

李娟,申军艳,陈枫,等. 2 种乙烯抑制剂对连作地黄生长的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):332-335.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.10.108

2 种乙烯抑制剂对连作地黄生长的影响

李娟¹, 申军艳¹, 陈枫¹, 聂铭¹, 王俊¹, 王丰青¹, 陈新建¹, 张重义^{1,2}

(1. 河南农业大学农学院, 河南郑州 450002; 2. 福建农林大学中药材 GAP 研究所, 福建福州 350002)

摘要:通过对地黄生长过程中乙烯合成及转运途径的干扰,减轻地黄化感自毒作用的效果,为消减地黄连作障碍提供理论依据和技术支持。在地黄重茬地块选取 6 个小区,分别以乙烯合成抑制剂氨基乙酸(AOAA)、乙烯受体抑制剂 1-甲基环丙烯(1-MCP)的 3 个浓度进行处理,并选取正茬、重茬地黄作为对照,根据地黄的死亡率、生长指标、相对电导率、超氧化物歧化酶(SOD)活性、根系活力等指标探讨阻断植株体内乙烯释放对连作地黄生长的影响。结果表明,经乙烯抑制剂 1-MCP、AOAA 处理的地黄植株,与重茬对照植株相比死亡率明显降低、相对电导率减小、超氧化物歧化酶活性增加、根系活力增加、植株生长状况得到改善。乙烯抑制剂 1-MCP、AOAA 对地黄生长过程中乙烯的合成途径造成干扰,从而减轻地黄连作障碍。

关键词:地黄;连作障碍;乙烯;氨基乙酸(AOAA);1-甲基环丙烯(1-MCP)

中图分类号: S567.23+9.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)10-0332-04

连作障碍即重茬问题,已严重影响我国药用植物的生产及产业化进程,据统计,药用植物中约 70% 的根类药材在生产中均存在连作障碍^[1]。地黄(*Rehmannia glutinosa* L.)为玄参科多年生草本植物,是我国著名的“四大怀药”之一,也是根类药材中连作障碍最为严重的典型代表之一。地黄种植 1 年之后需隔 8~10 年方可再种,连作时可表现为植株生长不良,块根不能正常膨大,产量、品质明显下降,甚至绝收^[2]。为探究地黄连作障碍的产生原因和机理,通过土壤环境监测、植株生理生化指标测定、正茬及重茬地黄 cDNA 差异转录组文库的构建、响应地黄连作障碍关键基因和特定 miRNAs 的筛选鉴定,基本确定了“化感物质→钙信号传导途径→乙烯产生→染色质修饰→基因表达抑制→DNA、RNA、蛋白质合成受阻→植物伤害表现”,这可能为地黄体内涉及连作毒害信号的感知、传导、响应、效应的“毒害机理”^[3-8]。

前期研究证明,钙信号系统与乙烯合成系统的关键基因在连作地黄中均得到了高水平表达^[9]。通过研究钙信号调控对地黄连作障碍的影响,探索地黄连作障碍的消减技术。结果表明,经 IP3 抑制剂、钙释放通道抑制剂处理后,钙信号响应元件的 CBL、CBP、CIBP、PLC 等关键基因的表达均显著下调;对不同处理植株表型的调查也表明,钙阻断后的植株生物量显著高于未被阻断的对照植株^[10]。目前,基于植物钙信号调节的化学调控大多处于理论研究阶段。乙烯是一种重要的内源性植物激素,具有生物活性和复杂的生物学功能,并调节植物生长发育和许多生理生化过程,也被认为是一种胁迫应答激素,其合成及信号传导途径已在很多植物中被证

实^[11-12]。利用乙烯抑制剂对抗植物早熟,从而延长存放时间,已被广泛应用于果蔬、花卉保鲜行业^[13-15]。本研究利用乙烯抑制剂控制连作地黄生长过程中乙烯的释放,从而切断化感自毒物质的信号传导过程,以减轻地黄连作障碍。

