 值 5.8。振荡器转速为 100 r/min,进行暗培养,培养温度设定为(25±1)℃。30 d 后测定白色紫锥菊不定根的鲜质量、干质量以及酚和黄酮的含量,并计算其生产量。

**总氮浓度试验:**将培养基中总氮浓度分别设置为 0、15、30、45、60、75、90 mmol/L,培养基其他成分及培养条件与  $\text{PO}_4^{3-}$  浓度试验相同。

**$\text{NO}_3^- - \text{NH}_4^+$  试验:**固定培养基中总氮浓度为 45 mmol/L,将培养基中  $\text{NO}_3^- - \text{NH}_4^+$  分别设为 0-45、7.5-37.5、15-30、22.5-22.5、30-15、37.5-7.5、45-0 mmol/L,培养基其他成分及培养条件与  $\text{PO}_4^{3-}$  浓度试验相同。

**1.2.2 不定根生物量的测定** 收获悬浮培养 30 d 的不定根,将其用自来水冲洗干净后,再用滤纸吸干表面水分,称其

收稿日期:2017-01-03

基金项目:国家自然科学基金(编号:31370388)。

作者简介:王洪秋(1991—),女,吉林松原人,硕士,主要从事生物反应器应用与有效物质调控研究。E-mail:2464172915@qq.com。

通信作者:廉美兰,博士,教授,主要从事生物反应器应用与有效物质调控研究。E-mail:mllian@ybu.edu.cn。

质量即为鲜质量(FW)。然后将不定根放入烘干箱中,55 ℃ 烘干 48 h,使不定根干燥至恒质量,称其干质量(DW)。

1.2.3 有效物质的萃取 称取 0.2 g 干燥的白色紫锥菊不定根,然后加入 10 mL 的 80% 甲醇。在常温下,用磁力搅拌器进行 15 min 萃取,然后离心 10 min,将过滤后的上清液倒入容量瓶中,残渣再次用同一方法萃取分离,最后定容至 25 mL,用于测定有效物质含量。

1.2.4 酚含量的测定 福林法(folin and Ciocalteu):精确称取没食子酸 25 mg,以蒸馏水为溶剂,定容至 250 mL。标准曲线浓度为 0.1 mg/mL,分别取 0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35 mL 标准溶液和 0.1 mL 萃取液于试管中,加入蒸馏水至 2.6 mL,以蒸馏水作为空白对照,再加入 0.1 mL 福林酚指示剂,摇匀静置 6 min 后,加入 0.5 mL 的 20% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>。在常温下,30 min 暗反应,在 760 nm 处用紫外分光光度计测定其吸光度。

1.2.5 黄酮含量的测定 儿茶素(catechin)标准液法:精密称取儿茶素 0.04 g,加蒸馏水定容至 50 mL,标准曲线浓度为 0.8 mg/mL,然后分别取 0.19、0.38、0.56、0.75、0.94、1.13、1.31、1.50 mL 标准溶液和 0.25 mL 萃取液于试管中,加蒸馏水至 1.5 mL,蒸馏水作为空白对照,再加入 0.75 mL 的 5% NaOH<sub>2</sub> 溶液,摇匀静置 6 min 后,加入 0.15 mL 的 10% AlCl<sub>3</sub> 溶液,待反应 5 min 后加入 0.5 mL 的 1 mol/L NaOH 溶液,在 510 nm 处用紫外分光光度计测定其吸光度。

表 1 MS 培养基中 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 浓度对悬浮培养不定根增殖和有效物质积累的影响

PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 浓度 (mmol/L)	鲜质量 (g)	干质量 (g)	酚含量 (mg/g)	酚生产量 (mg/L)	黄酮含量 (mg/g)	黄酮生产量 (mg/L)
0	5.05g	0.36f	21.00e	7.56e	14.22f	5.12f
0.31	28.87f	2.47e	36.05c	89.04d	17.19e	42.46e
0.63	34.51e	3.21d	41.43b	132.99c	27.92c	89.62d
0.94	40.42d	3.75c	47.11a	176.66a	33.17a	124.39a
1.25	44.84c	4.04bc	38.34bc	154.89b	29.87b	120.67b
1.56	47.51b	4.31ab	31.74d	136.80c	27.65c	119.17b
1.88	53.22a	4.57a	29.68d	135.64c	22.33d	102.05c

