

添加纳米 TiO_2 制作的人工种皮对种子萌发的影响

谷睿智¹, 吴沿友^{1,2}, 滕博群¹, 吴沿胜¹, 姚香萍¹

(1. 江苏大学 农业装备工程学院, 现代农业装备与技术教育部重点实验室, 江苏 镇江 212013;

2. 中国科学院 地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 环境生物科学与技术研究中心, 贵州 贵阳 550002)

摘要:以诸葛菜组织培养中产生的不定芽为繁殖体, 海藻酸钠为包埋基质, 添加纳米 TiO_2 制作人工种皮, 观察添加不同浓度的纳米 TiO_2 对诸葛菜人工种子萌发和抗菌能力的影响, 将纳米 TiO_2 与 NAA 以及多菌灵的作用进行对比并研究共同作用。结果表明: 纳米 TiO_2 具有与 NAA 相似的生长素作用, 并且显著提高萌发生根速度, 二者具有协同作用; 无菌条件下 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA + $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ TiO_2 + $1/2 \text{ MS}$ + 3% 蔗糖的组合使诸葛菜人工种子萌发率达到 100%, 生根率达到 80%, 为最佳组合; 有菌条件下添加 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 纳米 TiO_2 试验组 15 d 污染率仅为 5.6%, 萌发率达 83.33%, 为最佳组合。纳米 TiO_2 和多菌灵混合作用反而使萌发率和抗菌能力大幅降低。

关键词: 诸葛菜; 人工种子; 纳米 TiO_2 ; 萌发率

中图分类号: S 604⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2016)12-0020-05

人工种子(artificial seeds)是 MURASHIGE 在 1978 年国际园艺植物学会上首次提出的概念^[1], 欧共体将人工种子的研制列入“尤里卡”计划, 我国也于 1987 年将其列入国家高新技术研究与发展计划(863 计划)。经过 30 余年的研究, 现在主要形成了以海藻酸钠为包埋材料的人工种子制作体系, 通过调节激素和营养物质的配比来满足繁殖体的生长需求, 通过添加不同材料来改良人工种皮保水性差、营养物质易泄露、抗污染能力差等^[2-3] 缺陷。

第一作者简介: 谷睿智(1989-), 男, 硕士研究生, 研究方向为植物组织培养。E-mail: 532891474@qq.com.

责任作者: 吴沿友(1966-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 现主要从事生物技术与生态学等研究工作。E-mail: yanyouwu@uj.sjtu.edu.cn.

基金项目: 江苏省高校优势学科资助项目(苏政办[2014]37 号)。

收稿日期: 2016-02-14

纳米 TiO_2 是一种重要的功能材料, 在建材、环保、医疗、化妆品领域都有重要的应用前景^[4], 其具有独特的光催化作用^[5], 在可见光尤其是紫外光照射下, 具有极强的氧化性和还原性, 具备分解有机物和杀菌功能^[6]。在植物学领域目前纳米 TiO_2 多用于作物浸种研究, 已经证明一定浓度的纳米 TiO_2 对几种植物种子的萌发都有显著促进作用^[7-9], 但其很少被应用于人工种子的制作, 张桂芳等^[10] 将纳米 TiO_2 应用于铁皮石斛人工种子制作, 证明纳米 TiO_2 可以明显提高萌发率。该试验在此基础上将进一步讨论纳米 TiO_2 对人工种子萌发生根的影响, 并研究其在人工种子中的防腐杀菌作用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试所用包埋材料为诸葛菜组培苗的不定芽。

Abstract: *Xanthoceras sorbifolia* Bunge seed was used as test materials, using ten different pregermination methods, including heating in water bath, different concentration of H_2SO_4 , KNO_3 , PEG-6000 and other reagents were used to treat *Xanthoceras sorbifolia* Bunge seeds, the germination rate, vigor, germination potential and other germination parameters were investigated after induction budding, and different pregermination methods were compared and analyzed, to screen methods for rapid release of dormancy suitable for *Xanthoceras sorbifolia* Bunge. The results showed that, the germination rate of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge seeds was increased in different degrees by being treated with 80°C water bath heating, 4% KNO_3 solution, 5% PEG-6000 solution, GA_3 solution, 2% KNO_3 solution, 10% PEG-6000 solution, seed pre-soaking with 4°C distilled water and 50% H_2SO_4 solution. By contrast, the germination rate of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge seeds was inhibited by high concentration H_2SO_4 solution. The germination rate of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge seeds heated in 80°C water bath for 10 minutes could be increased to 55.83%, which was 9.3 times of untreated.

