

刘艳梅,陈 凯,张同林. 不同处理方式对桔梗种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(20):141-145.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.20.026

不同处理方式对桔梗种子萌发的影响

刘艳梅¹, 陈 凯², 张同林¹

(1. 南昌师范学院生物系, 江西南昌 330032; 2. 南昌师范学院化学系, 江西南昌 330032)

摘要:以桔梗种子为研究对象,研究不同预处理方式对桔梗种子萌发的影响,旨在筛选出一种简便、成本低且环保的能促进种子萌发的方法,为大规模种植桔梗提供理论依据。结果表明:种子千粒质量为 0.863 5 g,吸水率为 61.10%,种子内存在活性较高的内源抑制物。在 25 ℃ 条件下,用一定浓度的木醋酸、赤霉素和硝酸钾溶液处理能明显促进种子萌发,其中 100 mg/L 赤霉素处理种子的发芽率最高,为 47.78%;稀释 500 倍的木醋酸处理种子的发芽率为 41.11%;5 mg/mL 硝酸钾溶液处理种子的发芽率为 31.11%。因此,从经济、简便的角度考虑,建议在生产实践中,桔梗种子预处理方式为:25 ℃ 条件下用稀释 500 倍的木醋酸浸种 24 h 后再播种,可有效提高种子萌发率,此方法对桔梗的种子育苗及人工栽培具有重要的指导意义。

关键词:桔梗;试剂处理;种子萌发;种子休眠;内源抑制物

中图分类号:S567.23+9.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)20-0141-05

桔梗 [*Platycodon grandiflorum* (Jacq.) A. DC.] 是桔梗科桔梗属多年生双子叶草本植物,同时也是一种药食兼有观赏价值的植物^[1]。桔梗作为一种传统中药,以根入药,在我国最早的本草《神农本草经》中已有记载,其主要活性成分是皂苷,具有镇咳、抗炎、降血压、降血糖、减肥、抗肿瘤、提高人体免疫力等广泛的药理活性^[2-3]。桔梗除作药用外,其嫩苗和根都可以食用,在我国东北以及日本、韩国、朝鲜等是一种常见蔬菜,具有很高的营养价值^[4]。另外,由于桔梗花期较长,花色鲜艳,有紫色、白色、黄色和粉色等,是我国重要的鲜切花之一,同时也是园林造景中常采用的药用花卉^[5]。随着桔梗越来越多的药用价值与经济价值被发现,人们对桔梗的需求量越来越大,我国许多地区已经开

始人工种植。但是在自然状态下,桔梗种子结籽率低,种子寿命短,生活力不高,萌发周期长且易发霉,这极大地限制了桔梗大规模生产和应用^[6]。因此,有必要找到一种合适的萌发方式可以应用在生产实践中。

种子是植物繁衍和度过不良环境的主要载体,种子萌发由遗传因素和外界环境条件共同决定^[7-8]。不同植物由于种子形态结构迥异,因此影响种子萌发的因素也差异较大^[9]。桔梗不属于深度休眠的种子,而是因为其内部含有较高活性的内源抑制性物质^[10-11]。目前,国内关于桔梗种子方面的研究大多集中在逆境胁迫和栽培方面^[12-14]。虽然在浸种处理方面也开展了较多研究,但从研究结果看,大多数研究主要是局限于实验室的理想萌发条件的筛选,在生产实践中可操作性差^[15-17]。因此,本研究通过对比不同处理方式的发芽情况,旨在筛选出一种简便且环境友好的种子浸种剂,来指导桔梗种子生产实践,为实现人工大规模栽培奠定基础。

收稿日期:2020-01-10

基金项目:国家自然科学基金地区科学基金(编号:31560057);江西省教育厅科技项目(编号:GJJ181082、GJJ161238);南昌师范学院“11531”工程项目。

作者简介:刘艳梅(1986—),女,安徽萧县人,博士研究生,讲师,主要从事园艺植物遗传育种研究。E-mail:yanmliu@126.com。

[22] 任凤玲,张旭博,孙 楠,等. 施用有机肥对中国农田土壤微生物量影响的整合分析[J]. 中国农业科学,2018,51(1):119-128.