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下同。

2.2 总氮浓度对白色紫锥菊不定根生物量和有效物质积累的影响

氮是所有植物所需的营养物质之一,氮也是制约植物生长的主要因素。因此,本试验将培养基中的总氮浓度设为 7 个梯度。由表 2 可知,当培养基中未添加氮时,白色紫锥菊不定根不进行生长,同时,酚和黄酮的含量和生产量积累最少。当培养基中添加氮时,不定根鲜质量和干质量随着总氮浓度的增加,呈现先升高后下降的趋势。当总氮浓度为 45 mmol/L 时,鲜质量、干质量均达到最大值,分别为 49.04、4.22 g,且黄酮含量和生产量也在总氮浓度为 45 mmol/L 时达到最大值,分别为 36.15 mg/g 和 152.55 mg/L。酚含量在总氮浓度为 60 mmol/L 时,达到最大值为 50.57 mg/g,但酚生产量在总氮浓度为 45 mmol/L 时,达到最大值为 208.81 mg/L。综上所述,当总氮浓度为 45 mmol/L 时,较适合不定根的生长及酚和黄酮的积累。

2.3 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对白色紫锥菊不定根生物量和有效物质

1.2.6 数据整理及软件分析 将悬浮培养的白色紫锥菊不定根每个处理设置 3 次重复,利用 SPSS 11.5 软件,采用邓肯氏新复极差法进行分析(显著水平 α<0.05)。

2 结果与分析

2.1 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 浓度对白色紫锥菊不定根生物量和有效物质积累的影响

为了探明培养基中 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 浓度对白色紫锥菊不定根生物量及有效物质积累的影响,将培养基中 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 浓度设置为 7 个不同梯度。从表 1 中可以看出,当培养基中未添加 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 时,白色紫锥菊不定根不进行生长,且酚和黄酮含量及生产量均达到最低值。当培养基中添加 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 时,随着 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 浓度的增加,不定根鲜质量和干质量逐渐增加。当培养基中 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 浓度为 1.88 mmol/L 时,不定根鲜质量和干质量均达到最大值,分别为 53.22、4.57 g,显著高于未加 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 的处理。而不定根中酚和黄酮含量和生产量则随着 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 浓度的增加,呈现先增加后下降的趋势。当培养基中 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 浓度为 0.94 mmol/L 时,酚、黄酮含量和生产量均达到最大值,其中酚含量和生产量分别为 47.11 mg/g 和 176.66 mg/L,黄酮含量和生产量分别为 33.17 mg/g 和 124.39 mg/L。而 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 浓度继续增加,则对不定根的生长起到抑制作用。综合上述试验结果得出,当培养基中 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 浓度为 0.94 mmol/L 时,有利于不定根中酚和黄酮的积累。

积累的影响

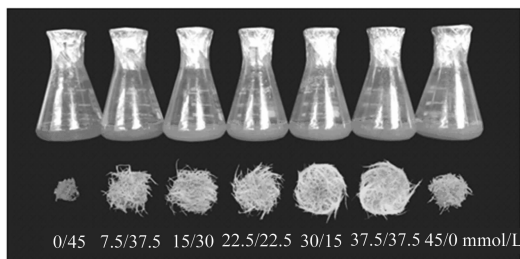
氮主要以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 等 2 种无机形式存在于培养基中。设定不同浓度 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - NH<sub>4</sub><sup>+</sup>,从而探究其对不定根生物量及有效物质积累的影响。当培养基中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 为 0 - 45 mmol/L 时,白色紫锥菊不定根生物量、酚和的积累最少(表 3),不定根变粗不进行分化且颜色变褐(图 1)。随着培养基中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的减少,不定根生物量、酚和黄酮积累不断增加。当 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 为 37.5 - 7.5 mmol/L 时,不定根生物量、酚和黄酮含量及生产量均达到最大值,其中酚含量和生产量分别为 53.54 mg/g 和 253.78 mg/L,黄酮含量和生产量分别为 37.57 mg/g 和 178.08 mg/L(表 3),不定根分化出较多侧根且颜色鲜亮(图 1)。当培养基中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 为 45 - 0 mmol/L 时,不定根生物量以及酚和黄酮的积累均下降(表 3),不定根分化较少且颜色发褐(图 1)。综上所述,当 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 为 37.5 - 7.5 mmol/L 时,最适合不定根生长及酚和黄酮的积累。