为证明关于连作障碍“毒害机理”的推断,探明干扰乙烯合成及释放途径对连作地黄生长的影响,以连作地黄为试验材料,外援施加乙烯合成抑制剂氨基乙酸(AOAA)、乙烯受体抑制剂 1-甲基环丙烯(1-MCP),从而控制重茬地黄体内乙烯的含量,测定受试地黄的产量、死亡率、相对电导率、超氧化物歧化酶(SOD)活性、根系活力等指标,以期阐明地黄连作障碍的作用机理,为消减技术体系的建立提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试材与试剂

供试地黄品种为温 85-5;块根繁殖材料芦头(种栽)由温县农业科学研究所提供,经河南农业大学高致明教授鉴定为地黄(*Rehmannia glutinosa* L.)。氨基乙酸(AOAA)购自西安永泰生物科技有限公司,1-甲基环丙烯(1-MCP)购自兰州嘉诚生物技术有限公司。

1.2 试验方法

试验于 2013 年 4—10 月在温县农业科学研究所试验田内进行。供试块根大小一致、部位相同,种植前经多菌灵浸种处理。于地黄种植后 70 d 开始试验,AOAA 浓度设 1.00、0.50、0.25 mmol/L,分别进行灌根;1-MCP 浓度设 0.20、0.10、0.05 g/L,于塑料棚内熏蒸处理 12 h,为防止高温期密闭伤害,熏蒸处理于傍晚至翌日清晨进行。每个浓度选择 20 株地黄进行处理,每隔 1 周处理 1 次,共处理 6 次,另设正茬、重茬地黄作为对照。每次处理前调查受试地黄的死亡率,并测定其地上部直径作为生长指标。从首次处理后 1 周开始,测定受试地黄叶片的 SOD 活性和相对电导率。于最后 1 次处理结束后 1 周进行采收。

收稿日期:2015-04-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:81102756、31271674、81373910);

河南省教育厅自然科学研究计划(编号:2010B180012)。

作者简介:李娟(1980—),女,河南人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事药用植物资源学及化学生态学的研究。E-mail: juanli2003@126.com。

1.3 测定项目

每次处理前,记录地黄地上部直径、死亡植株数量,并测定其 SOD 活性和相对电导率。SOD 活性的测定参照文献[16],并进行改良;相对电导率的测定参照文献[17]。以上生理指标每个处理取样 10 株,剪取地黄植株地上部分进行测定,重复测定 3 次。于最后一次处理结束后 1 周进行采收,采收时测定地黄的根系活力、地上部分鲜质量、地下部分鲜质量。根系活力的测定参照郑坚等的方法^[18],重复 3 次。

采用 IBM SPSS 19.0 软件对试验数据进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 乙烯抑制剂对连作地黄死亡率及生长指标的影响

由图 1 可知,乙烯抑制剂处理对连作地黄的死亡率影响较大,采收时死亡率为 0.25 mmol/L AOAA > 0.05 g/L 1-MCP > 重茬 > 0.50 mmol/L AOAA > 1.00 mmol/L AOAA > 0.20 g/L 1-MCP > 0.10 g/L 1-MCP > 正茬。1.00 mmol/L AOAA 处理的植株,前期死亡率高于未经处理的重茬地黄,第 4 次处理前死亡率已低于重茬地黄;0.50 mmol/L AOAA 处理的植株,前期死亡率接近于重茬地黄,第 4 次处理后死亡率开始低于重茬地黄;0.10 g/L 1-MCP 处理的植株,前期死亡率接近于重茬地黄,第 3 次处理后死亡率开始低于重茬地黄;0.20 g/L 1-MCP 处理的植株,死亡率始终低于重茬地黄,表明 1-MCP 处理对抑制连作地黄乙烯释放具有更好、更快的效果。然而,在 0.25 mmol/L AOAA、0.05 g/L 1-MCP 处理组,第 1 次施药后 1 周的死亡率高于重茬地黄,且整个生长期死亡率均高于重茬地黄,至采收时死亡率达 100%。可见,低浓度乙烯抑制剂不能减缓地黄的连作障碍,反而在一定程度上增加其连作发病率,这与广泛存在于生物生长发育过程中的 Hormesis 效应相吻合。Hormesis 效应别称小剂量刺激效应,即很多化合物在不同浓度时出现的“低促高抑”现象^[19]。试验结果表明,施加低浓度乙烯抑制剂反而刺激了受试地黄乙烯的释放,致使连作地黄的死亡率增加。

