

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2017.30421

孔令普, 朱永杰, 邱梅, 王焕冲, 和兆荣. 理化因子对龙血树柴胡种子萌发的影响[J]. 植物科学学报, 2017, 35(3): 421-426

Kong LP, Zhu YJ, Qiu M, Wang HC, He ZR. Effects of physical and chemical factors on seed germination of *Bupleurum dracaenoides* [J]. *Plant Science Journal*, 2017, 35(3): 421-426

理化因子对龙血树柴胡种子萌发的影响

孔令普, 朱永杰, 邱梅, 王焕冲, 和兆荣*

(云南大学生命科学学院, 昆明 650091)

摘要: 本研究以龙血树柴胡(*Bupleurum dracaenoides* Huan C. Wang, Z. R. He & H. Sun)的种子为材料, 采用不同温度、不同浓度赤霉素、不同化学试剂以及紫外线照射和微波辐射等方式处理后, 统计其发芽率、发芽势、发芽指数和发芽时间等指标。结果表明: 龙血树柴胡种子萌发最适温度为 20℃; 100 mg/L 的 GA₃、0.5% 的 KMnO₄ 和 3% 的 H₂O₂ 处理均能促进其种子萌发, 但不能使种子萌发和出苗时间提前; 25 s 微波辐射处理可大幅提高种子发芽率; 紫外线照射处理种子 0.5 h, 萌发效果最佳, 但随照射时间的延长对种子萌发则有不同程度的抑制。

关键词: 龙血树柴胡; 种子; 萌发

中图分类号: Q945.6

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2017)03-0421-06

Effects of physical and chemical factors on seed germination of *Bupleurum dracaenoides*

Kong Ling-Pu, Zhu Yong-Jie, Qiu Mei, Wang Huan-Chong, He Zhao-Rong*

(School of Life Science, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: In this paper, the effects of different treatments on *Bupleurum dracaenoides* Huan C. Wang, Z. R. He & H. Sun seed germination were studied. Results showed that the optimum germination temperature for *B. dracaenoides* was 20℃. Treatment with 100 mg/L of GA₃, 0.5% KMnO₄, and 3% H₂O₂ improved seed germination, but did not advance seed germination and emergence time. Microwave radiation significantly improved the seed germination rate, with 25 s found to be the optimal radiation time. The most effective ultraviolet radiation treatment time for seed germination was 0.5 h, with a germination rate of 81%. When the ultraviolet radiation time was gradually increased, the germination potential of seeds was inhibited to different degrees. Thus, optimal treatment to maximize *B. dracaenoides* seed germination was to soak seeds in 100 mg/L of GA₃ for 12 h at a temperature of 20℃.

Key words: *Bupleurum dracaenoides*; Seeds; Germination

我国约有伞形科(Umbelliferae)柴胡属(*Bupleurum* Linn.)植物 36 种 17 变种 7 变型, 其中约 20 种入药^[1]。《中国药典》^[2] 收录了北柴胡(*B. chinense* DC.) 和狭叶柴胡(*B. scorzonifolium* Willd.) 2 个种, 北柴胡主要以根入药, 性苦、微寒,

对肝、肺有解表和里、疏肝解郁、升提中气等功效。

龙血树柴胡(*Bupleurum dracaenoides* Huan C. Wang, Z. R. He & H. Sun)由 Wang 等^[3]在我国云南、四川金沙江下游轿子雪山及周边地区发现, 并于 2013 年发表的新种。因其具有高达

收稿日期: 2016-09-26, 退修日期: 2016-11-04。

基金项目: 国家自然科学基金项目(31560096)。

This work was supported by a grant from the National Natural Science Foundation of China (31560096).