表 2 MS 培养基中总氮浓度对悬浮培养不定根增殖和有效物质积累的影响

总氮浓度 (mmol/L)	鲜质量 (g)	干质量 (g)	酚含量 (mg/g)	酚生产量 (mg/L)	黄酮含量 (mg/g)	黄酮生产量 (mg/L)
0	5.56c	0.42c	26.39f	11.08f	17.56f	7.38g
15	39.33a	3.29a	33.82e	111.27c	24.75d	81.43d
30	46.18a	3.71a	46.00b	170.66b	30.64b	113.67b
45	49.04a	4.22a	49.48a	208.81a	36.15a	152.55a
60	45.94a	3.47a	50.57a	175.48b	32.19b	111.70c
75	21.58b	1.36b	44.26c	60.19d	27.51c	37.41e
90	16.27bc	0.96b	35.59d	34.17e	21.41e	20.55f

表 3 MS 培养基中  $\text{NO}_3^- - \text{NH}_4^+$  对悬浮培养不定根增殖和有效物质积累的影响

$\text{NO}_3^- - \text{NH}_4^+$ (mmol/L)	鲜质量 (g)	干质量 (g)	酚含量 (mg/g)	酚生产量 (mg/L)	黄酮含量 (mg/g)	黄酮生产量 (mg/L)
0-45	4.42f	0.27e	22.45f	6.06g	14.82e	4.00f
7.5-37.5	27.78d	2.53c	29.46e	74.53e	16.98e	42.96e
15-30	31.27d	2.71c	33.97d	92.06d	20.79d	56.34d
22.5-22.5	37.56c	3.40b	38.84c	132.06c	26.79c	91.09c
30-15	49.58b	4.47a	47.72b	213.31b	30.94b	138.30b
37.5-7.5	55.46a	4.74a	53.54a	253.78a	37.57a	178.08a
45-0	15.73e	1.58d	34.17d	53.99f	27.18c	42.94e

图1 不同  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  对悬浮培养不定根生物量的影响

### 3 讨论与结论

磷素作为大量元素之一,是培养基中必不可少的部分,它以  $\text{PO}_4^{3-}$  的形式存在于 MS 培养基中。磷素能参与植物细胞或器官的分裂和增殖生长,在生理生化和物质合成过程中起到重要的作用。在培养初期,培养基中的磷素可以被植物细胞、器官直接利用或吸收。不同浓度  $\text{PO}_4^{3-}$  对植物生长影响很大。姚睿研究发现,当培养基中  $\text{PO}_4^{3-}$  浓度达到 1.8 mmol/L 时,铁皮石斛原球茎的生物量及多糖含量均达到最大值<sup>[11]</sup>。汪丰海认为,当培养基中  $\text{PO}_4^{3-}$  浓度达到 1.74 mmol/L 时,有利于葛仙米中多糖含量的积累<sup>[12]</sup>。由此可以看出,不同植物对  $\text{PO}_4^{3-}$  浓度需求有所不同。所以,应当根据植物的不同来确定其适宜的  $\text{PO}_4^{3-}$  浓度。

氮是植物体内核酸、蛋白质和叶绿素等的重要组成部分,同时也是植物体内许多酶的组成部分<sup>[13-14]</sup>,此外还是某些植物激素、维生素等的主要成分。所以,植物细胞分裂和生长受氮素直接影响<sup>[15]</sup>。吴春华等研究发现,当培养基为 3/4 MS (即总氮浓度为 45 mmol/L) 时,白色紫锥菊不定根生物量及酚和黄酮含量均达到最大值<sup>[10]</sup>。其中,鲜质量和干质量分别为 39.18、3.93 g;酚和黄酮含量分别为 27.92 mg/g (DW) 和 13.10 mg/g。其结果与本试验结果相一致。李慧娟研究表明,当培养基中总氮浓度为 60 mmol/L 时,东北刺人参不定根鲜质量和干质量均达到最大值<sup>[16]</sup>。蒯经等研究得出总氮