[23] 刘 睿,王正银,朱洪霞. 中国有机肥料研究进展[J]. 中国农学报,2007,23(1):310-313.

[24] 张 磊,张晓煜,亢艳莉,等. 土壤肥力对酿酒葡萄品质的影响[J]. 江西农业大学学报,2008,30(2):226-229,234.

[25] 柳玲玲,王文华,杨再刚,等. 不同生物有机肥对钩藤产量、品质及土壤生物性状的影响[J]. 中国土壤与肥料,2018(3):116-121.

[26] 李 娟,葛 磊,曹婷婷,等. 有机肥施用量和耕作方式对旱地土壤水分利用效率及作物生产力的影响[J]. 水土保持学报,2019,33(2):121-127.

1 材料与方法

1.1 材料

桔梗干燥成熟种子购于北京绿鑫生物科技发展有限公司,市售普通大白菜[*Brassica campestris* L. spp. *chinensis* (L.) Makino]种子,保存于 4 ℃ 冰箱中。本试验于 2018 年 12 月开始,在南昌师范学院生物系植物生理实验室进行。

1.2 方法

1.2.1 种子形态观察和千粒质量测定 种子的千粒质量代表种子的饱满程度,是农业生产上的重要指标之一,可以计算单位质量的粒数和播种量。随机选取 100 粒桔梗种子,观察种子的颜色,测量种子的长度和宽度,8 次重复。采用百粒质量法测定种子的千粒质量。计算公式为:千粒质量(g) = $10 \times (m_1 + m_2 + \dots + m_8) / 8$,其中 m_1, m_2, \dots, m_8 为随机选取的每 100 粒桔梗种子的质量。

1.2.2 种子吸水规律测定 随机称取 3 份桔梗种子,每份 50 粒,质量分别为 26.7、25.6、26.9 mg。将其置于 25 ℃ 下的培养箱中,用纱布包好放入烧杯中,加自来水吸胀,分别于 1、2、3、4、6、8、10、12、24、36、48 h 后取出种子,用滤纸吸干种子表面水分。采用质量法测定种子吸水情况,根据吸水前后质量的变化计算吸水率。具体公式如下:

$$\text{吸水率} = \text{吸水量} / \text{浸前量} \times 100\%$$

1.2.3 桔梗种子内含抑制物测定 随机称取 4 份桔梗种子,每份 0.5 g。将称取的种子置于烧杯中,分别用自来水浸泡桔梗种子 12、24、36、48 h,然后取其浸泡液处理白菜种子 30 min,每次处理 50 粒,每个处理重复 3 次。然后将白菜种子放入双层滤纸培养皿中,以自来水浸种作为对照。将其放置在光照培养箱(25 ℃)中培养,1 d 后观察白菜种子的萌发状况,并统计其萌发率。

1.2.4 浸种时间对桔梗种子萌发的影响 用自来水分别浸泡桔梗种子 4、8、12、16、24、48 h,以筛选最佳浸种时间。每个处理取 30 粒桔梗种子,重复 3 次。双层滤纸放入培养皿中作为发芽床,将培养皿置于 25 ℃ 左右的光照培养箱中培养(光照 12 h,黑暗 12 h)。

1.2.5 不同试剂对桔梗种子萌发的影响 设置 3 种不同外源物质处理桔梗种子,具体如下:(1) GA_3 处理,浓度分别为 10、20、50、80、100、150、200 mg/L。

(2) KNO_3 处理,浓度分别为 2.5、5、10、15、20 mg/mL 的 KNO_3 。(3) 木醋液处理,设稀释 50、100、200、500、1 000、1 500 倍的木醋液。以上处理均浸种 24 h,每个处理取 50 粒桔梗种子,重复 3 次,以自来水浸种 24 h 为对照,所有处理结束后,用蒸馏水洗涤桔梗种子 2~3 次,双层滤纸放入培养皿中作为发芽床,置于 25 ℃ 的培养箱中(光照 12 h,黑暗 12 h)培养。

