

# 生长素 IAA 对荷花花期调控的影响

刘艺平,黄志远,梁 露,孟亚南,孔德政  
(河南农业大学 林学院,河南 郑州 450002)

**摘要:**为探讨盆栽荷花在不同质量浓度外源 IAA 处理下的花期变化,以荷花品种青玉为试验材料,选择长势相同的荷花进行 IAA 针管注射及创伤涂抹处理,IAA 质量浓度设置为 0(对照,采用同体积的蒸馏水进行注射)、100、150、200 mg/L,分析各处理的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性和丙二醛(MDA)含量变化,并分析其抗性生理指标间的相关性。结果表明,外源 IAA 胁迫均使荷花花瓣的长宽及最大花径得到了不同程度的增加,观赏效果更好。150 mg/L IAA 处理使初花期提前 2 d,延长了荷花的单花寿命。150 mg/L IAA 处理的 SOD、POD、CAT 活性最大值均显著高于对照组 10.15%、58.70%、13.40%。随着处理时间的增加,MDA 含量持续上升,其中 150 mg/L IAA 处理下其积累量在各个时期均较对照组低,而其余处理变化不明显。谢花期的 SOD 活性分别与 POD 活性和 CAT 活性呈现极显著正相关,POD、CAT 活性呈现显著正相关,三者又分别与 MDA 含量呈现极显著负相关,说明当荷花受到外源胁迫时,体内各种保护酶之间是相互作用的,防止膜脂过氧化,减缓植物细胞衰老,使花期延长。综上,150 mg/L IAA 处理使荷花拥有较好的观花品质并显著提高了各种保护酶的生理活性,减缓了活性氧的积累,延长了荷花的观赏期。

**关键词:**生长素;荷花;花期延长;生理指标;吲哚-3-乙酸

**中图分类号:**S682.32      **文献标志码:**A      **文章编号:**1004-3268(2019)11-0141-05

## The Influence of Auxin IAA on the Flowering Regulation of Lotus

LIU Yiping, HUANG Zhiyuan, LIANG Lu, MENG Yanan, KONG Dezhen  
(College of Forestry, Agricultural University of Henan, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In order to investigate the anthesis changes of potted lotus under different mass concentrations of exogenous IAA, the lotus variety sapphire was used as the experimental material, and the lotus flowers with the same growth were selected for auxin injection and wound application. The IAA mass concentration was set as follows: 0 (CK, injected with distilled water of the same volume), 100, 150 and 200 mg/L were used to analyze the changes in SOD, POD, CAT activities and malondialdehyde (MDA) content of each treatment, and to analyze the correlation between the physiological indicators of resistance. The results showed that exogenous auxin stress increased the length, width and maximum diameter of lotus petals to different degrees, and the ornamental effect was better. The treatment with 150 mg/L IAA advanced the initial flowering period by 2 d, and extended the single flower life of lotus. The maximum values of SOD, POD and CAT activities in 150 mg/L IAA treatment were significantly higher than those in the control group by 10.15%, 58.70%, 13.40%. With the increase of treatment time, the MDA content continued to rise, and the accumulation of 150 mg/L IAA treatment was lower than that of the control at each period, while changes of the other treatments were not obvious. At flower-wilting stage, SOD activity and POD, CAT activities showed very significantly positive correlation, POD activity and CAT activity showed significantly positive correlation, and the three showed a significantly negative correlation with MDA

收稿日期:2019-05-14  
基金项目:河南省重大科技专项(30400098)  
作者简介:刘艺平(1977-),女,河南温县人,副教授,博士,主要从事园林植物栽培生理研究。E-mail:lyp\_163@163.com  
通信作者:孔德政(1965-),男,江苏南京人,教授,博士,主要从事园林植物栽培、组织培养研究。E-mail:kzxy303@163.com

content, respectively, indicated that when lotus suffered exogenous stress, a variety of protective enzymes interacted, prevented membrane lipid peroxidation, slowed down aging of plant cells, and extended flowering period. In summary, 150 mg/L IAA treatment made lotus flower have better flower quality and significantly improved the physiological activity of various protective enzymes, slowed down the accumulation of reactive oxygen species and extended the ornamental period of lotus flower.