由图 2 可知,乙烯抑制剂对受试地黄地上部直径的影响较小,不同浓度、类型的乙烯抑制剂均可在一定程度上提高受试地黄的地上部直径,且各浓度 1-MCP 的处理效果优于同等浓度的 AOAA,但远未达到正茬地黄的水平,且与重茬地黄的地上部直径差异不显著。正茬地黄、重茬地黄的地上部直

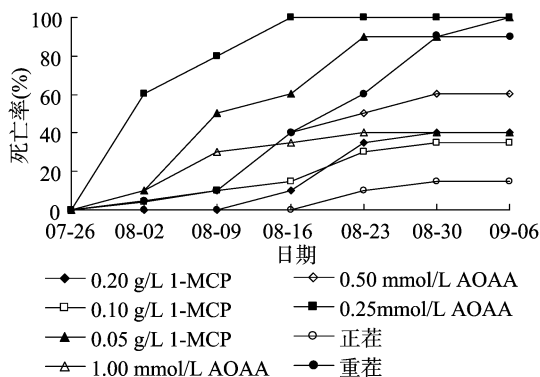


图1 乙烯抑制剂对连作地黄死亡率的影响

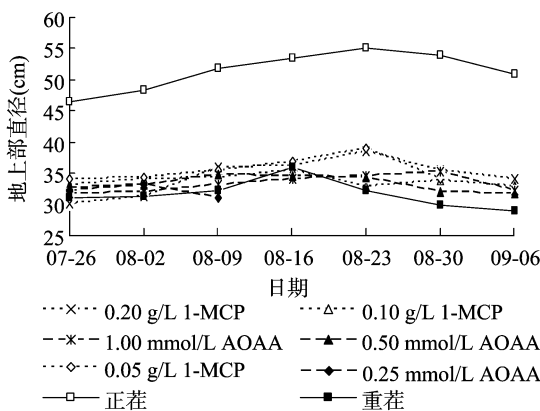


图2 乙烯抑制剂对连作地黄地上部分直径的影响

径最高值分别出现于 8 月 23 日、8 月 16 日,而经乙烯抑制剂处理的受试地黄,其地上部直径最高值的出现日期与正茬地黄一致或更晚。可见,重茬地黄存在早衰现象,而乙烯抑制剂可在一定程度上能缓解早衰。

乙烯抑制剂对受试地黄的地上、地下鲜质量影响较大,其块根鲜质量依次为正茬 > 1.00 mmol/L AOAA > 0.20 g/L 1-MCP > 0.50 mmol/L AOAA > 0.10 g/L 1-MCP > 重茬(表 1)。经 1.00 mmol/L AOAA 处理的受试地黄,其存活植株的地下块根鲜质量平均值为 100.5 g,几乎达到正茬地黄的水平,与重茬地黄差异极显著,连作障碍消减率达 62.8%;其次为 0.20 g/L 1-MCP 处理组,其平均地下块根鲜质量为 54.1 g,与重茬地黄差异显著,连作障碍消减率达 32.5%。

表 1 乙烯抑制剂对连作地黄地上、地下鲜质量的影响($\bar{x} \pm s, n=10$)

指标	0.20 g/L 1-MCP	0.10 g/L 1-MCP	0.05 g/L 1-MCP	1.00 mmol/L AOAA	0.50 mmol/L AOAA	0.25 mmol/L AOAA	正茬	重茬
地上鲜质量(g)	8.3±2.3	12.1±3.3	—	42.2±6.8**	5.0±1.3*	—	28.0±4.3**	16.7±4.9
地下鲜质量(g)	54.1±8.9*	28.2±7.3	—	100.5±10.6**	38.5±3.1	—	105.3±9.2**	25.5±6.9