作者简介: 孔令普(1990-), 男, 硕士研究生, 主要从事植物系统分类与资源植物学(E-mail: 1159355682@qq.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: zhrhe@ynu.edu.cn)。

1.5 m 的木质地上茎秆,形似龙血树,故而取名为龙血树柴胡。该种植物分布区狭窄,生境特殊,数量稀少,加之生境破坏严重,按 IUCN 地方濒危等级标准评价定为极危 (Critically endangered) 种^[3]。

我国对野生柴胡属植物的利用历史悠久,但人工栽培和驯化时间较短。近年来,随着医药研究的不断深入,对药用柴胡的用量急剧增加。但由于野生资源逐渐减少,为扩大药源和满足市场需求,急需对野生资源进行人工驯化。由于柴胡种子在正常条件下的发芽率较低,萌发时间长,部分种子存在休眠现象,因而在生产中存在出苗难、发芽率低且不整齐的问题,极大的限制了柴胡的人工栽培。柴胡属植物的种子大部分存在种子后熟性和休眠性,人工打破种子休眠可以促进柴胡种子的萌发和出苗。研究表明,解除种子休眠的方法主要有环境条件处理以及机械、化学试剂、植物激素、电离辐射处理等^[4]。为解决柴胡种子萌发的问题,前人已进行许多有益的探索,如:邓友平等^[5]研究了沙藏和激素处理对北柴胡和三岛柴胡 (*B. falcatum* L.) 种子萌发的作用;王秀琴等^[6]和庄云^[7]研究了不同药剂处理对柴胡种子活力的影响;朴锦等^[8]用 3 种不同贮藏法和 5 种不同处理对 3 种柴胡的种子进行了发芽率实验;于晓燕等^[9]研究了北柴胡和狭叶柴胡种子的萌发。上述研究表明,不同方法处理柴胡种子均可以有效地帮助种子解除萌发障碍,提高种子的萌发率。因此,本文采用不同的理化因子处理龙血树柴胡种子来进行种子萌发实验,探索其最佳的萌发条件。

龙血树柴胡种子呈黑褐色,长椭圆形,长约 3.5 ~ 5 mm,宽 1.1 ~ 2.1 mm,两侧略扁平或渐尖,有 5 条线形果棱,表面略粗糙,果皮干燥,不开裂。较同属其他种种粒整体偏大、偏重,千粒重约 2.0 g。

目前,对龙血树柴胡种子萌发的研究还处于空白,种子萌发和出苗情况尚不清楚。本研究通过观察其野生种子在不同处理下的萌发特性,探讨不同处理对种子萌发的影响,以期找出种子萌发最佳条件,为下一步开展龙血树柴胡的人工繁殖和栽培,以及遗传育种研究奠定基础,同时也为保护这一珍稀濒危植物资源积累科学基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

于 2014 – 2015 年,收集云南省禄劝彝族苗族自治县雪山乡三棵树、基多村的龙血树柴胡种子,经王焕冲鉴定后晒干,保存于玻璃瓶内备用。

1.2 实验方法

1.2.1 温度处理

将龙血树柴胡种子置于铺有湿润滤纸的培养皿中,然后分别放入设定温度为 15℃、20℃和 25℃的人工气候箱中暗培养,每种温度条件处理 100 粒种子,共 300 粒。逐日记录发芽数,每种处理重复 3 次,30 d 后计算发芽率。

1.2.2 不同化学试剂处理

取龙血树柴胡种子 400 粒,按照 3 种不同的方法处理:(1) 3%的 H_2O_2 浸种 12 h,取出用清水洗净;(2) 100 mg/L GA_3 浸种 12 h,取出用清水洗净;(3) 0.5% $KMnO_4$ 浸种 12 h,取出用清水洗净。以 15℃蒸馏水浸种作为对照。每种方法处理 100 粒种子,将处理好的种子放置于铺有湿润滤纸的培养皿中,20℃恒温暗培养。以上每种处理重复 3 次,30 d 后统计并计算发芽率。

1.2.3 不同浓度赤霉素处理

取龙血树柴胡种子 400 粒,分别设置 50、100、150、200 mg/L 4 个浓度梯度,每种处理 100 粒,将种子处理 12 h,然后放置于铺有湿润滤纸的培养皿中,20℃恒温暗培养。逐日记录发芽数,每种处理重复 3 次,30 d 后计算发芽率。