**Key words:** Auxin; Lotus; Flowering extension; Physiological index; IAA

荷花 (*Nelumbo nucifera*) 是一种多年生水生草本花卉<sup>[1]</sup>,在我国分布广泛,具有良好的经济与观赏价值,但是由于荷花失水较快、叶子易萎焉、花期较短等原因,一直未被很好地利用。其中由活性氧引起的细胞膜损坏是荷花衰老、花期短的主要原因之一<sup>[2]</sup>,有效控制活性氧的产生对于提高荷花观赏期具有重要意义。

目前,国内外对于荷花的研究主要集中在品种选育<sup>[3]</sup>、花瓣成色机制等方面<sup>[4]</sup>,而对荷花花期的研究为数不多,且主要集中在花瓣与叶片在开花过程中的生理生化变化<sup>[2,5]</sup>,以及施肥、光照和温度的调控方面<sup>[6-7]</sup>,而关于利用吲哚-3-乙酸(IAA)对荷花花期调控的研究和应用尚未见报道。IAA 是一种能促进植物生长的激素,可以维持植物体内超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性处于较高的水平,减少丙二醛(MDA)的积累量,防止膜脂过氧化<sup>[8]</sup>。梁立峰<sup>[9]</sup>认为,植物体内保持一定水平的 IAA 存在,能促进其正常的生长发育,便于成花。夏冬<sup>[10]</sup>研究发现,低质量浓度 IAA (10 mg/L) 能够显著延长冰岛虞美人的单花花期,并且随浓度的增

加单花花期逐渐缩短。以荷花青玉为材料,采用不同质量浓度 IAA 对盆栽荷花进行处理,分析其对体内防御酶活性的影响,旨在为延缓荷花衰老、提高单花寿命提供新途径,并为 IAA 在调控荷花花期中的应用提供理论依据。

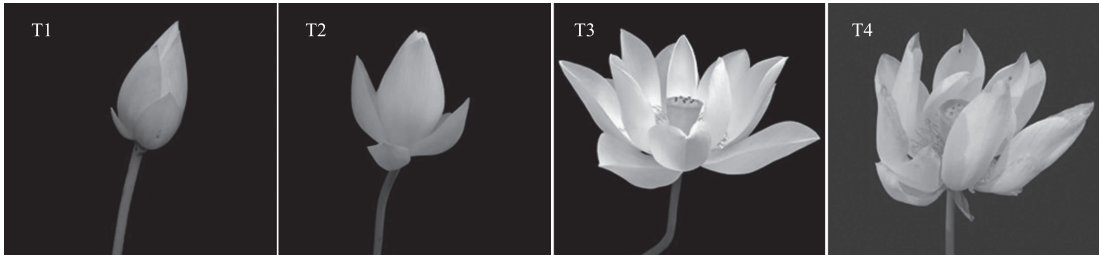
1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料为荷花品种青玉,于河南农业大学第三试验区荷花种植区进行种植及采摘。

1.2 试验方法

选择长势相同的荷花进行 IAA 针管注射及创伤涂抹处理,质量浓度设置为 0 (CK,采用同体积的蒸馏水进行注射)、100、150、200 mg/L。荷花现蕾后,在莲蓬、叶片主脉处注射生长素,然后选择生长状况一致、无病斑的幼株,分别采集现蕾期(T1)、初花期(T2)、盛花期(T3)、谢花期(T4)的荷花花瓣(图 1),用无菌水冲洗并用锡箔纸包好,先在液氮中保存,然后转移到 -80 ℃ 超低温冰箱备用。



T1. 现蕾期;T2. 初花期;T3. 盛花期;T4. 谢花期  
T1. Budding stage; T2. Initial-flowering stage; T3. Full-flowering stage; T4. Flower-wilting stage

图 1 荷花不同发育时期的形态

Fig. 1 Morphology of different developmental stages of lotus

1.2.1 生长发育指标的测定 待荷花进入 T3 后,用游标卡尺和米尺测定不同处理下荷花花朵的最大花径、花萼高及花瓣的长和宽,同时记录单株荷花的单朵花瓣数及花朵数量。统计花期。

1.2.2 生理生化指标的测定 SOD、POD、CAT 活性的测定分别采用李合生的氮蓝四唑(NBT)法、愈创木酚比色法和过氧化氢法<sup>[11]</sup>。MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法<sup>[12]</sup>。

1.3 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据记录与图表的制作,并用 SPSS 19.0 进行数据处理和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同质量浓度 IAA 对荷花花瓣生长及衰老的影响