注: *、** 分别表示跟重茬相比在 0.05、0.01 水平下差异显著;“—”表示测量时已全部死亡。下表同。

2.2 乙烯抑制剂对连作地黄 SOD 活性的影响

SOD 活性的高低代表植物抵御逆境能力的大小。由表 2 可知,正茬和经过处理的受试地黄的 SOD 活性均呈先增强、后减弱、再增强的趋势。由首次施用乙烯抑制剂后 1 周进行第 1 次测量,经处理的受试地黄 SOD 活性均大幅高于重茬地黄,并接近或高于正茬地黄,此趋势保持至 8 月 9 日(第 2 次施用后 1 周);之后,所有受试地黄的 SOD 活性均显著降低,且同期正茬、重茬地黄的 SOD 活性均有所降低,死亡率持续

上升,此期恰为地黄生育期中各种病害的高发期。8 月 30 日之后,正茬和经高浓度、中浓度乙烯抑制剂处理的受试地黄,其 SOD 活性又增强至正常水平。试验结果表明,乙烯抑制剂 AOAA、1-MCP 处理能够切断植株对化感自毒物质的响应程序,增强 SOD 活性,从而减轻地黄连作障碍。

2.3 乙烯抑制剂对连作地黄细胞膜透性的影响

细胞膜透性的增加与很多逆境因素有关,其数值的大小标志着逆境的强弱,也标志着植株的抗逆能力。在本试验中,

表 2 乙烯抑制剂对连作地黄超氧化物歧化酶的影响($\bar{x} \pm s, n=3$)

U/g

日期 (月-日)	0.20 g/L 1-MCP	0.10 g/L 1-MCP	0.05 g/L 1-MCP	1.00 mmol/L AOAA	0.50 mmol/L AOAA	0.25 mmol/L AOAA	正茬	重茬
08-02	338.6±32.4	327.8±41.3	326.7±23.4	325.6±34.2	329.0±35.6	363.4±29.5	346.7±34.9	273.4±27.0
08-09	369.5±24.7	335.0±45.2	314.0±34.8	329.3±32.6	330.2±32.9	335.1±43.5	345.4±33.4	267.2±28.9
08-16	221.2±23.1	233.6±27.4	279.6±34.5	243.1±23.3	220.9±23.4	—	273.7±32.6	238.3±35.6
08-23	242.5±29.6	296.5±26.7	297.3±28.0	251.3±32.6	234.3±33.1	—	280.8±31.7	240.4±29.5
08-30	326.2±36.3	333.9±46.4	204.1±23.8	328.0±34.4	308.0±34.0	—	327.4±43.5	280.8±30.1
09-06	309.3±21.4	326.1±37.1	—	307.3±34.5	324.7±32.6	—	340.7±33.3	271.2±20.9

地黄的细胞膜透性由叶片的相对电导率表示。由表 3 可知,正茬地黄相对电导率的变化趋势为先降低后升高再降低,于 8 月 9 日开始升高,至 8 月 16 日出现 1 个高峰期,相对电导率达到 69.1%,但在 8 月 23 日很快回落至 25.8%,表明此期间是地黄生长过程中逆境最严重的时期,但胁迫时间较短,伤害较小,地黄尚可恢复至正常水平。经 0.20、0.10 g/L 1-MCP 处理的受试地黄植株,其相对电导率的变化趋势与正茬地黄

相似,受试植株的电导率于 8 月 16 日达到峰值后可较快恢复至正常水平。而经 AOAA 处理的受试地黄,其相对电导率的变化趋势更接近于重茬地黄,恢复能力相对较慢。重茬地黄的相对电导率最高值出现于 8 月 16 日,达到 79.7%,但其相对电导率在整个生长过程中均处于较高水平,始终高于正茬地黄,表明重茬地黄不仅受到生长过程中短暂的温度、湿度、病虫害等环境胁迫,而始终处于逆境胁迫的环境中。