Keywords: *Xanthoceras sorbifolia* Bunge; seeds; dormancy; germination rate

不定芽的获取方法:将诸葛菜组培苗接种于添加了 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA(6-苄氨基嘌呤), $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA(萘乙酸), 琼脂含量为 $6.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 MS 培养基上, 环境温度控制在 $(24 \pm 1)^\circ\text{C}$; 光照时间 $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$; 光照强度 $2\,000 \sim 3\,000 \text{ lx}$, 30 d 后切取长度小于 8 mm 的不定芽, 用无菌水洗净待用。

1.2 试验方法

1.2.1 诸葛菜人工种子无菌萌发试验 主要考察纳米 TiO_2 和 NAA 对诸葛菜人工种子影响的异同, 以纳米 TiO_2 和 NAA 的浓度为变量。因纳米 TiO_2 会对海藻酸钠的粘稠度和硬度产生影响, 为方便试验, 海藻酸钠(S. A.)的浓度参照纳米 TiO_2 的浓度做出适当变动。不含纳米 TiO_2 的试验组添加 4% 海藻酸钠, 其它试验组每增加 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 纳米 TiO_2 就相应增加 1% 海藻酸钠, 所用试验组都添加 3% 蔗糖。最终设计 17 种组合见表 1。在超净试验台上进行操作, 将准备好的诸葛菜不定芽放入 1~17 组包埋材料中, 用自制胶头滴管吸入一个不定芽, 滴入浓度为 2% 的 CaCl_2 溶液中进行离子交换 10 min, 在无菌水中清洗 5 min, 放在 MS+0.65% 琼脂+3% 蔗糖的培养基上进行培养, 每个处理 5 颗种子, 重复 3 次。培养条件 $(24 \pm 1)^\circ\text{C}$, 光照时间 $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$, 光照强度 $2\,000 \sim 3\,000 \text{ lx}$, 每天观察记录开始萌发生根时间, 30 d 后统计萌发生根率。

表 1 无菌试验组设计

试验组	TiO_2	海藻酸钠	萘乙酸
Experimental group	$/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	S. A. /%	NAA/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
1	10	5	0.2
2	20	6	0.2
3	30	7	0.2
4	40	8	0.2
5	10	5	0.1
6	20	6	0.1
7	30	7	0.1
8	40	8	0.1
9	10	5	0.0
10	20	6	0.0
11	30	7	0.0
12	40	8	0.0
13	0	4	0.0
14	0	4	0.1
15	0	4	0.2
16	0	4	0.3
17	0	4	0.4

表 2 萌发生根时间

试验组	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Experimental group																	
开始萌发时间	5	3	3	2	5	3	3	4	10	6	4	4	—	13	9	7	8
Germination time/d																	
开始生根时间	15	13	18	21	20	16	14	15	—	19	18	17	—	—	22	18	20
Rooting time/d																	

1.2.2 诸葛菜人工种子有菌萌发试验 挑选无菌条件下萌发生根效果最好的 3 组人工种子配方, 并在原配方基础上添加 $0, 10, 20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 多菌灵进行试验。在实验室自然环境中制作人工种子, 置于基质为珍珠岩的穴盘中, 基质中添加霍格兰培养液, 每个试验组 12 粒种子, 重复 3 次。盖上透明塑料盖, 放在室外阴凉处自然环境下萌发, 30 d 温度范围 $17 \sim 30^\circ\text{C}$, 平均每天日光直射时间约为 6 h, 在 15、30 d 各观察 1 次萌发率和污染率。

