

茉莉酸甲酯和壳聚糖混合液对北柴胡种子萌发的影响

马艳芝

(唐山师范学院生命科学系, 河北 唐山 063000)

摘要:为促进大田栽培过程中北柴胡种子的萌发率,以北柴胡(*Bupleurum chinense* DC.)种子为试验材料,用不同配比的茉莉酸甲酯、壳聚糖混合液进行浸种 24 h;以清水浸种作为 CK,测定分析种子含水量、体积、发芽率及可溶性糖、可溶性蛋白、游离氨基酸含量等指标。结果表明:不同混合液浸种均有促进北柴胡种子萌发的作用。在发芽率最高的 35 d,混合液处理后发芽率均显著高于对照,但 T3 和 T4 处理差异不显著,T3 和 T4 与其他处理间差异显著;T2 处理的种子含水量的最大相对变化率最大,T3 和对照差异最小,除 T3 和对照外,其他处理间差异显著;体积呈现先下降再上升的趋势,且 T4 体积最大;可溶性糖含量整体出现下降-上升-下降-上升的波状变化;在种子萌发过程中可溶性蛋白质含量整体呈现减少趋势;到 35 d 时,CK 和 T3 氨基酸含量比初始含量是增加的,而 T1、T2 和 T4 氨基酸含量比初始含量低。通过隶属函数分析进行综合评价,筛选出壳聚糖 10 mg/mL 与茉莉酸甲酯 224.3 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 组合浸种效果最好,发芽率为 54%;为北柴胡人工栽培过程中促进种子萌发效率提供参考。

关键词:北柴胡;壳聚糖;茉莉酸甲酯;种子萌发

doi: 10.13304/j.nykjdb.2016.582

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-0864(2017)04-0038-07

The Effects of MeJA and CS Mixture on Seed Germination of *Bupleurum Chinense* DC.

MA Yanzhi

(College of Life Sciences, Tangshan Normal University, Hebei Tangshan 063000, China)

Abstract: In order to promote seed germination of *Bupleurum chinense* DC in field cultivation, the seeds were used as materials and soaked in mixed liquor with different ratio of CS and MeJA for 24 h. Seeds soaked in pure water were taken as the CK. Then moisture content, volume, germination rate, soluble sugar and soluble protein contents, and free amino acids contents of the seeds were measured and analyzed. The results showed that all MeJA and CS mixed liquor could promote seed germination rate. At 35 d, the germination rates of all treatments were significantly higher than that of the CK. The germination rates of all treatments were higher than the CK significantly. But there was no significant difference between T3 and T4, and there was significant difference between them and the other treatments. The relative maximum change rate of moisture content of T2 was the biggest, and that of T3 and the CK were the least. Except T3 and the CK, there were significant differences among the other treatments. The volume of all treatments showed first down and then up trend. T4 had the biggest volume. The total soluble sugar content showed down-up-down-up wave change trend. During seed germination process, the overall soluble protein contents showed decreasing tendency. After 35 d, the amino acid contents of the CK and T3 were higher than before, while that of T1, T2 and T4 were lower than the initial stage. Comprehensive evaluation by subordination function analysis showed that soaking seed with the mixture of 10 mg/mL CS and 224.3 $\mu\text{g}/\text{mL}$ MeJA had the best effect. The germination rate could reach 54%. These results provided reference for promoting seed germination in artificial cultivation of *Bupleurum chinense*.

Key words: *Bupleurum chinense* DC.; chitosan (CS); methyl jasmonate (MeJA); seed germination

收稿日期: 2016-09-21; **接受日期:** 2016-11-23

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAI07B05-4);河北省科技计划项目(16236420);唐山市科技创新团队项目(15130205C);唐山师范学院项目(11PT01-2)资助。