1.2.4 紫外线照射处理

取龙血树柴胡种子 500 粒,采用紫外线杀菌灯照射,紫外灯管功率为 20 w,放射波峰为 260 nm,照射时紫外灯管与种子距离为 30 cm,照射后放入培养皿中。设定 4 个照射时长:0.5、1、1.5 和 2 h,以未处理的干种子作为对照,然后放置于铺有湿润滤纸的培养皿中,20℃恒温暗培养。逐日记录发芽数,每种处理重复 3 次,30 d 后计算发芽率。

1.2.5 微波辐射处理

取龙血树柴胡种子 500 粒,用微波炉低火档 (150 w) 分别辐射处理种子 15、20、25、30 s,以未处理的种子作为对照,后放置于铺有湿润滤纸的培养皿中,20℃恒温暗培养。逐日记录发芽数,

每种处理重复3次，30 d后计算发芽率。

1.2.6 数据记录和分析

按照《林木种子检验规程》技术规定^[10]，逐日记录种子的发芽数，发芽实验结束后分别计算种子的发芽指数、发芽率、发芽势、发芽时间。并在10 d后计算种子发芽势，30 d后统计并计算种子发芽率。计算公式如下：

发芽率 = $(n/N) \times 100\%$ ，式中 n 为正常发芽种子数， N 为供试种子数；

发芽势 = $\frac{\text{规定天数(10 d)的发芽种子数}}{\text{实验种子总数}} \times 100\%$ ；

发芽指数(GI) = $\sum G_t/D_t$ ，式中 G_t 为浸种后 t 日的发芽数， D_t 指相应的发芽日数。

实验数据采用 Excel 和 SPSS 19.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 温度对龙血树柴胡种子萌发的影响

研究发现，20℃温度条件下，龙血树柴胡种子的发芽指数、发芽势和发芽率最高，且相比15℃和25℃实验组的结果具有显著差异(表1)。在20℃条件下，种子萌发整齐度高，幼苗发育比较强壮。在15℃和25℃条件下，种子萌发启动较

晚，发芽率和发芽势均较低。其中，15℃处理的种子发芽势为0，发芽天数相比20℃条件下长6 d。因此，龙血树柴胡种子萌发最适温度以20℃。温度过高或过低可能会降低种子体内相关酶的活力，影响种子萌发。

2.2 不同浓度赤霉素对龙血树柴胡种子萌发的影响

研究表明，GA₃处理后龙血树柴胡种子的发芽指数、发芽势和发芽率均与对照组存在差异，50和100 mg/L 浓度处理时的差异最为显著(表2)。4种浓度处理下，发芽率和发芽势均在70.00%和51.00%以上。采用100 mg/L 的GA₃处理种子时发芽率最高，为81.33%，萌发效果最好。此外，不同浓度GA₃浸种处理对种子的发芽时间均无影响，因此GA₃处理可促进龙血树柴胡种子的高效萌发。

2.3 不同化学试剂对龙血树柴胡种子萌发的影响

研究发现，当采用不同化学试剂处理龙血树柴胡种子后，种子的发芽率与对照组差异显著，但发芽势无显著的差异(表3)。100 mg/L 的GA₃处理后种子的发芽率最高，为81.33%；0.5%的KMnO₄和3%的H₂O₂处理后种子的发芽率相当，均在74%左右。同时3种化学试剂处理也能提高种

表 1 温度对龙血树柴胡种子萌发的影响
Table 1 Effects of different temperatures on seed germination of *Bupleurum dracaenoides*

温度 Temperature (℃)	发芽天数 Germination days (d)	发芽指数 Germination index	发芽势 Germination potential (%)	发芽率 Germination rate (%)
15	19.67 ± 0.33c	6.12 ± 0.78a	0.00 ± 0.00a	22.00 ± 1.52a
20	13.67 ± 0.33a	23.88 ± 1.20c	36.33 ± 2.96b	57.67 ± 2.02b
25	12.67 ± 0.67a	16.79 ± 2.79b	11.67 ± 9.67a	42.00 ± 6.11c

注：表中数据均为平均值 ± 标准误；同列不同小写字母表示显著差异($P < 0.05$)，同列相同字母表示差异不显著，下同。
Notes: All data in the table are average values ± SD. Different small letters mean significant difference ($P < 0.05$), same letter indicates no significant difference, same below.