从表 1 可以看出,与对照组相比,各 IAA 处理

的荷花花瓣的长宽及最大花径均有所增加。100 mg/L IAA 处理最大花径增加 2.55%, 长度增加 5.87%。150 mg/L IAA 处理最大花径增加 4.96%, 长、宽分别增加 3.44%、1.32%。200 mg/L IAA 处理最大花径增加 11.35%, 长、宽分别增加 6.79%、2.91%。各个处理对荷花花瓣数及花朵数量的影响

不明显。3 种处理相比,150 mg/L IAA 处理使荷花花萼高最大,达到 54.3 cm,高于对照 19.60%,使荷花花朵有更高的观赏位置,观赏效果更佳。此外,150 mg/L IAA 处理使花期达到 9 d,其原因为 T2 时期提前 2 d,间接地起到了延长花期的作用。

表 1 不同质量浓度 IAA 对荷花生长及花期的影响

Tab.1 Effects of different mass concentrations of IAA on the growth and flowering of lotus							
质量浓度/ (mg/L) Mass concentration	花瓣 Petal		单朵花瓣数/个 Number of single petals	最大花径/cm Maximum flower diameter	花萼高/cm Flower height	花朵数量/朵 Number of flowers	花期/d Flowering
	长/mm Length	宽/mm Width					
0 (CK)	80.02	40.15	12	14.10	45.4	3	7
100	84.72	38.91	13	14.46	42.6	3	8
150	82.77	40.68	14	14.80	54.3	4	9
200	85.45	41.32	13	15.70	48.3	3	7

2.2 不同质量浓度 IAA 对荷花花瓣抗氧化酶活性和 MDA 含量的影响

2.2.1 SOD 活性 SOD 是植物体内一个重要的氧化酶,可以有效清除活性氧,控制脂质氧化,减少对膜系统的损伤<sup>[13]</sup>。从图 2 可以看出,150、200 mg/L IAA 处理下 SOD 活性在荷花花开放的过程中均高于对照组,其中 150 mg/L IAA 处理下 SOD 活性在 T2、T3、T4 时均达到最大值,分别为 446.35、425.73、361.66 U/(g·min),较对照高 10.15%、11.51%、9.53%,因此推测 150 mg/L IAA 处理利于控制膜脂过氧化,延缓荷花衰老的发生,延长花期。

T4 时 POD 活性迅速降低。其中 150 mg/L IAA 处理 POD 活性的变化趋势最为显著,且在 T3、T4 时分别高于对照 58.70%、33.61%。由此说明,150 mg/L IAA 处理使荷花花瓣在生长发育中呈现出较高的 POD 活性,利于延长荷花花期。

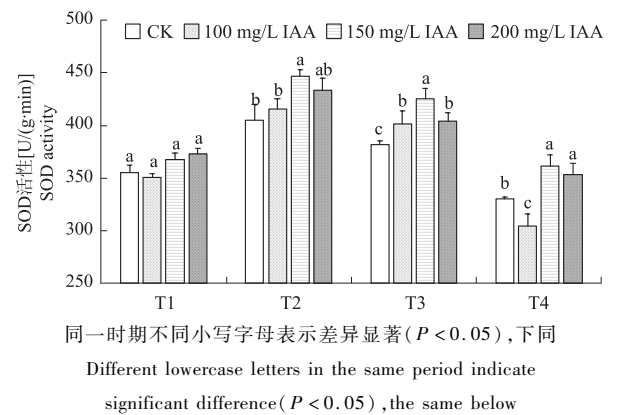


图 2 不同质量浓度 IAA 处理对荷花花瓣 SOD 活性的影响  
Fig.2 Effects of different mass concentrations of IAA treatment on SOD activity of lotus petals

2.2.2 POD 活性 POD 是细胞体内的保护酶,其主要功能是清除自由基,使自由基保持在较低水平<sup>[14]</sup>。由图 3 可知,100、150、200 mg/L 3 种不同质量浓度 IAA 处理的 POD 活性变化基本一致,均为先升后降,在 T3 时达到最大值,分别为 228.29、322.63、257.67 U/(g·min)。但随着生育期的推移,T3 至