1.2.6 数据统计与分析 每天观察桔梗种子的萌发情况,1 周后统计桔梗种子的发芽率。试验过程中保持滤纸湿润,以胚根突破种皮 1 mm,作为种子发芽的标准。

每天定时统计日发芽量,10 d 后统计发芽势:

$$\text{发芽势} = \text{前 10 d 发芽种子数} / \text{种子总数} \times 100\%$$

$$\text{发芽率} = \text{前 20 d 发芽种子数} / \text{供试种子数} \times 100\%$$

使用 SPSS 19.0 对数据进行单因素方差分析,Origin 7.5 进行作图。

2 结果与分析

2.1 种子形态观察、千粒质量测定和吸水规律

桔梗种子多为椭圆形、深褐色、有光泽,非常小,长 0.21~0.29 cm,宽 0.08~0.19 cm,种子的千粒质量约为 0.863 5 g。桔梗种子 48 h 吸水的吸水率见图 1。桔梗种子的吸水过程可分为 3 个阶段:0~2 h 种子快速吸水,2~12 h 种子开始缓慢吸水,12 h 后吸水基本停止,最高吸水率约为 61.11%。

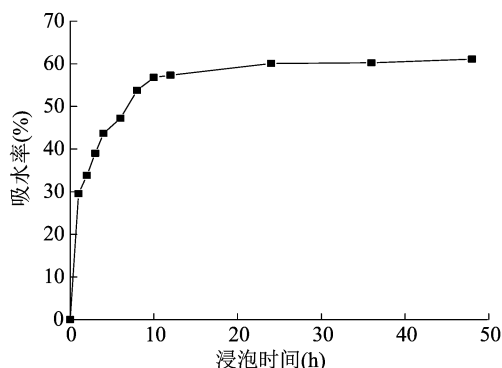


图1 浸泡时间对桔梗种子吸水率的影响

2.2 桔梗种子内含物的测定

从表 1 可知,桔梗种子水浸液对白菜种子的发芽有较显著的抑制作用。随着浸种时间的延长,各水浸液的抑制活性呈先升高后降低的趋势。浸泡 24 h 后的桔梗种子水浸液对白菜种子萌发抑制作用最强,白菜发芽率为 53.33%,与对照组相比,其发芽率降低了 34 百分点且差异显著,随后随着浸泡

时间的延长,其抑制作用减弱。由此可见,桔梗种子水浸液中存在抑制种子发芽的水溶性抑制物,且其抑制物的抑制强度随浸泡时间的变化而变化。

表 1 种子水浸液对白菜种子发芽率的影响

组号	桔梗种子水浸液时间 (h)	发芽率 (%)
1	12	63.33 ± 4.06ab
2	24	53.33 ± 1.33a
3	36	64.00 ± 7.57ab
4	48	68.00 ± 2.31b
5	CK	87.33 ± 1.76c

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。表 3 ~ 表 5 同。

2.3 浸种时间和温度对桔梗种子萌发的影响

由表 2 可知,桔梗种子的发芽率随着浸种时间的延长,呈现先上升后下降的趋势,但各处理之间差异不显著。当浸种 24 h 时,发芽率达到最高,为 26.67%,但 24 h 后发芽率开始下降。因此,在桔梗种子播种前,建议用水浸泡 24 h。

表 2 不同浸种时间对桔梗种子发芽率的影响

组号	浸泡时间 (h)	发芽势 (%)	发芽率 (%)
1	4	15.34 ± 0.12	17.78 ± 1.11
2	8	16.34 ± 1.32	18.89 ± 4.44
3	12	17.12 ± 2.33	18.89 ± 2.94
4	16	20.27 ± 1.41	20.00 ± 0.00
5	24	23.51 ± 1.03	26.67 ± 1.92
6	48	20.14 ± 2.72	21.11 ± 2.94