表 2 不同浓度赤霉素对龙血树柴胡种子萌发的影响
Table 2 Effects of different concentrations of GA₃ on seed germination of *Bupleurum dracaenoides*

GA ₃ (mg/L)	发芽天数 Germination days (d)	发芽指数 Germination index	发芽势 Germination potential (%)	发芽率 Germination rate (%)
50	13.67± 0.33a	34.31 ± 4.52b	59.33 ± 10.36b	76.00 ± 3.21bc
100	13.67 ± 0.33a	34.04 ± 2.98b	54.67 ± 3.52ab	81.33 ± 2.02c
150	14.33 ± 0.33a	30.53 ± 2.47ab	51.33 ± 9.13ab	77.00 ± 1.52bc
200	14.67 ± 0.33a	32.67 ± 1.24ab	61.00 ± 4.04b	71.00 ± 3.21b
对照组 (CK)	14.00 ± 0.57a	24.43 ± 1.39a	36.33 ± 2.96a	57.67 ± 3.93a

子的发芽势, 其中 0.5% 的 KMnO_4 和 100 mg/L GA_3 处理对种子发芽势的提高更显著。而 3% 的 H_2O_2 处理对种子发芽势的提高不显著, 种子表现出生活力较弱, 发芽不整齐, 出苗整齐度较低等特点。这 3 种化学试剂处理对种子的发芽时间均无太大影响, 但 100 mg/L 的 GA_3 处理能显著提高种子的发芽指数。另外, 龙血树柴胡的种子发芽启动慢, 种子表面易感霉菌, 而 KMnO_4 和 H_2O_2 均有消毒杀菌作用, 可以抑制种子发霉坏死, 提高种子发芽率。

2.4 紫外线照射对龙血树柴胡种子萌发的影响

研究发现, 采用紫外线照射处理龙血树柴胡种子, 其发芽率相比对照组均有所提高, 可促进种子萌发(表 4)。其中, 照射处理 0.5 h 时的发芽率和发芽势最高, 分别为 83.33% 和 38.00%, 发芽势相比对照组提高约 2.15 倍。其它 3 种不同照射时

间处理组的种子, 其发芽势均低于对照组, 发芽极度不整齐, 说明紫外线长时间照射会损伤种子, 降低种子的活力, 从而影响种子萌发。但紫外线处理可明显影响种子的发芽势和发芽率, 而对发芽时间影响不大。

2.5 微波辐射对龙血树柴胡种子萌发的影响

研究表明, 采用微波辐射处理的龙血树柴胡种子的发芽天数、发芽指数、发芽势和发芽率相比对照组都有显著差异(表 5)。其中, 发芽率和发芽势提高显著, 但随着微波辐射时间增长, 发芽势和发芽率呈先上升后下降的趋势, 处理 25 s 时达到峰值, 发芽势、发芽率分别为 72.00% 和 81.00%。同时, 微波辐射处理可使种子开始萌发的时间提前, 种子完成发芽的时间缩短 3 d, 说明微波辐射处理种子的萌发有较大的促进作用, 辐射时间 25 s 时效果最佳。

表 3 不同化学试剂对龙血树柴胡种子萌发的影响
Table 3 Effects of different chemical reagents on seed germination of *Bupleurum dracaenoides*

不同化学试剂 Different chemical reagents	发芽天数 Germination days (d)	发芽指数 Germination index	发芽势 Germination potential (%)	发芽率 Germination rate (%)
0.5% KMnO_4	14.33 ± 0.33a	31.90 ± 2.95ab	53.00 ± 10.50a	74.33 ± 3.17b
3% H_2O_2	14.33 ± 0.33a	29.99 ± 2.99ab	44.00 ± 5.13a	73.67 ± 3.52b
100 mg/L GA_3	13.67 ± 0.33a	34.04 ± 2.97b	54.67 ± 3.52a	81.33 ± 2.02b
对照组 (CK)	14.00 ± 0.57a	24.43 ± 1.39a	36.33 ± 2.96a	57.67 ± 3.92a