作者简介:马艳芝,副教授,硕士,主要从事药用植物与生物技术研究。E-mail: mayanzhiwx@163.com

北柴胡(*Bupleurum chinense* DC.)属于伞形科(Umbelliferae)的多年生植物^[1],是中国药典柴胡正品药材的原植物^[2],以根入药,具有消炎、解热等多种疗效^[3]。北柴胡原以野生为主,但随着用药量增加、野生资源逐年减少,市场上逐年紧缺,对其进行种植和人工栽培,成为增加药物来源的重要途径^[4]。在大田人工种植过程中,其种子发芽率较低、发芽时间长、出苗不整齐^[5-6],提高其大田发芽率,是完成人工栽培柴胡的前提和质量保障^[7]。查明影响北柴胡种子萌发的条件,在解决实际的生产问题上具有广泛应用价值^[8]。

对于如何提高北柴胡种子发芽率,前人做了一些相关研究。张家菁等^[9]通过研究不同处理对三岛柴胡、柴胡种子萌发的影响,得出提高种子发芽率的方法。胡继鹰等^[10]通过研究环境因素对柴胡种子萌发的影响,得出提高种子萌发的环境因素。不同浓度的赤霉素溶液浸种对柴胡种子发芽有促进作用^[11];前人曾用水杨酸浸种来提高柴胡种子发芽率^[12]。壳聚糖(chitosan, CS)是从海鲜壳中提取的是一种高分子直链型多糖,具有提高小麦、花生、烟草、大豆等种子发芽率的作用^[13-14]。茉莉酸甲酯(methyl jasmonate, MeJA)是一种抗氧化的酯类,通过抗氧化来延长植物寿命、提高抗性,从而单独或协助调控植物的生长发育^[15]。虽然前人为促进柴胡种子萌发做了一些工作,关于不同配比壳聚糖、茉莉酸甲酯混合液浸种对北柴胡种子萌发的影响还未曾报道。鉴于此,本研究利用壳聚糖和茉莉酸甲酯混合液对北柴胡种子进行浸种处理,在种子萌发过程中测定相关指标,探讨最适合柴胡种子萌发的混合液配比,旨在为北柴胡大田栽培过程中促进种子萌发技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

北柴胡种子购自北京同仁堂河北中药材科技开发有限公司,筛选出饱满、大小一致种子作为试验材料。

1.2 试验设计

预备试验中分别用茉莉酸甲酯和壳聚糖的不同浓度梯度进行浸种处理 24 h,测定发芽率指标,以发芽率最高和较低且差异显著的两个结果来选

定两种试剂的浓度,其中茉莉酸甲酯浓度分别为 0.224 3 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 和 224.3 $\mu\text{g}/\text{mL}$,壳聚糖浓度分别为 1 mg/mL 和 10 mg/mL ,进行不同浓度组合混合,并用清水浸种作对照(CK),共计 5 种处理,各处理具体如表 1 所示。每个处理重复 3 次,浸种 24 h。

表 1 不同混合液中壳聚糖、茉莉酸甲酯的浓度配比

Table 1 The concentration of chitosan and methyl jasmonate in different germination fluid.

处理 Treatment	壳聚糖浓度 (mg/mL) Chitosan concentration (mg/mL)	茉莉酸甲酯浓度 ($\mu\text{g}/\text{mL}$) Methyl jasmonate concentration ($\mu\text{g}/\text{mL}$)
CK	0.00	0
T1	1.00	0.224 3
T2	1.00	224.3
T3	10.00	0.224 3
T4	10.00	224.3

1.3 试验处理

选取北柴胡种子 525 g,共 35 份,每份 15 g。用配制成的不同配比混合液进行浸种 24 h,取出后用流水稍加冲洗^[16]。将浸种后的柴胡种子种植于唐山师范学院试验田,做好标记,定期浇水,保证种子发芽所需要的水分。每隔 5 d 取一次种子,测定种子的相关生理生化指标变化,每个指标重复 3 次,取平均值。

1.4 测定指标

含水量采用烘干减重法^[17];体积采用排水法^[18];可溶性糖含量采用蒽酮比色法^[19];蛋白质含量采用考马斯亮蓝法^[20];氨基酸含量采用茚三酮显色法^[21];发芽率测定采用计数法^[22]。

1.5 数据分析方法

Excel 2013 软件处理试验数据,SPSS 19.0 软件进行统计分析,隶属函数法对种子生理指标进行综合分析^[23]。

2 结果及分析

2.1 不同处理对北柴胡种子发芽率的影响

不同处理对北柴胡种子发芽率的影响如表 2 所示。经过混合液浸泡处理后,在种子萌发过程

表 2 北柴胡种子萌发过程中发芽率的动态变化

Table 2 The dynamic changes of germination rate during the germination of *Bupleurum chinense* DC.