1.3 项目测定

以繁殖体突破种皮 3 mm 为标准判定人工种子萌发, 以生出肉眼可见须根判定为人工种子生根。萌发率(%)=出芽人工种子/播种总数 $\times 100$; 生根率(%)=生根人工种子/播种总数 $\times 100$, 污染率(%)=肉眼可见污染种子数/播种总数 $\times 100$ 。

2 结果与分析

2.1 纳米 TiO_2 对诸葛菜人工种子无菌条件下萌发、生根率的影响

2.1.1 诸葛菜人工种子萌发和生根时间 由表 2 可以看出, 添加了纳米 TiO_2 的诸葛菜人工种子在 2 d 开始萌发, 13 d 生根; 未添加纳米 TiO_2 的试验组最早在 7 d 后开始萌发, 18 d 开始生根。同一浓度 NAA 条件下纳米 TiO_2 浓度越高人工种子萌发速度越快, 全部超过未添加纳米 TiO_2 的试验组; 生根速度与未添加纳米 TiO_2 的试验组相比也有明显提升, $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 试验组人工种子生根速度在添加 $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 纳米 TiO_2 时达到峰值, $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 试验组人工种子生根速度在添加 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 纳米 TiO_2 时达到峰值, 更高浓度的纳米 TiO_2 反而导致生根速度变慢。表 2 中 9~12 组仅添加纳米 TiO_2 , 14~17 组仅添加 NAA, 仅含有纳米 TiO_2 试验组比仅含有 NAA 试验组平均萌发时间快 3.25 d, 平均生根速度快 2 d。1~8 组为混合组, 同时含有纳米 TiO_2 和 NAA, 平均萌发速度和平均生根速度均快于单独添加其中一者。

2.1.2 NAA 和纳米 TiO_2 对诸葛菜人工种子的单独作用 NAA 是一种生长素类激素, 它起到与生长素类似的作用, 低浓度促进生长, 高浓度抑制生长, 甚至杀死植物。试验的 14~17 组为仅添加 NAA 一种生长激素的人工种子, 13 组为空白对照。其人工种子萌发

率和生根率见图1。可以看出,随着NAA水平的提升诸葛菜人工种子的萌发率和生根率随之提高,在NAA含量为 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达到最高,萌发率100%,生根率60%, $0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA反而使萌发率和生根率下降,对诸葛菜人工种子生长产生抑制作用,与NAA的特性相符。试验的9~12组为仅添加纳米 TiO_2 的人工种子,13组为空白对照。其人工种子萌发率和生根率见图2。可以看出,在仅含有纳米 TiO_2 的诸葛菜人工种子中,随着纳米 TiO_2 含量的增加诸葛菜人工种子萌发率和生根率升高,在纳米 TiO_2 含量为 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达到最大值,分别为87.5%和37.5%, $40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 纳米 TiO_2 反而使萌发率和生根率下降。对比图1、2的萌发生根率变化趋势可以看出,纳米 TiO_2 在诸葛菜人工种子中发挥与NAA相类似的作用。单独添加纳米 TiO_2 和单独添加NAA的试验组萌发率和生根率变化趋势相同,都存在一个能使对人工种子萌发生根起到最大作用的浓度,更高的浓度则表现为对种子生长的抑制,由此可知,纳米 TiO_2 可以作为一种植物生长素。只添加NAA的试验组比只添加纳米 TiO_2 的试验组萌发率平均提高12.9%,生根率平均高12.5%。纳米 TiO_2 在促进诸葛菜人工种子快速萌发生根方面作用更好,NAA在提高萌发生根率方面更为有效。