表 4 紫外线照射对龙血树柴胡种子萌发的影响
Table 4 Effects of ultraviolet irradiation on seed germination of *Bupleurum dracaenoides*

照射时间 Irradiation time (h)	发芽天数 Germination days (d)	发芽指数 Germination index	发芽势 Germination potential (%)	发芽率 Germination rate (%)
0.5	14.00 ± 0.57a	34.39 ± 0.59b	38.33 ± 4.33c	83.33 ± 2.72d
1	14.67 ± 0.33a	24.64 ± 2.23a	7.00 ± 1.52a	74.00 ± 3.05cd
1.5	14.00 ± 0.00a	21.13 ± 0.33a	5.00 ± 1.15a	60.00 ± 2.00bc
2	14.33 ± 0.67a	25.58 ± 0.24a	14.00 ± 1.15ab	69.00 ± 4.58ab
对照组 (CK)	15.33 ± 0.33a	21.36 ± 2.57a	17.67 ± 4.91b	53.33 ± 5.92a

表 5 微波辐射对龙血树柴胡种子萌发的影响
Table 5 Effects of microwave irradiation on seed germination of *Bupleurum dracaenoides*

辐射时间 Irradiation time (s)	发芽天数 Germination days (d)	发芽指数 Germination index	发芽势 Germination potential (%)	发芽率 Germination rate (%)
15	12.33 ± 0.33a	34.43 ± 1.32b	63.00 ± 4.00bc	79.00 ± 2.30b
20	12.33 ± 0.33a	36.95 ± 1.56b	71.00 ± 2.00c	77.00 ± 3.51b
25	11.67 ± 0.33a	39.89 ± 2.58b	72.00 ± 1.00c	81.00 ± 3.00b
30	12.33 ± 0.33a	33.28 ± 2.42b	56.00 ± 6.08b	76.00 ± 2.30b
对照组 (CK)	15.33 ± 0.33b	21.36 ± 2.57a	17.67 ± 4.91a	53.33 ± 5.92a

3 讨论

龙血树柴胡是异花授粉植物,聚伞形花序,花期较长,约50~60 d。由于授粉、受精历时较长,种子发育不同步,造成后期种子发育不完全或不能正常成熟,因此种子在自然状态下发芽率很低。本研究实验结果表明,紫外线照射、微波辐射和不同化学试剂处理对龙血树柴胡种子的萌发均有促进作用。

本研究采用不同温度处理龙血树柴胡种子,20℃时种子的发芽率明显高于15℃和25℃,这与前人对北柴胡种子萌发实验的研究结果基本一致^[5,11,12]。

KMnO₄和H₂O₂具有杀菌作用,可以防止种子发生霉变。同时也可以有效地打破种子休眠,软化种皮,提高种子的通透性。本研究通过采用0.5%的KMnO₄和3%的H₂O₂处理龙血树柴胡种子,种子的发芽率与对照组差异显著,但发芽势不显著。研究结论与葛淑俊等^[11]采用0.5%的KMnO₄处理柴胡种子的实验结果相反;但与庄云^[7]采用不同浓度的KMnO₄处理柴胡种子的结果基本一致;也与邓友平等^[5]采用3% H₂O₂处理北柴胡和三岛柴胡种子的结果一致。

蔡丽艳等^[13]采用100、250、500 mg/L的GA₃分别对长白山地区的北柴胡、大叶柴胡(*B. Longiradiatum* Turcz.)、狭叶柴胡种子进行处理,发现当GA₃浓度大于500 mg/L时,二者种子发芽率最高,分别约70%和50%。本研究发现龙血树柴胡种子在GA₃浓度为100 mg/L时种子的发芽率最高,为81.33%,与对照组差异性显著,说明该处理为种子萌发的方式最佳。同时研究结果也表明GA₃能提高种子的活力和发芽集中度^[14]。