处理 Treatment	0	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d	35 d	平均值 Average
CK	0	0	7.00% b	12.00 a	18.00% c	23.00% c	26.00% c	34.00% d	15.00% b
T1	0	0	0.00% d	9.00% a	20.00% b	27.00% b	32.00% b	41.00% c	16.12% b
T2	0	0	3.00% c	12.00% a	14.00% c	19.00% d	36.00% b	48.00% b	16.50% b
T3	0	0	10.00% a	11.00% a	25.00% a	36.00% a	48.00% a	56.00% a	23.25% a
T4	0	0	8.00% a	11.00% a	25.00% a	34.00% a	47.00% a	54.00% a	22.38% a

注:同列数据后不同字母表示不同处理间差异达显著 ($P<0.05$) 水平。

Note: Different small letters after the data in each column indicate significant difference at $P<0.05$ level among different treatments.

中,各处理种子发芽率均呈上升趋势,在播种 35 d 达到最高值。不同混合液处理,发芽率均值均高于对照,在发芽率最高的 35 d,混合液处理后发芽率均显著高于对照,但 T3 和 T4 处理差异不显著;T3 和 T4 与其他处理间差异显著。

2.2 不同处理对北柴胡种子萌发过程的含水量变化的影响

北柴胡种子萌发过程中,种子的含水量变化趋势一致,均呈现水分含量波状上升趋势,各处理均比播种时种子含水量高(表 3)。而不同混合液

处理种子含水量变化最高值出现的时间各不相同,CK 和 T1 含水量最高值出现在第 25 d, T2 出现在第 15 d, T3 出现在第 20 d, T4 出现在第 35 d。虽然不同混合液处理、不同时期种子含水量各有不同,但种子含水量的平均值差异不显著。因为试验初始虽然选择一致的种子,但其初始含水量是有差异的,除去初始差异,利用最大相对变化率来说明不同处理对种子含水量影响,发现 T2 处理变化最大, T3 和对照差异最小,除 T3 和对照外,其他处理间差异显著。

表 3 北柴胡种子萌发过程中含水量的动态变化

Table 3 The dynamic changes of water content during the germination of *Bupleurum chinense* DC.

处理 Treatment	0	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d	35 d	平均值 Average	最大相对变化率 The max relative variability
CK	45.20% a	49.00% a	45.63% b	48.37% d	55.22% d	69.84% a	54.95% d	58.70% c	53.36% a	0.55% d
T1	38.73% c	45.20% b	53.23% a	59.73% b	59.86% c	62.48% b	61.81% b	53.60% d	54.33% a	0.62% c
T2	30.93% e	48.80% a	54.30% a	63.01% a	60.12% b	56.45% c	57.49% c	60.79% b	53.99% a	1.03% a
T3	42.57% b	40.00% c	52.53% a	54.86% c	63.75% a	62.10% b	51.21% d	61.38% b	53.55% a	0.50% d
T4	36.57% d	44.2% b	54.40% a	55.89% c	61.16% b	61.05% b	63.90% a	64.10% a	55.16% a	0.75% b

注:同列数据后不同字母表示处理间差异达显著 ($P<0.05$) 水平。

Note: Different small letters after the data in each column indicate significant difference at $P<0.05$ level among different treatments.