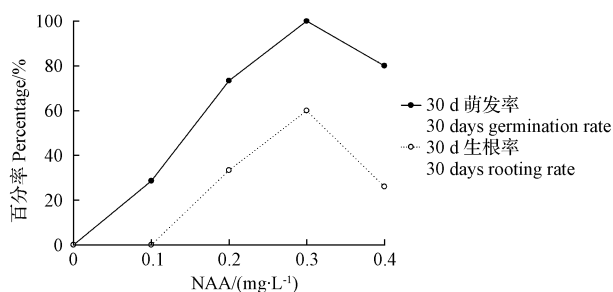


图1 只含NAA种子30 d萌发生根率

Fig. 1 30 days NAA seeds' germination and rooting rate

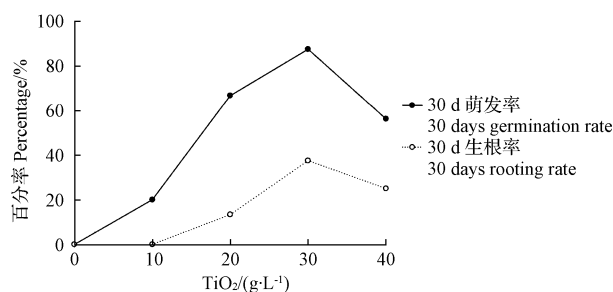


图2 只含纳米 TiO_2 种子30 d萌发生根率

Fig. 2 30 days nano TiO_2 seeds' germination and rooting rate

2.1.3 NAA和纳米 TiO_2 在诸葛菜人工种子中的协同作用 由图3、4可以看出,试验在 0.1 、 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA水平上分别添加 0 、 10 、 20 、 30 、 $40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 纳米

TiO_2 ,共10组。在 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA水平下当纳米 TiO_2 含量达到 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时萌发率达到100%,且并不随纳米 TiO_2 浓度增加变化,生根率在纳米 TiO_2 为 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达到80%,继续增加纳米 TiO_2 浓度生根率反而下降;在 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA水平下当纳米 TiO_2 含量达到 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时萌发率达到100%并随着 TiO_2 浓度增加几乎保持不变,生根率在 TiO_2 浓度为 $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达到最高73.3%,然后随着 TiO_2 浓度增加下降。在2个水平的NAA浓度下,添加纳米 TiO_2 都显著增加了人工种子的萌发率,并且二者发挥协同作用使萌发率达到最高后几乎维持不变,不随纳米 TiO_2 浓度增加变化,这点与单独添加NAA或纳米 TiO_2 的试验中萌发率存在一个峰值不同,这种现象可能与2种物质对植物生长促进作用的机理不同有关。二者在对生根率的影响却表现出与单独添加2种物质的生根率曲线比较一致,都存在通过不断添加激素或纳米材料使生根率上升的过程,达到一个峰值后继续添加则会使生根率不断下降。这可能是因为根部对生长素的浓度变化更为敏感。

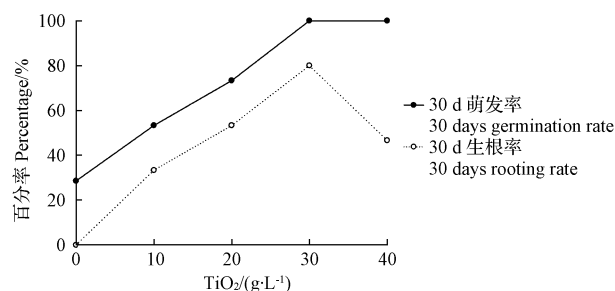


图3 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA种子30 d萌发生根率

Fig. 3 30 days $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA seeds' germination and rooting rate

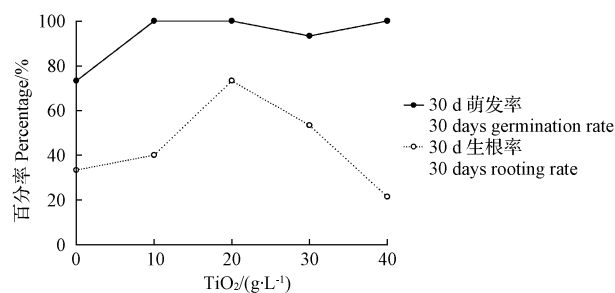


图4 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA种子30 d萌发生根率

Fig. 4 30 days $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA seeds' germination and rooting rate