紫外线照射种子能提高发芽率和发芽势,并能增加植物组织中蛋白质和纤维素含量等作用^[15],也可以提高种子淀粉酶活性和脂肪酶活性^[16]。本研究结果显示适量的紫外线照射能提高龙血树柴胡种子的发芽势和发芽率,但随照射时间的增加,种子的发芽势显著降低,种子活力受到抑制。说明过长时间的紫外线照射会损伤种子,影响种子内淀粉酶的活性。

微波辐射处理是提高种子活力的有效途径之一,尤其对于提高硬实种子或休眠种子的发芽率有

着明显的作用^[17]。Pave等^[18]研究发现,适当功率下微波处理对豌豆(*Pisum sativum* Linn.)种子萌发具有显著促进作用,但微波处理效果与种子自身特性有关。于晓艳等^[9]采用150 w功率微波辐射北柴胡和狭叶柴胡的种子,发现二者分别被辐射25 s和20 s时,种子萌发效果最佳。本研究也采用150 w功率微波辐射处理,当辐射时间为25 s时,种子发芽率最高,为81.00%。另外,微波辐射显著提高了种子的发芽势、发芽指数,提前了发芽时间,说明适量微波辐射能够提高龙血树柴胡种子的发芽率。与此同时,种子萌发时易受霉菌影响,经微波杀菌,种子霉变率较低。需要指出的是,过量辐射容易导致种子失活,影响其发芽率。此外,有研究表明,种子休眠程度往往与其胚内存在的抑制物质—脱落酸的含量有关,赤霉素可有效解除脱落酸产生的抑制作用,而微波辐射可使种子内的生长酶活化,从而激发植物体内原始的生化过程,使种子恢复生命活力^[19]。

参考文献:

- [1] 单人晔,余孟兰. 中国植物志:第55卷,第1分册[M]. 北京:科学出版社,1979:215-293.
- [2] 国家药典委员会. 中国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2015.
- [3] Wang HC, He ZR, Wang YH, Sun H. *Bupleurum dracaenoides* (subgenus *Bupleurum*, Apiaceae): a new shrubby species from southwestern China[J]. *Syst Bot*, 2013, 38(4): 1188-1195.
- [4] 李康,李丹青,张佳平,夏宜平. 鸢尾属植物种子休眠研究进展[J]. *植物科学学报*, 2016, 34(4): 662-668.
Li K, Li DQ, Zhang JP, Xia YP. Review on seed dormancy in *Iris*[J]. *Plant Science Journal*, 2016, 34(4): 662-668.
- [5] 邓友平,赵力强,张立鸣. 北柴胡与三岛柴胡种子萌发特性研究[J]. *中药材*, 1996, 19(2): 55-57.
Deng YP, Zhao LQ, Zhang LM. Studies on the germinative features of seeds of *Bupleurum chinense* and *B. Falcatum*[J]. *Jorunal of Chinese Medicinal Materials*, 1996, 19(2): 55-57.
- [6] 王秀琴,郑群,艾沙. 不同药剂处理对柴胡种子活力的影响[J]. *种子*, 2002, 4(2): 23-24.
Wang XQ, Zheng Q, Ai S. Seed vigor of chinese thorowax worked by different medicament[J]. *Seed*, 2002, 4(2): 23-24.
- [7] 庄云. 不同化学药剂对柴胡种子萌发的影响[J]. *吉林农业科技学院学报*, 2012, 19(4): 4-6.
Zhuang Y. Effect of different chemicals on the germination