表 3 乙烯抑制剂对连作地黄相对电导率的影响($\bar{x} \pm s, n=3$)

%

日期 (月-日)	相对电导率(%)						正茬	重茬
	0.20 g/L 1-MCP	0.10 g/L 1-MCP	0.05 g/L 1-MCP	1.00 mmol/L AOAA	0.50 mmol/L AOAA	0.25 mmol/L AOAA		
08-02	51.4±2.3	43.5±8.9	53.1±6.5	43.2±5.8	50.6±8.9	47.1±4.6	39.6±7.6	45.4±3.5
08-09	66.1±4.6	53.9±6.5	34.0±6.4	27.2±4.5	32.0±6.3	43.5±8.4	57.4±7.6	45.0±5.7
08-16	76.0±8.8	80.8±10.3	69.0±7.8	50.1±5.9	71.1±9.7	—	69.1±6.3	79.7±5.8
08-23	36.6±5.9	32.7±4.8	24.2±5.5	47.0±8.4	50.6±5.8	—	25.8±4.3	45.7±7.5
08-30	30.9±6.7	32.0±6.9	47.2±7.8	30.2±8.7	36.6±7.9	—	25.1±4.5	40.2±7.2
09-06	39.7±5.6	38.0±7.8	—	37.4±9.9	39.0±6.8	—	30.6±9.5	57.1±9.6

2.4 乙烯抑制剂对连作地黄根系活力的影响

前期研究结果表明,地黄根区土壤中潜在的化感物质抑制了地黄根系的生长,使根系呼吸作用减弱、脱氢酶活性减弱,根系活力越小则地黄连作障碍越严重^[20]。在本试验中,正茬地黄的根系活力明显高于重茬地黄,根系活力值依次为正茬>1.0 mmol/L AOAA>0.2 g/L 1-MCP>0.1 g/L 1-MCP>0.5 mmol/L AOAA>重茬。施用乙烯抑制剂可提高连作地黄的根系活力,经 0.2 g/L 1-MCP、1.0 mmol/L AOAA 处理的连作地黄根系活力值分别提高至 1.457、1.425 μg/(g·h),接近正茬水平(表 4)。

表 4 乙烯抑制剂对连作地黄根系活力的影响

乙烯抑制剂	浓度	根系活力[μg/(g·h)]
1-MCP	0.20 g/L	1.457±0.265
	0.10 g/L	1.283±0.193
	0.05 g/L	—
AOAA	1.00 mmol/L	1.425±0.237
	0.50 mmol/L	1.104±0.194
	0.25 mmol/L	—
正茬		1.561±0.211
重茬		0.968±0.206

3 结论与讨论

在连作过程中,地黄对化感自毒物质具有感知、传导、响应、效应几个关键阶段,化感物质所引起的基因和蛋白的异常表达是地黄连作障碍的根本原因。前期研究发现,乙烯前体

SAM 合成酶 1Z71、ACC 氧化酶 1V38 在重茬地黄中显著上调,两者均在根部高水平表达,且高峰期出现在块根膨大期,由此推测这 2 种酶均是产生乙烯的关键酶,而乙烯可能是引起地黄连作障碍的直接原因^[9]。本研究通过试验证明,施用乙烯阻断剂 1-MCP、AOAA 可增加地黄的抗逆性,减轻地黄连作障碍。

目前,生产中主要采用 3 种方式进行乙烯调控。利用乙烯清除剂,通过吸收乙烯气体从而降低环境中乙烯的浓度;利用乙烯合成抑制剂,从乙烯生物合成过程 S-腺苷蛋氨酸(SAM)-氨基环丙烷羧酸(ACC)-乙烯(Eth)中的 2 个关键步骤来抑制合成;利用乙烯作用抑制剂竞争植物体内的受体,通过其与乙烯受体可逆或不可逆地结合,阻碍乙烯与受体的正常结合,进而抑制其所诱导的生理生化过程^[21]。由于连作地黄主要是化感自毒物质引起的内源乙烯增加,本研究选取乙烯合成抑制剂 AOAA、乙烯受体抑制剂 1-MCP 对乙烯进行调控。结果表明,低浓度的 1-MCP(0.05 g/L)、AOAA(0.25 mmol/L)处理可增加地黄的连作障碍;中、高浓度的 1-MCP(0.10~0.20 g/L)、AOAA(0.50~1.00 mmol/L)处理对地黄的连作障碍具有一定的消减效应,作用效果随施加浓度的增加而逐渐增强。