浓度为 60 mmol/L 时,苏翠 1 号组培苗增殖系数最大<sup>[17]</sup>。由此可以得出,不同植物所需总氮浓度有所不同。

氮素在植物中的吸收途径:首先  $\text{NO}_3^-$  被硝酸还原酶还原为  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  再经多种酶的作用,将其合成氨基酸从而被植物吸收利用<sup>[18]</sup>。虽然铵态氮可被植物直接利用,但当铵态氮浓度过高时对植物也会有毒害作用。姚睿等研究表明,当  $\text{NO}_3^- - \text{NH}_4^+$  为 25-5 mmol/L 时,有利于铁皮石斛原球茎的增殖<sup>[19]</sup>。邵春绘等认为,当  $\text{NO}_3^- - \text{NH}_4^+$  为 30-30 mmol/L 时,较适合高山红景天愈伤组织的增殖生长<sup>[20]</sup>。综合分析,不同植物所需  $\text{NO}_3^- - \text{NH}_4^+$  可能有所不同。

### 参考文献:

- [1] 吴春华,黄 韬,崔锡花,等. 白色紫锥菊不定根诱导及咖啡酸衍生物积累研究[J]. 中国中药杂志,2012,37(24):3768-3772.
- [2] Barrett B. Medicinal properties of *Echinacea*: a critical review[J]. Phytomedicine International Journal of Phytotherapy and Phytopharmacology,2003,10(1):66-86.
- [3] 刘晓琳,郭世宁,黎建华,等. 紫锥菊的药理作用和临床应用[J]. 黑龙江畜牧兽医,2007(6):83-85.
- [4] 吴 华,方和沐. 免疫增强剂——紫锥菊的研究进展[J]. 青海畜牧兽医杂志,2010,40(3):43-46.
- [5] 肖培根. 国际流行的免疫调节剂——紫锥菊及其制剂[J]. 中草药,1996,7(1):46-48.
- [6] 张 莹,刘 珂,吴立军. 紫锥菊属药用植物研究进展[J]. 中草药,2001,32(9):852-855.
- [7] 孔令锋. 国产栽培紫锥菊药材品质评价研究[D]. 沈阳:沈阳药科大学,2006.
- [8] Paek K Y, Chakrabarty D, Hahn E J. Application of bioreactor systems for large scale production of horticultural and medicinal plants [J]. Plant Cell Tissue and Organ Culture,2005,81(3):287-300.
- [9] 姜妮姬,朴炫春,李 贺,等. 几种因素对生物反应器培养东北刺人参不定根中皂苷积累的影响[J]. 林业工程学报,2016,1(3):68-72.

余萍,马杰,余治家,等. ABA、PP<sub>333</sub>和GA对美国红叶樱花苗木生长的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):128-130.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.033

# ABA、PP<sub>333</sub>和GA对美国红叶樱花苗木生长的影响

余萍,马杰,余治家,李玉莲,撒金东

(宁夏农林科学院固原分院,宁夏固原 756000)

**摘要:**以二年生美国红叶樱花为材料,通过叶面喷施不同浓度的生长调节剂脱落酸(ABA)、多效唑(PP<sub>333</sub>)、脱落酸+多效唑(ABA+PP<sub>333</sub>)、赤霉素(GA)、CK(0 mg/L),对比分析它们对苗木生长的影响。结果表明,用GA喷施叶面的苗木各项生长指标均高于其他处理,以GA 200 mg/L进行叶面喷施效果最佳,随着浓度的增大,效果反而减弱,这个浓度可有效促进苗木生长,增强木质化程度,提高抗性;PP<sub>333</sub>或其复配剂效果次之;而叶面喷施ABA对苗木生长起到明显的抑制作用,尤其是ABA 15 mg/L时各项生长指标均属最低。

**关键词:**ABA;PP<sub>333</sub>;GA;美国红叶樱花;生长;木质化

**中图分类号:**S687.104+.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)15-0128-03

美国红叶樱花,属蔷薇科李属红叶樱花的一个栽培变种,在宁夏南部地区4月下旬至5月上旬开花,花大而艳丽,重瓣粉红色,极其美丽。展叶后,初春叶片为深红色,5—7月为亮红色,高温多雨季节老叶渐变为深紫色,叶大而厚,晚秋遇霜变为橘红色,是不可多得的观叶观花乔木树种。美国红叶樱花是近年来在园林绿化上应用较频繁的名贵观赏彩叶乔木树种,因其花艳似锦、树形优美,已被广泛应用于园林绿化,栽植到街道、公园等地。为丰富宁夏及周边地区彩叶植物资源,加快城市绿化美化步伐,特从陕西省杨凌区引进美国红叶樱花一年生、二年生、三年生苗进行引种试验研究,因地域差异,为了使引种试验获得成功,越冬问题成为关键。因此本研究利用植物生长调节剂脱落酸(ABA)、多效唑(PP<sub>333</sub>)、赤霉素(GA)对二年生苗木进行叶面喷施,观测其对苗木木质化程