2.3 不同处理对北柴胡种子萌发过程中体积变化的影响

种子萌发过程中体积的变化与吸水具有一定相关性。由图 1 可知,北柴胡种子萌发过程中体积呈先急剧下降再持续上升的动态变化。0~5 d 体积减小,可能由于种子经过 24 h 浸泡,干种子与水分充分接触,不断吸水使种子体积增大^[24];播种后,土壤中含水量小于浸泡时水分含量,所以在最初的时间里,通过浸泡的种子水分会散失、减

少,进而出现水分含量下降的现象。从 5 d 以后体积又逐渐增加,说明种子开始从土壤里吸收水分了。从混合液处理来看,20~30 d,四个处理体积均大于 CK,其中 T4 处理显著高于其他处理及 CK;在第 20 d, T1、T2、T3 和 CK 四者之间差异不显著;在第 25~30 d, T1、T2 和 T3 处理显著高于 CK,而三者之间差异不显著 ($P<0.05$)。推断出壳聚糖、茉莉酸甲酯混合液浸种有助于种子吸水,这对于种子萌发是有利的,而且在 10~35 d, T4

处理较其他处理的体积大,说明该混合液浸种促进北柴胡种子吸水作用最大。

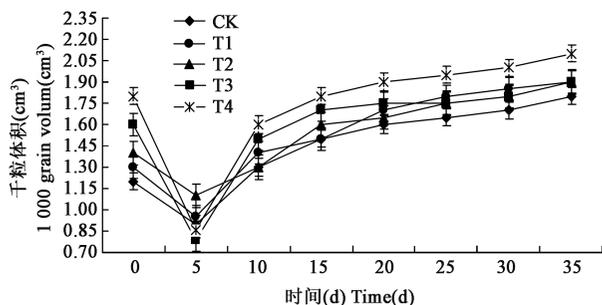


图 1 北柴胡种子萌发过程中体积的动态变化

Fig.1 The dynamic changes of volume during the germination of *Bupleurum chinense* DC.

2.4 不同处理北柴胡种子在萌发过程中可溶性糖含量的变化

种子萌发过程中,可溶性糖含量的变化趋势是一致的,整体出现下降-上升-下降-上升的波动变化,但含量最终是下降的(图 2)。种子在萌发的前 15 d 可溶性糖含量是降低的,在第 15 d 达到最低,15 d 以后,可溶性糖含量急剧增加,到 20 d 达到最高值,随后又出现了小幅度的下降(25 d 较低)和升高(30~35 d)的变化。

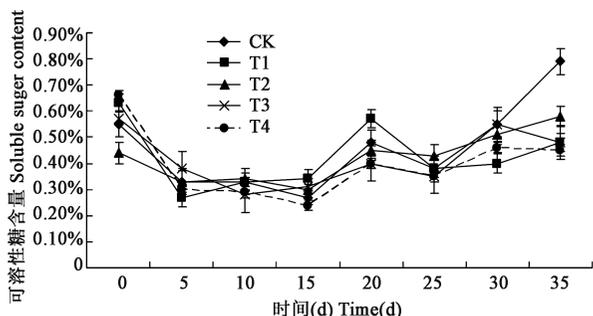


图 2 北柴胡种子萌发过程中可溶性糖含量的动态变化

Fig.2 The dynamic changes of soluble sugar content during the germination of *Bupleurum chinense* DC.

2.5 不同处理对北柴胡种子萌发过程中蛋白质含量变化的影响

柴胡种子萌发过程中蛋白质含量动态变化为:下降-略有上升-下降,整体是下降的,且下降幅度较大(图 3)。萌发初期,蛋白质合成速度慢,但是启动生理活动需要消耗大量的蛋白质,消耗大于合成,含量下降^[25]。5~10 d,蛋白质含量

略有上升,第 10 d 以后,含量下降。这与杨玉珍等^[26]的研究结果相符。

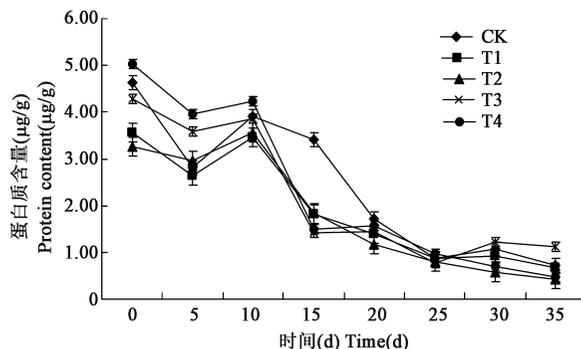


图 3 北柴胡种子萌发过程中可溶性蛋白质含量动态变化

Fig.3 The dynamic changes of soluble protein content during the germination of *Bupleurum chinense* DC.