虽然 AOAA 可减少植物内源乙烯的释放,但对环境中的乙烯却无能为力,因此在实际生产中具有一定的局限性。1-MCP 是近年来发现的一种新型乙烯受体抑制剂,通过与乙烯受体的不可逆结合抑制内源乙烯的生理效应,并抑制外源乙烯对内源乙烯的诱导作用,目前已作为 STS 的替代品在

国内外大规模使用^[13-15]。本试验中,经 1-MCP 处理的受试植株在成活率、地上部直径、叶片 SOD 活性、相对电导率等方面的作用效果均优于 AOAA 处理,但其地下块根生物量却明显低于 AOAA 处理,这可能与化感自毒物质的作用部位及方式有关。前期试验中,根据乙烯合成关键酶的表达水平、表达部位推断,连作地黄根部产生的乙烯通过维管组织运送至地上部,从而表现出相应毒害作用并引起早衰现象^[9]。在本试验中,AOAA 处理直接作用于植株根部,而 1-MCP 在自然状态下为气态,需在密闭空间中使用,因此 1-MCP 处理采用熏蒸方式,更多作用于植株地上部分;AOAA 处理直接抑制乙烯形成的源头,而 1-MCP 处理主要针对转运后的结果。

药用植物的连作障碍极为复杂,且土壤因成分复杂被研究者称为“黑匣子”,消除连作障碍并对其进行调控绝非易事。本研究证实,通过干扰地黄生长过程中乙烯的合成途径,能够阻碍化感自毒物质的信号传导,进而抑制特异基因的不正常表达,减轻化感自毒物质对植物的毒害作用,消减地黄连作障碍。在抑制地黄乙烯的合成及转运途径方面仅进行了探索性研究,尚需对施用方式、施用时间、作用浓度进行深入研究,以便将此方法大规模应用于生产中。随着对地黄连作障碍分子机理研究的深入,利用转基因技术培养出抑制乙烯合成的地黄品种,在基因水平上阻断化感自毒物质的作用,有可能成为更简单的方式。

参考文献:

- [1] 张重义,林文雄. 药用植物的化感自毒作用与连作障碍[J]. 中国生态农业学报,2009,17(1):189-196.
- [2] 张重义,李明杰,陈新建,等. 地黄连作障碍机制的研究进展与消减策略[J]. 中国现代中药,2013,15(1):38-44.
- [3] 杜家方,尹文佳,张重义,等. 不同间隔年限地黄土壤的自毒作用和酚酸类物质含量[J]. 生态学杂志,2009,28(3):445-450.
- [4] Li Z F, Yang Y Q, Xie D F, et al. Identification of autotoxic compounds in fibrous roots of *Rehmannia* (*Rehmannia glutinosa* Libosch.) [J]. PLoS One, 2012, 7(1): e28806.
- [5] 张重义,陈慧,杨艳会,等. 连作对地黄根际土壤细菌群落多样性的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(11):2843-2848.
- [6] 张重义,尹文佳,李娟,等. 地黄连作的生理生态特性研究[J].

植物生态学报,2010,34(5):547-554.