2.1.4 NAA和纳米 TiO_2 的最佳配比 从图5可以看出,第1、2、3、4、7、8组萌发率均超过90%,第11组萌发率达到87.5%,均为萌发率较高的试验组,第16组为仅添加了 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA的试验组。可以认为以上几组纳米 TiO_2 和NAA的不同配比组合在促进诸葛菜人

工种子萌发效果上等同于 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 的促进效果。生根率超过 50% 的试验组有第 2、3、6、7、16 组, 其中第 2、7 组萌发率较高, 生根率超过仅含有 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 的第 16 组, 分别为 73.3% 和 80.0%, 是较优组合, 因此选取 2、7、16 组材料配比作为有菌萌发的试验基础。

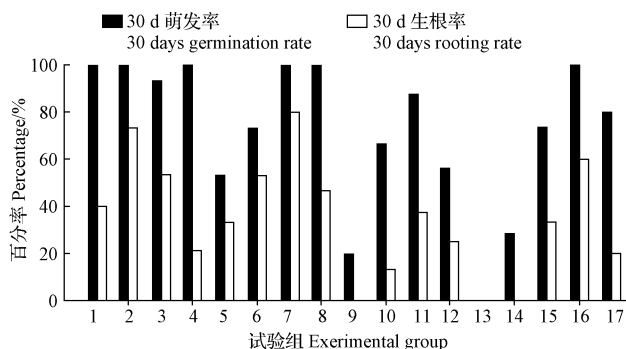


图 5 无菌条件下 30 d 种子萌发生根率

Fig. 5 30 days seeds' germination and rooting rate under sterile conditions

2.2 纳米 TiO_2 的抗菌作用

各试验组萌发率基本在 15 d 达到最大, 30 d 因污染或纳米 TiO_2 的毒性部分诸葛菜死亡, 没有试验组种子可以生根。

试验组 1 是不添加任何杀菌剂的空白对照组, 在有菌环境下不能成活。由表 3 可以看出, 1% 的多菌灵不能起到防止人工种子污染的作用, 2% 多菌灵可以起到一定抗菌作用, 但会杀死全部诸葛菜外植体。只添加纳米 TiO_2 的 2 组都有较高萌发率, 添加 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ TiO_2 的组 7 在 15 d 污染率为 5.6%, 30 d 污染也仅为 30.6%, 虽然萌发率比试验组 4 略低, 但综合来看, 可以认为是最佳组。第 5、6、8、9 组是混合组, 在一定浓度 TiO_2 基础上同时添加多菌灵显著降低萌发率, 添加 2% 多菌灵会杀死全部人工种子。

从试验结果可知, 多菌灵作为传统杀菌剂用于诸葛菜人工种子防腐效果并不理想, 浓度还未达到对环境污染有较好的抑制效果就足以杀死诸葛菜外植体, 这与多菌灵在其它植物人工种子中的表现不同^[11-12], 这可能是因为包埋选择的繁殖体不同, 不同植物对多菌灵的耐受性有差异; 与多菌灵相比纳米 TiO_2 在阳光照射下有显著的抗菌作用且毒害作用小。二者混合后抗菌能力显著下降, 这可能因为多菌灵作为有机物会被纳米 TiO_2 的光催化作用降解^[13], 消耗了一部分光反应中产生的 $\cdot\text{OH}$, 羟自由基决定纳米 TiO_2 抗菌能力^[14], 并且多菌灵的添加降低了种子透光性, 从而降低了光反应的效率, 二者作用相互抵消, 但一同添加对外植体的毒性并没有降低, 因此表现为萌发率低抗菌效果差。

因为不能生根, 纳米 TiO_2 在幼苗体内积累, 时间越

久毒害作用越强, 30 d 萌发的幼苗部分死亡, 剩下幼苗始终不能像在无菌环境中那样生根转株, 可能是因为自然环境远不及实验室光照和温度稳定, 也可能和培养的基质有关。