2.6 不同处理对北柴胡种子萌发过程中氨基酸含量变化的影响

由图 4 可以看出,对照、T3 的氨基酸含量上升或下降较剧烈,且二者变化趋势一致,均呈波浪式上升;而其他混合液 T1、T2 和 T4 处理后氨基酸含量变化较小,三者呈现趋势一致为下降-上升-下降。到 35 d 时,CK 和 T3 氨基酸含量比初始含量是增加的,而 T1、T2 和 T4 含量比初始含量低。

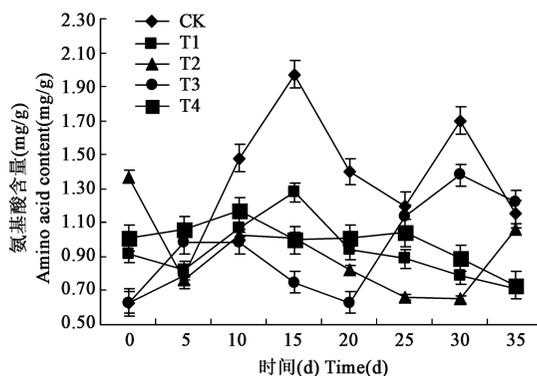


图 4 北柴胡种子萌发过程中氨基酸含量动态变化

Fig.4 The dynamic changes of amino acid content during the germination of *Bupleurum chinense* DC.

2.7 不同处理对柴胡种子萌发影响的综合评价

种子萌发是一个复杂的过程。迄今为止,尽管针对种子萌发生理过程展开了很多研究,但进展不甚理想,主要原因之一是影响种子萌发的因素太多^[27]。本研究利用不同混合液浸种北柴胡

种子,测定其萌发过程中的发芽率及相关指标,虽然发芽率是衡量浸种效果最直接的指标,但不同生理指标同时也影响着发芽率,而且本研究 T3 和 T4 处理虽然发芽率有差异,但差异不显著,单纯利用发芽率难以衡量混合液的效用。

因此,本研究利用隶属函数法进行综合评价,将各个指标的隶属函数值进行计算,取平均值,均

值越大,对北柴胡种子萌发的促进效果越好。综合评价结果如表 4。从表中可以看出,T4 浸种效果最好,T3 的次之,推断出适宜浓度的壳聚糖和茉莉酸甲酯混合液浸种对北柴胡种子的萌发具有明显促进作用,壳聚糖 10 mg/mL 与茉莉酸甲酯 224.3 $\mu\text{g/mL}$ 组合浸种效果较好。

表 4 茉莉酸甲酯和壳聚糖混合液对北柴胡种子影响的隶属函数值 $U(x)$ 分析

Table 4 The value of subordinate function $U(x)$ and comprehensive of evaluation of the effect of MeJA combined with chitosan on seed of *Bupleurum chinense* DC.

处理 Treatment	隶属函数值 Membership function value					隶属函数均值 Average of membership function	排序 Rank
	发芽率 Germination rate	含水量 Water content	可溶性糖 Soluble suger content	蛋白质 Soluble protein content	氨基酸 Amino acid content		
CK	0	0	0	1.00	1.00	0.40	3
T1	0.13	0.50	0.25	0.17	0.03	0.22	4
T2	0.25	0.33	0.25	0	0	0.17	5
T3	1.00	0.11	0.5	0.67	0.08	0.47	2
T4	0.88	1.00	1.00	0.83	0.19	0.78	1