- [7] 张重义,范华敏,杨艳会,等. 连作地黄 cDNA 消减文库的构建及分析[J]. 中国中药杂志,2011,36(3):276-280.
- [8] Yang Y H, Chen X J, Chen J Y, et al. Differential miRNA expression in *Rehmannia glutinosa* plants subjected to continuous cropping[J]. BMC Plant Biology, 2011, 11(3):53.
- [9] 范华敏,李明杰,郑红艳,等. 地黄中响应连作基因的时空表达与分析[J]. 中国中药杂志,2012,37(20):3029-3035.
- [10] 郭冠瑛,李明杰,王鹏飞,等. 地黄连作障碍中钙信号系统的异常变化分析[J]. 中国中药杂志,2013,38(10):1471-1478.
- [11] Bleeker A B, Kende H. Ethylene: a gaseous signal molecule in plants [J]. Annual Review of Cell and Developmental Biology, 2000, 16(16):1-18.
- [12] Guo H, Ecker J R. The ethylene signaling pathway: new insights [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2004, 7(1):40-49.
- [13] Liguori G, Farina V, Sortino G A, et al. Effects of 1-methylcyclopropene on postharvest quality of white- and yellow- flesh loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) fruit [J]. Fruits, 2014, 69(5):363-370.
- [14] Faasema J, Alakali J S, Abu J O. Effects of storage temperature on 1-methylcyclopropene-treated mango (*Mangifera indica*) fruit varieties [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2014, 38(1):289-295.
- [15] Chang Y A, Lin W L, Hou J Y, et al. Concentration of 1-methylcyclopropene and the duration of its application affect anti-ethylene protection in *Phalaenopsis* [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 153(4):117-123.
- [16] 张志良,瞿伟菁,李小方. 植物生理学实验指导[M]. 4 版. 北京:高等教育出版社,2009:268-269.
- [17] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 2 版. 广州:华南理工大学出版社,2006:64-66.
- [18] 郑坚,陈秋夏,金川,等. 不同 TTC 法测定枫香等阔叶树容器苗根系活力探讨[J]. 浙江农业科学,2008(1):39-42.
- [19] 郭兰萍,张小波,杨光,等. Hormesis 及其在药用植物生产中的应用[J]. 中国中药杂志,2011,36(5):525-529.
- [20] 尹文佳,杜家方,李娟,等. 连作对地黄生长的障碍效应及机制研究[J]. 中国中药杂志,2009,34(1):18-21.
- [21] 林青青. 乙烯在鲜切花中的致衰机理与调控研究进展[J]. 绿色大世界·绿色科技,2010(8):194-196.

(上接第 200 页)

25 mmol/L $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 以上 3 处理对茄子种子的引发效果优于 T1 处理的效果; 而 T1 处理的引发效果优于 T7 处理 150 mg/L GA_3 + 15% PEG、T5 处理 150 mg/L GA_3 + 45 mmol/L CaCl_2 、T2 处理 150 mg/L GA_3 + 0.1 mmol/L SA 等。

笔者的前期研究结果表明,T3、T4 2 种引发剂对西安绿茄种子的引发效果较好^[7],西安绿茄为陈种子,在 20℃ 条件下,引发 4 d; 此次试验中,T3、T4 2 组合对黑又亮紫长茄的引发效果较好; 2 次研究综合表明,150 mg/L GA_3 + 150 mmol/L KNO_3 组合是比较合适的茄子种子引发剂。

参考文献:

- [1] 李明,万丽,姚东伟. 蔬菜种子引发研究进展[J]. 上海农业

学报,2006,22(1):99-103.

- [2] Styer R C, Koranski D S. Plug & transplant production: a grower's guide [M]. University of Wisconsin, 1997:79-81.
- [3] 潜宗伟,吴震,陈海丽,等. 不同引发处理对野生茄子砧木托鲁巴姆萌发的影响[J]. 种子,2001,28(6):12-17.
- [4] 武占会,高志奎,轩淑欣,等. 不同渗透剂对茄子种子的渗透效应研究[J]. 种子,2001(5):27-28.
- [5] 姚东伟,宋小波. 茄子种子发芽技术研究[J]. 长江蔬菜,2006,7(7):57-58.
- [6] 魏述英,朱祝军. 辣椒种子引发技术优化试验[J]. 中国农学通报,2011,27(4):169-172.
- [7] 狄文伟,周彤,赵冰. 辣椒种子引发技术优化试验[J]. 北方园艺,2014(9):12-14.