2.4 不同试剂处理对桔梗种子萌发的影响

2.4.1 赤霉素(GA_3)对桔梗种子萌发的影响 从表 3 可以看出,桔梗种子经不同浓度的赤霉素处理后,其发芽率可以得到明显的提高。当分别用 50、80、100、150、200 mg/L GA_3 处理桔梗种子时,桔梗的发芽率表现为先上升后降低的趋势。当用 100 mg/L 赤霉素处理桔梗种子时,其发芽率最高,为 47.67%,较对照组高 29 百分点,与对照组有显著差异。此外,其他处理组的桔梗种子发芽率与对照组相比差异显著。当 GA_3 浓度为 200 mg/L 时,其发芽率最低,为 31.00%,但比对照组高 12.33%。由此可见,赤霉素对促进桔梗种子萌发具有明显的促进作用,但是浓度过高对桔梗种子萌发促进作用不明显。其中,当 GA_3 浓度为 100 mg/L 时,其促进作用最强。

表 3 不同浓度的赤霉素对桔梗种子发芽率的影响

序号	赤霉素浓度 (mg/L)	发芽势 (%)	发芽率 (%)
1	10	20.0 ± 1.73b	24.67 ± 2.33ab
2	20	21.0 ± 1.73b	24.33 ± 2.96ab
3	50	26.67 ± 2.03	32.33 ± 2.91b
4	80	36.67 ± 2.03c	43.67 ± 3.33cd
5	100	41.33 ± 2.96c	47.67 ± 2.91d
6	150	25.67 ± 2.96b	33.33 ± 5.24bc
7	200	23.33 ± 2.03b	31.00 ± 4.16b
8	CK	13.03 ± 1.15a	18.67 ± 2.96a

2.4.2 硝酸钾(KNO_3)对桔梗种子萌发的影响

从表 4 可知,不同浓度的 KNO_3 溶液对桔梗种子的发芽率有一定影响。其中当硝酸钾浓度为 5 mg/mL 时,桔梗种子发芽率最高,达到 31.11%,较对照组高 12.22 百分点,但与对照组相比差异不显著。当硝酸钾浓度为 20 mg/mL 时,桔梗种子发芽率最低,低于对照组 8.87 百分点,可见高浓度的硝酸钾溶液不利于桔梗种子的萌发。因此,当用 KNO_3 处理种子时,建议使用浓度为 5 mg/mL。

表 4 不同硝酸钾浓度对桔梗种子发芽率的影响

组号	硝酸钾浓度 (mg/mL)	发芽势 (%)	发芽率 (%)
1	2.5	20.38 ± 4.98b	27.78 ± 5.88b
2	5	28.21 ± 3.99c	31.11 ± 4.01b
3	10	15.18 ± 7.86b	18.18 ± 8.89ab
4	15	16.34 ± 1.61b	17.78 ± 1.11ab
5	20	9.12 ± 2.12a	10.02 ± 3.32a
6	CK	16.84 ± 3.01b	18.89 ± 2.94ab

2.4.3 木醋酸液对桔梗种子萌发的影响 由表 5 可知,桔梗种子的发芽势随着木醋酸液稀释倍数的增加先增大后减小。稀释 500 倍的木醋酸浸泡桔梗种子,其发芽率最高,可以达到 41.11%,其发芽率较对照组高 22.22 百分点,其发芽势较对照组高 18.42%。稀释 50 倍的木醋酸发芽率最低,且低于对照组 11.09 百分点,可见高浓度的木醋酸有显著抑制桔梗种子萌发的作用。当用稀释 500、1 000、1 500 倍的木醋酸处理桔梗种子时,其发芽率均高与对照组且差异显著。可见,将木醋酸稀释 100 ~ 1 500 倍可以促进桔梗种子的萌发。