3 讨论

水分对于种子萌发是必不可少的外界条件之一,种子萌发从种子吸水开始,在这个过程中,细胞内进行一系列的生理生化变化^[28]。与传统理论中,种子萌发过程中水分变化呈现出:快速吸水、缓慢吸水、快速吸水三个阶段^[29-30],本研究中,种子含水量呈现波状上升的趋势,各处理均比播种时种子含水量高。主要原因是:浸种后种子播种在水分含量低于种子含水量的土壤中,而常规发芽试验方法是垫纸法或砂培法,即本试验的结果是由于方法不同造成的,而非种子萌发过程中的水分变化规律。

种子萌发过程中尤其是初始阶段,种子内贮藏的营养物质是其萌发的能量来源,主要包括糖、蛋白质、氨基酸等,这些物质在相关酶的作用下水解生成小分子物质,以便于提供直接能量,进而胚进行生长。北柴胡种子萌发过程中可溶性糖、可溶性蛋白和游离氨基酸的含量随着种子萌发时间延长,整体出现下降趋势,虽然中间有波动,但整体趋势为下降的,这与前人研究较为一致^[21,25]。

种子萌发过程是个复杂的过程,而北柴胡种

子具有胚休眠特性,同时种皮中含有内源抑制物,种子成熟度不一致等特点,是其发芽率低、出苗不整齐的原因^[4]。同时,北柴胡种子属于短命种子,不耐贮藏^[4]。虽然发芽率是评价种子发芽能力的直接指标,但其他指标也影响着北柴胡种子萌发,如可溶性糖和可溶性蛋白是影响种子生理活性的溶解态营养物质,与种子代谢强度紧密相关^[31],所以利用隶属函数法进行综合评价更能说明问题。研究结果表明壳聚糖和茉莉酸甲酯混合液对柴胡种子萌发具有促进作用,尤其以高浓度的壳聚糖(T3 和 T4 处理)对发芽率的影响较大,壳聚糖 10 mg/mL 与茉莉酸甲酯 224.3 $\mu\text{g/mL}$ 组合浸种效果最好。本研究只是对种子内贮藏的营养物含量、含水量等指标进行了测定,相关酶及其机理没有进行,所以相关酶及其机理有待进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] 梁之桃,秦民坚,王峥涛,等.柴胡属植物皂苷成分研究进展[J].天然产物研究与开发,2001,13(6):67-72.
Liang Z T, Qin M J, Wang Z T, et al.. The advance on the research of saponins of *Bupleurum* [J]. Nat. Product Res. Dev., 2001,13(6):67-72.
- [2] 国家药典委员会.中华人民共和国药典(一部)[M].北京:

- 中国医药科技出版社,2015,263-264.
- [3] 孟杰,姚入宇,陈兴福,等.柴胡属植物分类研究进展[J].中国中药杂志,2012,37(11):1523-1526.
Meng J, Yao R Y, Chen X F, et al.. Advances in studies on classification of *Bupleurum* [J]. Chin. J. Chin. Mater. Med., 2012,37(11):1523-1526.
- [4] 姚入宇,陈兴福,邹元锋,等.北柴胡种子生物学研究进展[J].中国中药杂志,2011,36(17):24-29.
Yao R Y, Chen X F, Zou Y F, et al.. Advances of studies on seed biology of *Bupleurum chinense* [J]. Chin. J. Chin. Mater. Med., 2011,36(17):24-29.
- [5] 丁自勉,张旭.柴胡生物学研究进展[J].中国野生植物资源,2005,24(2):107-109.
Ding Z M, Zhang X. Research advance on *Bupleurum* biology [J]. Chin. Wild Plant Resour., 2005,24(2):107-109.
- [6] 徐丽霞,杨新根,杨东方,等.北柴胡种子发芽条件研究[J].山西农业科学,2008,36(10):23-24.
Xu L X, Yang X G, Yang D F, et al.. Study of seed germination condition of *Bupleurum chinense* DC. [J]. Shanxi Agric. Sci., 2008,36(10):23-24.
- [7] 王玉庆,牛颜冰,秦雪梅.柴胡种子处理技术分析[J].山西农业大学学报,2006,25(3):205-206.
Wang Y Q, Niu Y B, Qin X M. The investigation and analysis of seed treatment technology for cultured *Bupleurum* horticultural [J]. J. Shanxi Agric. Univ., 2006,25(3):205-206.
- [8] 贺献林,李春杰,贾和田,等.柴胡玉米间作套种高效种植技术[J].现代农村科技,2014(1):11.
- [9] 张家菁,于元杰.不同处理对三岛柴胡种子萌发的影响[J].安徽农学通报,2010,16(23):54-56.
Zhang J J, Yu Y J. Effects of different treatment on seed germination of *B. falcatum* L. [J]. Anhui Agric. Sci. Bull., 2010,16(23):54-56.
- [10] 胡继鹰,何德刚,张正磷.柴胡种子萌发的环境因素研究[J].现代中药研究与实践,2004,18(5):21-22.
Hu J Y, He D G, Zhang Z L. Influence of environmental factors on seed germination of *Bupleurum chinense* DC. [J]. Res. Pract. Chin. Med., 2004,18(5):21-22.
- [11] 蔡丽艳,顾琳琳.赤霉素对柴胡种子发芽率的影响[J].吉林林业科学,2010,39(3):43.
- [12] 朱利君,张红敏.水杨酸对北柴胡种子萌发的影响[J].江苏农业科学,2013,41(2):206-208.
Zhu L J, Zhang H M. Effects of salicylic acid on seed germination of *Bupleurum chinense* DC. [J]. Jiangsu Agric. Sci., 2013,41(2):206-208.
- [13] 杨越冬,周永国,齐印阁,等.壳聚糖对冬小麦种子萌发过程中生理活性影响[J].种子,2002,8(3):3-5.
Yang Y D, Zhou Y G, Qi Y G, et al.. Investigation for effects of chitosan on physiological activities in seed germination of wheat [J]. Seed, 2002, 8(3):3-5.
- [14] 杨桦,周祖基.壳聚糖对种子萌发及幼苗生长的影响[J].四川林业科技,2008,29(1):39-42.
Yang H, Zhou Z J. The effect of chitosan on the sprouting of seeds and the growth of seedlings [J]. J. Sichuan Forestry Sci. Technol., 2008,29(1):39-42.
- [15] 李丽,董银卯,姚霞,等.茉莉酸甲酯对植物酚类成分代谢影响研究进展[J].中药材,2014,37(11):2109-2112.
Li L, Dong Y M, Yao X, et al.. Research progress on the effects of methyl jasmonate on the metabolism of phenolic compounds in plants [J]. Chin. Med. Mat., 2014,37(11):2109-2112.
- [16] 葛淑俊,孟义江,甄瑞,等.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 S J, Meng Y J, Zhen R, et al.. The influence of different treatment on seed germination of *Bupleurum chinense* DC. [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2006,22(4):178-180.
- [17] 赵立子,张婕,魏建和,等.柴胡种子质量分级标准[J].中国农学通报,2012,28(7):207-211.
Zhao L Z, Zhang J, Wei J H, et al.. Research on quality grading standards of *Radix Bupleuri* seeds [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2012,28(7):207-211.
- [18] 苑克俊,李震三,张道辉,等.梨果实体积新测算方法的建立[J].农业系统科学与综合研究,1999,15(2):130-132.
Yuan K J, Li Z S, Zhang D H, et al.. Developing new method for estimation of pear fruit volume [J]. Syst. Sci. Comp. Stud. Agric., 1999,15(2):130-132.
- [19] 张志良,翟伟菁,李小芳.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2009,103-104.
- [20] 曲春香,沈颂东,王雪峰,等.用考马斯亮蓝测定植物粗提液中可溶性蛋白质含量方法的研究[J].苏州大学学报(自然科学版),2006,22(2):82-85.
Qu C X, Shen S D, Wang X F, et al.. Method research of measuring soluble protein contents of plant rough extraction using coomassie brilliant blue [J]. J. Suzhou Univ. (Nat. Sci.), 2006,22(2):82-85.
- [21] 陶贵荣,齐建红,张金芳.柴胡种子在萌发过程中淀粉酶和可溶性糖的变化初步研究[J].西安文理学院学报(自然科学版),2009,12(3):21-24.
Tao G R, Qi J H, Zhang J F. The primary study about the changes of α - and β -amylases, soluble sugars during the germination of seeds with different treatments in *Bupleurum chinense* DC. [J]. J. Xian Univ. Arts Sci. (Nat. Sci.), 2009,12(3):21-24.
- [22] 朱利君,张红敏.水杨酸对北柴胡种子萌发的影响[J].江苏农业科学,2013,41(2):206-208.
Zhu L J, Zhang H M. Effects of salicylic acid on seed germination of *Bupleurum chinense* DC. [J]. Jiangsu Agric. Sci., 2013,41(2):206-208.
- [23] 马艳芝,客绍英.柴胡幼苗越冬抗寒性及其相关生理指标筛选[J].西北植物学报,2014,34(4):786-791.
Ma Y Z, Ke S Y. Cold resistance and related physiological indexes identification of *Bupleurum* seedlings during wintering stage [J]. Acta Bot. Boreali-Occident Sin., 2014,34(4):786-791.
- [24] 祝丽环,黄婷.种子萌发过程中的生理变化[J].生物学教学,2011,36(4):65-66.
Zhu L H, Huang T. Physiological changes during seed germination [J]. Biol. Teach., 2011,36(4):65-66.