表 3 有菌 15 d 萌发率和污染率

Table 3 15 days germination rate and contamination rate %

试验组 Experimental group	杀菌剂 Bactericide	15 d 萌发率 15 days germination rate	15 d 污染率 15 days contamination rate	30 d 污染率 30 days contamination rate
1	空白	0.00	100.00	100.00
2	1% 多菌灵	0.00	100.00	100.00
3	2% 多菌灵	0.00	55.60	100.00
4	$20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ TiO_2	91.67	11.10	47.20
5	1% 多菌灵 + $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ TiO_2	11.11	33.30	80.60
6	2% 多菌灵 + $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ TiO_2	0.00	27.80	83.30
7	$30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ TiO_2	83.33	5.60	30.60
8	1% 多菌灵 + $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ TiO_2	19.44	25.00	72.20
9	2% 多菌灵 + $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ TiO_2	0.00	27.80	75.00

3 结论与讨论

该试验进行了种皮含有纳米 TiO_2 的诸葛菜人工种子制作、萌发生根效果、人工种子防腐等方面的研究。试验结果表明, 在无菌条件下萌发率最高可达到 100%, 生根率最高可达到 80%。NAA 与纳米 TiO_2 具有协同作用, 二者作用机理不同^[15], NAA 是一种生长素, 普遍认为生长素是通过细胞壁可塑性的增加活化细胞中的质子泵, 将 H^+ 导入细胞壁中使细胞壁酸化, 使细胞壁中对酸不稳定的键断裂, 使细胞壁中的某些多糖水解酶活化或增加, 从而使连接木葡聚糖与纤维素微纤维之间的键断裂, 使细胞壁松弛, 细胞的压力势下降, 导致细胞的水势下降, 细胞吸水, 体积增大而发生不可逆增长。纳米 TiO_2 在光照条件下会产生大量羟基自由基, 植物所处环境中的自由基含量的升高可直接作用于植物体或诱导植物体内自由基含量的升高, 一方面羟基自由基的增加使植物细胞的 pH 增大, 植物为了平衡自身内部环境提高质子泵效率, 产生大量 H^+ , 酸化细胞壁, 从而达到和生长素类似的效果; 另一方面羟基自由基的增加诱导植物抗氧化系统活力的提高, 提高植物抗逆能力, 激发多种生理功能^[16-17], 但当环境中自由基过多, 超过植物自身清除能力时就会表现为对植物的损伤和抑制; 张萍^[18]在黄瓜叶片上喷洒纳米 TiO_2 , 通过测量光合机能、光合色素含量、植株生长量、根系活力等多个方面植物生理指标支持了这一说法。试验证明二者共同作用不仅可以提高萌发生根率, 还可以显著提高萌发生根速度。

在有菌条件下, 诸葛菜人工种子萌发率为 0, 添加传

统杀菌剂多菌灵不能解决诸葛菜人工种子萌发率低污染率高的问题,但是添加 $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 纳米 TiO_2 作为防腐剂可使人工种子萌发率达到 91.67%, $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的纳米 TiO_2 可使人工种子在 15 d 内基本不受污染,这为人工种子防腐能力的研究提供了新的思路。

试验中虽然添加纳米 TiO_2 可以显著改善其抗污染能力,但如果种子不能快速生根从外界获取养分,纳米 TiO_2 会使幼苗体内自由基含量过高,损伤组织,使叶片发白,最终植株死亡。目前研究主要通过添加保水剂来增强人工种子保水能力,多种杀菌剂混合使用来提高人工种子抗菌能力,但效果都不明显。想要解决以上 2 种问题需要发现新的包埋材料,或者多层包埋将杀菌剂置于外种皮,营养物质和激素置于内种皮,来减轻杀菌剂对种子的毒害作用,减少内层营养物质的污染,以提高诸葛菜人工种子的萌发率、生根率和抗菌能力,这将是下一步研究的思路。