3 讨论与结论

桔梗种子中存在着活性较高的内源抑制物质,

表 5 不同稀释倍数的木醋酸对桔梗种子发芽率的影响

组号	稀释倍数	发芽势 (%)	发芽率 (%)
1	50	5.80 ± 1.23a	7.80 ± 1.11a
2	100	20.12 ± 1.54b	22.22 ± 2.94b
3	200	23.46 ± 2.94c	26.67 ± 3.85b
4	500	38.34 ± 3.85d	41.11 ± 4.84c
5	1 000	32.54 ± 3.95d	37.78 ± 4.45c
6	1 500	30.78 ± 3.12d	37.78 ± 2.94c
7	CK	16.84 ± 3.01b	18.89 ± 2.94b

且种子寿命短,贮藏至 12 个月,其发芽率不到 10%,甚至更低,这极大限制了桔梗的大规模栽培^[18-19]。

3.1 桔梗种子休眠原因探究

通过测定桔梗种子吸水特性可以发现,其吸水率约为 61.11%。一般认为,在种子吸水萌发阶段,当吸水率达到种子自身质量的 35%~37% 时,种子便能正常萌发^[20]。由此可知,种皮的透水性不是制约桔梗种子萌发的主要因素。

本试验采用桔梗种子水浸液对白菜种子进行浸种处理。结果表明,桔梗种子水浸液能够明显抑制白菜种子发芽,进一步证实了桔梗种子内确实存在较高活性的水溶性内源抑制物。同时通过试验还发现,内源抑制物的抑制作用会随着浸泡时间的延长呈先上升后下降的趋势,这与刘丽等的研究结果^[11]一致。这可能是因为桔梗种子内不仅含有内源性抑制物,也有内源性促进物,且其促进物大多比抑制物更难溶于水。因此,随着浸泡时间的延长,水浸液中抑制物与促进物之间的相互作用在一定程度上会相互抵消,从而使桔梗种子水浸液中的水溶性内源抑制物的活性逐渐减弱。

3.2 桔梗种子发芽条件的确定

种子萌发是植物生长发育的起点,它是植物自身更新环节。同时,种子的萌发必须要以水的适度供应为前提^[21]。本研究将桔梗种子用自来水浸泡不同时间探讨其对桔梗种子萌发的影响时发现,当浸种 24 h 时,其发芽率最高,如果超过 24 h,则发芽率会降低。由此可见,过多或过少的水分渗入种子都会对种子内的某些化学反应造成一定影响^[22],进而影响种子的萌发。浸种时间过长,种子容易腐烂,不利于种子萌发。因此,在实际生产中浸种时应控制好时间,浸种 24 h 有利于促进桔梗种子的萌发。

3.3 不同外源物质处理对桔梗种子萌发的影响

在实际生产中,用外源物质处理种子从而提高种子的发芽率是比较常见的一种处理方法。本研究通过用不同浓度的赤霉素、硝酸钾溶液以及稀释不同倍数的木醋酸溶液对桔梗种子进行处理时发现,10~150 mg/L 赤霉素、2.5~5.0 mg/mL 硝酸钾溶液以及稀释 100~1 500 倍的木醋酸对桔梗种子的发芽率均有不同程度的提高。但是用 200 mg/L 赤霉素、10~25 mg/L 硝酸钾溶液和稀释 50 倍的木醋酸处理桔梗种子后,不但没有促进桔梗种子的萌发,反而会抑制桔梗种子的萌发。

赤霉素是一类具有生物活性的高效植物生长调节剂,在种子的萌发中起着重要的调节作用,其作用机制是通过解除种子内部抑制种子胚生长的物质,如脱落酸、乙烯等,使细胞能够进行分裂和分化,从而促使种子内胚由休眠状态转化为生长状态^[23-24],但是高浓度的赤霉素溶液却不利于种子的萌发^[25]。因此,当赤霉素的浓度为 100 mg/L 时,桔梗种子发芽率达到 47.78%。这表明用适宜浓度的赤霉素对桔梗种子进行浸种处理可以提高桔梗种子的发芽率,促进种子发芽。