- [25] 陶贵荣, 齐建红, 田佩, 等. 柴胡种子在萌发过程中氨基酸和蛋白质变化的初步研究[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2008, 11(3): 20-24.
Tao G R, Qi J H, Tian P, *et al.*. Preliminary study of the changes of amino acids and proteins' sort and content during the germination of seeds with different treatments in *Bupleurum chinense* DC. [J]. J. Xian Univ. Arts Sci. (Nat. Sci.), 2008, 11(3): 20-24.
- [26] 杨玉珍, 李生平, 吴青霞, 等. 银杏种子萌发过程中蛋白质及3种氮代谢酶活性的变化[J]. 南京林业大学学报, 2006, 30(4): 119-122.
Yang Y Z, Li S P, Wu Q X, *et al.*. The dynamic changes of proteins and activities of nitrogen metabolism enzymes in *Ginkgo biloba* seeds during germination [J]. J. Nanjing Forestry Univ., 2006, 30(4): 119-122.
- [27] 欧鸥. 植酸和脱落酸对杂交水稻种子萌发的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 硕士学位论文, 2014.
Ou O. Effects of phytic acid and abscisic acid on the germination of hybrid rice seed [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, Master Dissertation, 2014.
- [28] 白永富, 卢秀萍. 烟草种子萌发期间可溶性蛋白质含量与游离氨基酸含量的相关性研究[J]. 中国农学通报, 2006, 8(22): 286-288.
Bai Y F, Lu X P. The correlation between the soluble protein content and the free amino acid during germination of tobacco seeds [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2006, 8(22): 286-288.
- [29] 潘瑞焱, 王小菁, 李娘辉, 等. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006, 286-288.
- [30] 陈丽培, 沈永宝. 油松种子萌发初始阶段物质代谢的研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(2): 69-73.
Chen L P, Shen Y B. Material metabolism of *Pinus tabulaeformis* seeds during initial germinating stage [J]. J. Beijing Forestry Univ., 2010, 32(2): 69-73.
- [31] 姚入宇, 陈兴福, 谌琴琴, 等. 人工老化对青川产北柴胡种子生理生化特性的影响[J]. 中草药, 2014, 45(6): 844-848.
Yao R Y, Chen X F, Shen Q Q, *et al.*. Effects of artificial aging on physiological and biochemical characteristics of *Bupleurum chinense* seeds from Qingchuan county [J]. Chin. Tradit. Herbal Drugs, 2014, 45(6): 844-848.

(责任编辑: 温小杰, 李艳华)