参考文献

- [1] MURASHIGE T. The impact of plant tissue culture on agriculture [C]//THORPED T, ed. Frontiers of plant tissue culture. The international association for plant tissue culture. Canada: University of Calgary Alberta, 1978:15-26.
- [2] 王文国,王胜华,陈放. 植物人工种子包被与储藏技术研究进展[J]. 种子,2006,25(2):51-57.
- [3] 陈晓东,赖钟雄. 果树人工种子研究进展[J]. 中国农学通报,2011,27(2):84-98.
- [4] 窦瑶,尹国强. 纳米二氧化钛的应用研究进展[J]. 广州化工,2011,39(14):4-6.
- [5] 李大成,周大利,刘恒,等. 纳米 TiO_2 的特性[J]. 四川有色金属,2002(3):12-16,40.
- [6] 徐瑞芬,徐秀艳,付国柱. 纳米 TiO_2 在涂料中的抗菌性能研究[J]. 北京化工大学学报,2002,29(5):45-48.
- [7] 苏爱华,林匡飞,张卫,等. 纳米 TiO_2 对油菜种子发芽与幼苗生长的影响[J]. 农业环境科学学报,2009,28(2):316-320.
- [8] 谢寅峰,姚晓华. 纳米 TiO_2 对油松种子萌发及幼苗生长生理的影响[J]. 西北植物学报,2009,29(10):2013-2018.
- [9] 郭莉,王丹军,王晓润,等. 纳米 TiO_2 对豌豆萌发及生长的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(18):5352-5353,5355.
- [10] 张桂芳,黄松,刘宏源,等. 铁皮石斛人工种子制作及影响因素研究[J]. 中草药,2011,42(9):1812-1816.
- [11] 曾颖苹,朱乾坤,王万军. 铁皮石斛人工种子包衣技术研究[J]. 北方园艺,2012(17):155-158.
- [12] 秦自清,赵婷,邱静,等. 霍山石斛人工种子包埋繁殖体和萌发[J]. 生物工程学报,2008,24(5):803-809.
- [13] 陈建秋,王铎,姜红瑞. 多菌灵与五氯酚钠的光降解和光催化降解初探[J]. 现代农药,2006,5(2):38-40.
- [14] 熊建裕. 纳米二氧化钛催化抗菌研究[D]. 重庆:西南大学,2008.
- [15] 黄祥辉. 植物细胞的延长生长[J]. 植物生理学通讯,1984(2):6-11.
- [16] 陆长梅,施国新,吴国荣,等. Hg、Cd 对莼菜越冬芽叶绿素含量及活性氧清除系统的影响[J]. 湖泊科学,1999(4):322-327.
- [17] 陆长梅,吴国荣,周长芳,等. 悬铃木越冬芽在冬季的生理适应[J]. 西北植物学报,2001,21(4):650-655.
- [18] 张萍. 纳米 TiO_2 光半导体植物抗菌材料及其生物学效应研究[D]. 北京:中国农业科学院,2007.

Effect of Artificial Seed Coat Containing Nano TiO_2 on Germination

GU Ruizhi¹, WU Yanyou^{1,2}, TENG Boqun¹, WU Yansheng¹, YAO Xiangping¹

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, the Ministry of Education of the People's Republic of China, Institute of Agricultural Equipment Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013; 2. Research Center for Environmental Bio-science and Technology/State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002)

Abstract: The *Orychophragmus violaceus* adventitious buds produced in tissue culture were used as propagules, the sodium alginate added nano TiO_2 was made into artificial seed coat. The effect of different concentration of nano TiO_2 on artificial seeds germination and antibacterial ability was observed, the differences between nano TiO_2 with NAA or carbendazim and the interactions of them were studied. The results showed that nano TiO_2 had the similar auxin action with NAA, and significantly increased the germination and rooting rate, and the two had a synergistic effect. Combination $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA + $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ TiO_2 + $1/2\text{MS} + 3\%$ sucrose under sterile conditions made *Orychophragmus violaceus* artificial seeds' germination rate reached 100% and rooting rate reached 80%, was the best combination; the experimental group added $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ nano TiO_2 under natural conditions made contamination rate reached 5.6%, germination rate reached 83.33%, was the best combination. The experimental group containing both nano TiO_2 and carbendazim significantly reduced the germination rate and antibacterial ability.

Keywords: *Orychophragmus violaceus*; artificial seeds; nano TiO_2 ; germination rate