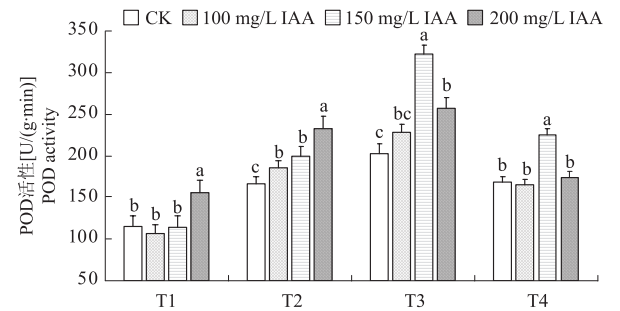


图 3 不同质量浓度 IAA 处理对荷花花瓣 POD 活性的影响  
Fig.3 Effects of different mass concentrations of IAA treatment on POD activity of lotus petals

2.2.3 CAT 活性 CAT 是生物体内能够清除细胞中过量活性氧与自由基的一种酶<sup>[15]</sup>。由图 4 可知,各处理 CAT 活性均出现先增后降的趋势,并均在 T3 时达到最大。其中 100、150 mg/L IAA 最大值分

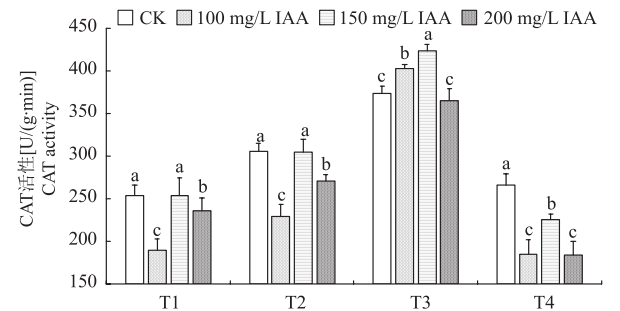


图 4 不同质量浓度 IAA 处理对荷花花瓣 CAT 活性的影响  
Fig.4 Effects of different mass concentrations of IAA treatment on CAT activity of lotus petals

别为 402.65、423.45 U/(g·min), 高于对照组 7.83%、13.40%。但 100 mg/L IAA 处理荷花花瓣在 T1 及 T4 时 CAT 活性较低, 低于对照组。

**2.2.4 MDA 含量** MDA 是膜脂过氧化的产物, 能与细胞内多种成分发生剧烈的反应, 从而严重破坏植物细胞的生理结构, 造成植物快速的衰老甚至死亡, 因此其含量的高低代表着植物受损伤的程度<sup>[16]</sup>。从图 5 可以看出, MDA 含量随着荷花的生长发育而逐渐增加, 各个处理均在谢花期达到了最大值。150 mg/L IAA 处理的 MDA 含量在 4 个时期均低于对照组, T1—T4 分别降低 14.28%、6.66%、25.29%、14.85%, 其余处理却较对照变化不明显。同时各处理 MDA 含量在 T3 至 T4 时增长迅速, 说明随着荷花进一步的生长发育, 保护酶及相关保护物质

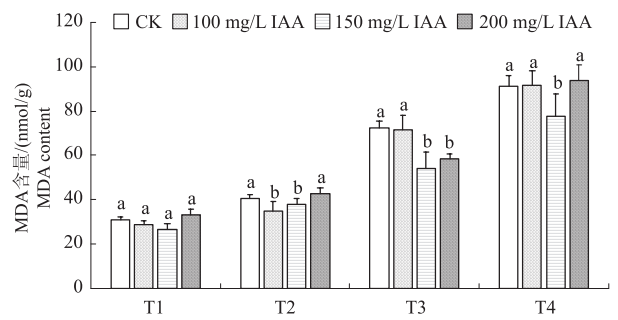


图 5 不同质量浓度 IAA 处理对荷花花瓣 MDA 含量的影响  
Fig.5 Effects of different mass concentrations of IAA on the content of MDA in lotus petals