度的影响效果,以期对美国红叶樱花在宁夏境内及周边地区引种起到技术支撑作用。

贾丽娜等对樱花类树种引种方面有过一些研究,但不涉及植物生长调节剂ABA、PP<sub>333</sub>、GA的运用<sup>[1-11]</sup>。尹婷等曾研究过植物生长调节剂对植物花、生根、嫁接、生长和成活率的影响<sup>[12-16]</sup>,但在美国红叶樱花这个树种上尚未有人开展过研究。因此,本研究属于创新性试验,对植物生长调节剂在促进苗木木质化方面具有实际意义。

## 1 试验地概况

试验地分别设在宁夏固原市彭阳县红河乡和固原市原州区头营镇徐河村(宁夏农林科学院固原分院科研基地)的苗圃地,分别位于37°50′51.6″N、118°56′45.15″E和35°46′1.2″N、106°37′59.7″E。土壤分别为黄壤或黄绵壤,速效磷含量分别为10.88、19.51 mg/kg,速效钾含量分别为180、170 mg/kg,碱解氮含量分别为41.65、25.29 mg/kg,pH值分别为8.81、9.22。整个试验区海拔为1 586~1 678 m,春季干旱少雨多风、冬季寒冷,年均气温6.8~7.2℃,≥0℃以上积温3 000~4 000℃·d,≥10℃以上积温2 500~2 800℃·d,年日照时数2 500 h左右,无霜期130~150 d,年均降水380~450 mm,属北温带半干旱地区,典型的大陆季风气候,

收稿日期:2016-03-30

基金项目:宁夏自然科学基金(编号:NZ14267);宁夏农林科学院科技创新先导资金(编号:NKYG-14-25)。

作者简介:余萍(1983—),女,宁夏固原人,助理研究员,主要从事林木优新树种引种驯化及繁育技术研究。E-mail:287892216@qq.com。

通信作者:余治家,正高职高级林业工程师,主要从事宁夏南部山区林业与生态研究工作。E-mail:lpsyzj@163.com。

[10]吴春华,王森,宋杭霖,等. 无机盐和蔗糖浓度对白色紫锥菊不定根生长及次生代谢产物积累影响[J]. 天然产物研究与开发,2013,25(9):1167-1171.

[11]姚睿. 优化铁皮石斛原球茎生物反应器的培养体系[D]. 延吉:延边大学,2014.

[12]汪丰海. 不同磷浓度对葛仙米生长的影响及葛仙米在室外大型生物反应器中的培养研究[D]. 武汉:湖北工业大学,2015.

[13]窦培谦,王晓燕,王丽华. 非点源污染中氮磷迁移转化机理研究进展[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2006,27(2):93-98.

[14]刘燕. 氮对沉水植物狐尾藻的生理特征及与沉积物氮行为的影响[D]. 北京:首都师范大学,2009.

[15]田婧,郭世荣,孙锦,等. 外源亚精胺对高温胁迫下黄瓜幼

苗氮素代谢的影响[J]. 生态学杂志,2011,30(10):2197-2202.

[16]李慧娟. 东北刺人参不定根反应器培养及其抗氧化活性的研究[D]. 延吉:延边大学,2012.

[17]蔺经,李晓刚,李慧,等. 沙梨新品种苏翠1号组培快繁体系研究[J]. 江苏农业科学,2014,42(11):66-67.

[18]吴巍,赵军. 植物对氮素吸收利用的研究进展[J]. 中国农学通报,2010,26(13):75-78.

[19]姚睿,朴炫春,邵春绘,等. 几种因素对铁皮石斛原球茎增殖生长的影响[J]. 广东农业科学,2013,40(22):34-37.

[20]邵春绘,廉美兰,李铁军,等. 几种因素对高山红景天愈伤组织诱导和增殖的影响[J]. 延边大学农学学报,2013,35(4):289-292.