前人的研究表明,硝酸钾中的 K⁺ 能够作为酶的激活剂^[26],增加三磷酸腺苷酶(ATP 酶)、烟酰胺腺嘌呤二核苷酸酶(NAD 酶)等多种酶的代谢活性^[27],并诱导植物中生长素的生物合成和活性调节,从而解除种子的休眠性。本研究利用不同浓度的 KNO₃ 溶液对桔梗种子进行浸种处理,结果发现 5 mg/mL 硝酸钾处理对桔梗种子的发芽率的促进效果最好,发芽率为 31.11%,这与谭玲玲等的研究结果^[15]一致。但是当提高硝酸钾溶液的浓度时,桔梗种子发芽率降低。虽然通过 KNO₃ 处理后,桔梗种子的发芽率与对照组相比并无显著差异,但是发芽率还是有所提高。

木醋酸也称为植物酸,它是在高温下由木材等生物质经过干馏设备干馏后产生的一种成分复杂的副产品^[28],在木材工业上也是一种废弃物。因此将木醋酸转化为一种有用的物质,将其变废为宝,对木材产业的发展会有重大意义。研究表明,木醋酸可在农业上作为植物生长调节剂、农药添加剂、木醋酸肥料,还可以防治病虫害等^[29-31]。前人的研究表明,木醋酸在一定程度上可以促进种子萌发,其含有的酸类物质中乙酸是促进种子萌发最重要的成分^[32]。本研究发现,当用稀释 500 倍的木醋酸

处理桔梗种子后,其发芽率可高达 41.11%,可见其对桔梗种子的萌发具有明显的促进作用。另外,稀释 1 000、1 500 倍的木醋酸也能明显地提高种子的发芽率。当用稀释 50 倍的木醋酸处理桔梗种子时,其发芽率为 7.80%,明显低于对照组。可见,高浓度的木醋酸不利于桔梗种子萌发,这可能是因为高浓度的木醋酸对种子有一定的毒害作用。

综上所述,在生产实践中,从环保和简单方便的角度考虑,可用稀释 500 倍的木醋酸,在 25 ℃ 条件下浸种 24 h,该处理方法简便、易行,可大面积推广使用。

参考文献:

- [1] 袁亚民,黄丽娟,桑景拴. 药用植物在城市绿化中的应用[J]. 中国林副特产,2012(3):101-102.
- [2] Suk W K, Myung J O, Jang R L. Somatic embryogenesis and plant regeneration in zygotic embryo explant cultures of rugosa rose[J]. Plant Biotechnology Reports,2009,3(3):199-203.
- [3] Pei L X, Bao Y W, Ma L, et al. A sensitive method for determination of platycodin D in rat plasma using liquid chromatography/tandem mass spectrometry and its application to a pharmacokinetic study[J]. Planta Medica,2012,78(3):244-251.
- [4] 庞立杰,王彦,许永华,等. 桔梗的药用价值及其栽培[J]. 人参研究,2003,15(4):38-39.
- [5] 郭巧生. 药用植物栽培学[M]. 北京:高等教育出版社,2004:8.
- [6] 刘自刚,张雁,王新军,等. 桔梗育种研究进展[J]. 中草药,2006,37(6):附6-附8.
- [7] 杨期和,尹小娟,叶万辉. 硬实种子休眠的机制和解除方法[J]. 植物学通报,2006,23(1):108-118.
- [8] 罗冬,王明玖,李元恒,等. 四种豆科牧草种子萌发和幼苗生长对干旱的响应及抗旱性评价[J]. 生态环境学报,2015,24(2):224-230.
- [9] 杜建材,王照兰,赵丽丽,等. 不同处理方法破除扁蓿豆品系 90-36 种子硬实的效果研究[J]. 种子,2011,30(4):37-41.
- [10] Adams E, Shin R. Transport, signaling, and homeostasis of potassium and sodium in plants[J]. Journal of Integrative Plant Biology,2014,56(3):231-249.
- [11] 刘丽,赵荣梅,郭巧生. 桔梗种子内源发芽抑制物质研究[J]. 江苏农业科学,2008(6):143-145.
- [12] 刘自刚,沈冰,张雁. 干旱胁迫对桔梗种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(10):162-168.
- [13] 祝丽香,王建华,房信胜,等. 铝处理对桔梗种子萌发和幼苗生理的影响[J]. 中国中药杂志,2010,35(24):3255-3259.
- [14] Soo - Jeong K, Hye - Rim K, Swapan K R, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on growth characteristics of two species of bellflower (*Platycodon grandiflorum*) [J]. Journal of Crop Science and Biotechnology,

2019,22(5):481-487.