自身活性和含量也相对大幅降低, 活性氧的产生与清除之间的动态平衡被打破, MDA 大量积累。

2.3 荷花生理指标间的相关性分析

从表 2 可以看出, T1 和 T2 时期荷花花瓣各生理指标间没有明显的相关性, 推测可能是由于此时荷花叶片还比较幼嫩, 主要以生长发育为主, 各种保护酶正处于合成阶段, 各酶活性与 MDA 含量还比较低。T3 时 SOD 活性与 POD 活性相关系数为 0.965, 呈极显著正相关, 与 CAT 活性相关系数为 0.735, 呈显著正相关, 与 MDA 含量相关系数为 -0.843, 呈极显著负相关; POD 活性与 MDA 含量相关系数为 -0.925, 呈极显著负相关。T4 时 SOD 活性与 POD 活性相关系数为 0.880, 呈极显著正相关, 与 CAT 活性相关系数为 0.872, 呈极显著正相关, 与 MDA 含量相关系数为 -0.910, 呈极显著负相关; POD 活性与 CAT 活性相关系数为 0.748, 呈显著正相关, 与 MDA 含量相关系数为 -0.936, 呈极显著负相关; CAT 活性与 MDA 含量相关系数为 -0.863, 呈极显著负相关。说明荷花青玉在受到外源激素调控时, 为防止膜质过氧化, SOD、POD 和 CAT 之间是共同作用的。当三者活性较强时, MDA 含量就较低, 膜质过氧化程度较弱, 荷花青玉花期延长; 反之, 膜质过氧化程度高, 则花期缩短。

表 2 荷花不同发育时期生理指标间的相关性分析

Tab.2 Correlation analysis between physiological indexes of lotus in different developmental stages								
生理指标 Physiological index	T1				T2			
	SOD 活性 SOD activity	POD 活性 POD activity	CAT 活性 CAT activity	MDA 含量 MDA content	SOD 活性 SOD activity	POD 活性 POD activity	CAT 活性 CAT activity	MDA 含量 MDA content
SOD 活性 SOD activity	1				1			
POD 活性 POD activity	0.782	1			0.691	1		
CAT 活性 CAT activity	0.528	0.219	1		0.212	-0.154	1	
MDA 含量 MDA content	0.252	0.776	0.063	1	0.072	0.435	0.539	1

生理指标 Physiological index	T3				T4			
	SOD 活性 SOD activity	POD 活性 POD activity	CAT 活性 CAT activity	MDA 含量 MDA content	SOD 活性 SOD activity	POD 活性 POD activity	CAT 活性 CAT activity	MDA 含量 MDA content
SOD 活性 SOD activity	1				1			
POD 活性 POD activity	0.965 **	1			0.880 **	1		
CAT 活性 CAT activity	0.735 *	0.657	1		0.872 **	0.748 *	1	
MDA 含量 MDA content	-0.843 **	-0.925 **	-0.323	1	-0.910 **	-0.936 **	-0.863 **	1

注: \*\* 表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关; \* 表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。  
Note: \*\* means significantly correlated at 0.01 level(both sides); \* means significantly correlated at the 0.05 level(both sides).

### 3 结论与讨论

IAA 是人类最早发现能促进植物生长的激素,广泛存在于植物组织内<sup>[17]</sup>。吴业东等<sup>[18]</sup>发现,50 mg/kg IBA、50~100 mg/kg IAA 均能防止仙客来徒长,从而提早开花、延长花期。朱隆荣等<sup>[19]</sup>发现,IAA 能够延长甘蓝型油菜花期 5 d,且稳定性较好。这表明 IAA 对植物花期调控确实具有一定的作用。本研究结果表明,150、200 mg/L IAA 处理均使荷花花瓣的长宽及最大花径增加,观赏效果更好,以 200 mg/L IAA 处理效果更佳。而在花葶高方面,以 150 mg/L IAA 处理最佳。但各个处理对荷花花瓣数及花朵数量的影响不明显,这与朱隆荣等<sup>[19]</sup>的试验结果一致。且 150 mg/L IAA 处理使初花期提前 2 d,说明使用 IAA 处理可以促进植物分化与生长发育,间接地起到了延长观赏期的作用。