- of *Bupleurum chinense* seeds[J]. *Journal of Jilin Agricultural Science and Technology College*, 2012, 19(4): 4–6.
- [8] 朴锦, 邵天玉, 李石龙. 不同贮藏法和处理法对长白山区柴胡种子发芽率的影响[J]. *延边大学农学学报*, 2007, 29(1): 27–29.
- Piao J, Shao TY, Li SL. Effects of different storage and treatment methods on germination rate of *Bupleurum* seeds in Changbai Mountain[J]. *Journal of Agricultural Science Yan Bian University*, 2007, 29(1): 27–29.
- [9] 于晓艳, 于慧, 任亚超, 申志英. 北柴胡和狭叶柴胡的萌发试验研究[J]. *现代生物医学进展*, 2009, 9(20): 3962–3963.
- Yu XY, Yu H, Ren YC, Shen ZY. Study on the germination experiment rate of *Bupleurum chinense* DC. and *Bupleurum scorzonnerifolium* Willd[J]. *Progress in Modern Biomedicine*, 2009, 9(20): 3962–3963.
- [10] 国家质量技术监督局. 林木种子检验规程[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- The State Bureau of Quality and Technical Supervision. Rules for forest tree seed testing [M]. Beijing: China Standards Press, 1999.
- [11] 葛淑俊, 孟义江, 甄瑞, 王文敏. 不同处理方法对柴胡种子萌发的影响[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(4): 178–180.
- Ge SJ, Meng YJ, Zhen R, Wang WM. The influence of different treatment on seed germination of *Bupleurum chinense* DC. [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(4): 178–180.
- [12] 徐丽霞, 杨新根, 杨东方, 赵悠悠. 北柴胡种子发芽条件研究[J]. *西山农业科学*, 2008, 36(10): 23–24.
- Xu LX, Yang Xg, Yang DF, Zhao YY. Study of seed germination condition of *Bupleurum chinense* DC[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2008, 36(10): 23–24.
- [13] 蔡丽艳, 顾琳琳. 赤霉素对柴胡种子发芽率的影响[J]. *吉林林业科技*, 2010, 39(3): 43.
- Cai LY, Gu LL. Effect of gibberellins on seed germination rate of *Bupleurum chinense*[J]. *Jilin Forestry Science and Technology*, 2010, 39(3): 43.
- [14] 陈士林, 赵新亮, 卫秀英, 王锐, 袁贵仁. 钙和赤霉素对玉米种子活力的影响[J]. *中国农学通报*, 2003, 19(4): 64–67.
- Chen SL, Zhao XL, Wei XY, Wang R, Yuan RG. Effects of calcium and gibberellin on vigor of seeds of maize[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2003, 19(4): 64–67.
- [15] 郭彦, 杨洪双, 梁明. 紫外线照射对水稻种子萌发的影响[J]. *江苏农业科学*, 2011, 39(3): 89–90.
- Guo Y, Yang HS, Liang M. The influence of ultraviolet irradiation on seed germination of *Oryza sativa*[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2011, 39(3): 89–90.
- [16] 王敏, 付蓉, 赵秋菊, 魏蕾. 种子物理处理技术研究进展[J]. *作物杂志*, 2008(6): 102–106.
- Wang M, Fu R, Zhao QJ, Wei L. Research advances on physical methods for seed treatment[J]. *Crops*, 2008(6): 102–106.
- [17] 张淑卿, 李剑峰, 师尚礼, 霍平慧, 朱新强等. 微波辐射对苜蓿种子发芽及种带固氮菌固氮酶活性的影响[J]. *原子能科学技术*, 2011, 45(6): 763–768.
- Zhang SQ, Li JF, Shi SL, Huo PH, Zhu XQ, et al. Effect of microwave irradiation on alfalfa seeds germination and nitrogenase activity of endophytic diazotrophs in seeds[J]. *Atomic Energy Science and Technology*, 2011, 45(6): 763–768.
- [18] Pave K, Alexandra R, Andrea H, Jitka K, Zdenek B, Vladimir P. Processing of yellow pea by germination, microwave treatment and drying[J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2001, 2(2): 133–177.
- [19] 潘温文, 李伟, 谭芮, 赵一鹤, 杨宇明, 余奇, 王娟. 不同处理对滇牡丹种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *西部林业科学*, 2014, (2): 48–52.
- Pan WW, Li W, Tan R, Zhao YP, Yang YM, Yu Q, Wang J. Effects of different treatments on seed germination and seedling growth of *Paeonia delavayi*[J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2014, (2): 48–52.

(责任编辑: 周媛)