- [15] 谭玲玲,胡正海. 不同浸种处理对桔梗种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中草药,2013(4):468-472.
- [16] 张承,龙友华,和桂秋,等. 生长调节剂浸种对桔梗种子萌发及生长的影响[J]. 中药材,2015,38(1):21-24.
- [17] 于营,朴向民,张维友,等. 不同处理对桔梗种子萌发特性的影响[J]. 种子,2017,36(11):34-37.
- [18] 杨美全,曾维群,罗建,等. 桔梗种子生物学特性研究[J]. 现代中药研究与实践,1994(1):16-17.
- [19] 郭巧生,赵荣梅,董其享,等. 不同贮藏方法对桔梗种子生命力影响的初步研究[J]. 中国中药杂志,2007,32(14):1465-1467.
- [20] 霍仕平,张兴端,向振凡,等. 玉米种子萌发阶段的吸水率研究[J]. 玉米科学,2004,12(4):54-56,59.
- [21] 李茹,陈国奇,张玉华,等. 油菜和小麦秸秆水浸提液对千金子种子萌发和幼苗生长的影响及其应用[J]. 江苏农业学报,2018,34(2):293-298.
- [22] 田甜. 桔梗种子萌发生理生态特性研究[D]. 长春:吉林农业大学,2008.
- [23] 王金祥,李玲,潘瑞炽. 高等植物中赤霉素的生物合成及其调控[J]. 植物生理学通讯,2002,38(1):1-8.
- [24] Ravindran P, Kumar P P. Regulation of Seed germination: the involvement of multiple forces exerted via gibberellic acid signaling[J]. Molecular Plant,2019,12(10):1416-1417.
- [25] Nimir N E A, Lu S Y, Zhou G S, et al. Comparative effects of gibberellic acid, kinetin and salicylic acid on emergence, seedling growth and the antioxidant defence system of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) under salinity and temperature stresses[J]. Crop and Pasture Science,2015,66(2):145.
- [26] Gattward J N, Almeida A A, Souza J J, et al. Sodium - potassium synergism in *Theobroma cacao*: stimulation of photosynthesis, water - use efficiency and mineral nutrition[J]. Physiologia Plantarum,2012,146(3):350-362.
- [27] 张菊平,张艳敏,康业斌,等. 硝酸钾处理对不同贮藏年限辣椒种子发芽的影响[J]. 种子,2005,24(4):28-30.
- [28] Simma B, Polthance A, Goggi A S, et al. Wood vinegar seed priming improves yield and suppresses weeds in dryland direct - seeding rice under rainfed production [J]. Agronomy for Sustainable Development,2017,37(6):56.
- [29] Chalermisan Y, Peerapan S. Wood vinegar; by - product from rural charcoal kiln and its role in plant protection[J]. Asian Journal of Food and Agro - Industry,2009,189-195.
- [30] Wititsiri S. Production of wood vinegars from coconut shells and additional materials for control of termite workers, *Odontotermes* sp. and striped mealy bugs, *Ferrisia virgata* [J]. Songklanakarin Journal of Science and Technology,2011,33(3):349-354.
- [31] 刘长风,李敏,高品一,等. 木醋液的来源、成分及其应用研究进展[J]. 中国农学通报,2016,32(1):28-32.
- [32] 卢辛成,蒋剑春,孙康,等. 木醋液的制备、精制与应用研究进展[J]. 林产化学与工业,2017,37(3):21-30.