POD、CAT 和 SOD 是植物体内重要的抗氧化酶,具有清除自由基的功能。本试验相关性分析结果表明,三者协同作用以维持植物体内活性氧的正常代谢,这与朱学明等<sup>[20]</sup>的研究结果一致。同时在本研究中发现,IAA 处理可提高荷花体内 3 种防御酶活性,但不同浓度处理下的酶活性变化趋势存在显著差异。150、200 mg/L IAA 处理下 SOD 与 POD 活性在试验的几个时期均高于对照组,尤以 150 mg/L IAA 处理最佳。而对于 CAT 各个处理均在盛花期活性值达峰值,尤以 150 mg/L IAA 处理最佳。150 mg/L IAA 处理下 MDA 含量在从初花期到谢花期表现良好,MDA 积累值增长缓慢,且盛花期和谢花期均明显低于其他各个处理。表明 IAA 处理可通过提高体内 POD、SOD 和 CAT 活性,使其抗氧化能力得到提高,继而消耗过多的活性氧代谢产物,使两者之间达到动态平衡,从而增强荷花的抗衰老性。总之,IAA 对荷花花期具有调控效果,其花期调控机制主要是与果实内防御酶活性的时序变化密切相关<sup>[21]</sup>,但 IAA 增强植物抗衰老能力的分子机制仍需进一步研究。可见,利用外源生长素对荷花花期调控、减缓衰老具有持续时间长及不污染环境等优点,同时作为植物本身具有的激素,施加外源生长素不会对植物产生病害,因此更加环保有效,必将成为荷花花期调控的新途径。

#### 参考文献:

- [1] 黄典庆. 荷花的繁殖、栽培管理与景观应用[J]. 福建建筑,2011(2):22-25.
- [2] 孔德政,刘晶晶,杨秋生. 荷花花瓣衰老过程中的生理

- 生化分析[J]. 河南农业科学,2007,36(6):114-117.
- [3] 胡鑫,丁跃生,金奇江,等. 观赏荷花新品种‘首领’[J]. 园艺学报,2017,44(7):1425-1426.
- [4] YANG R Z,WEI X L,GAO F F,et al. Simultaneous analysis of anthocyanins and flavonols in petals of lotus (Nelumbo) cultivars by high-performance liquid chromatography-photodiode array detection/electrospray ionization mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography A, 2009,1216(1):106-112.
- [5] 孔德政,申雪莹,孟伟芳,等. 外源激素对碗莲开花及酶活性的影响[J]. 东北林业大学学报,2015,43(3):79-82.
- [6] 姜红卫,李欣,江君,等. 苏南观赏荷花设施栽培周年开花技术研究[J]. 江苏农业科学,2013,41(12):191-193.
- [7] 杨镇明,程萍,罗丽霞. 珠海冬季荷花反季节栽培技术[J]. 广东农业科学,2006(7):83-84.
- [8] 陈晶,庞思琪,赵秀兰. 外源生长素对镉胁迫下玉米幼苗生长及抗氧化系统的影响[J]. 植物生理学报,2016,52(8):1191-1198.
- [9] 梁立峰. 植物激素与果树的花芽分化[J]. 植物生理学通讯,1982(4):1-6.
- [10] 夏冬. 外源激素对冰岛虞美人 (*Papaver nudicaule*) 花期调控初探[D]. 雅安:四川农业大学,2015.
- [11] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [12] 黄杏,陈明辉,杨丽涛,等. 低温胁迫下外源 ABA 对甘蔗幼苗抗寒性及内源激素的影响[J]. 华中农业大学学报,2013,32(4):6-11.
- [13] 张蕊. 低温下外源水杨酸对水稻幼苗生理生化特性的影响研究[D]. 重庆:西南大学,2006.
- [14] 何华勤,林文雄. 水稻化感作用生理生化特性研究[J]. 中国生态农业学报,2001,9(3):60-61.
- [15] 张英. 小麦籽粒灌浆期叶片活性氧代谢与氮磷调控研究[D]. 咸阳:西北农林科技大学,2008.
- [16] 谭本会,李虹. 铅离子对核桃幼苗细胞膜透性的影响[J]. 南方农业,2018,12(34):42-44,50.
- [17] 邹锋康,王秋红,周建朝,等. 生长素调节植物生长发育的研究进展[J]. 中国农学通报,2018,34(24):34-40.
- [18] 吴业东,张霞,关力. 外源生长调节素对仙客来生长发育的影响[J]. 农业科技通讯,2008(2):128-130.
- [19] 朱隆荣,刘宝林,肖美丽,等. 甘蓝型油菜花期化学调控研究[J]. 江西农业大学学报,2017,39(6):1057-1066.
- [20] 朱学明,史祥鹏,雍道敬,等. 内生放线菌 A-1 诱导苹果对炭疽叶枯病的抗性[J]. 植物生理学报,2015,51(6):949-954.
- [21] 曹晶晶,于子超,张颖,等. 外源褪黑素对苹果采后灰霉病的防效及防御酶活性的影响[J]. 植物生理学报,2017,53(9):1753-1760.