

不同低温处理对郁金香休眠期鳞茎3种内源激素含量的影响

叶蓉春, 唐楠*, 唐道城, 张静

青海大学高原花卉研究中心/青海省园林植物与观赏园艺重点实验室, 西宁810016

摘要: 本文以郁金香‘Golden Apeldoorn’的鳞茎为材料, 在5个温度(-12°C、0°C、5°C、变温和对照)下处理, 研究不同低温处理对GA₃、IAA和ABA含量以及芽体发育的影响。结果表明: 在零上恒温处理时鳞茎内GA₃含量均出现2个峰值; 零下低温处理对GA₃含量影响小, 处理结束时, 以0和5°C处理鳞茎内GA₃含量最高。前70 d鳞茎内IAA含量除变温处理外, 在其他处理下均出现剧烈变化并在42~70 d出现峰值, 处理温度越高, 峰值出现越早; 处理结束时, 各低温处理鳞茎内IAA含量均比处理前低。鳞茎内ABA含量在各低温处理下持续下降, 与对照相比, 0°C、5°C和变温处理在前70 d持续下降, 70 d至处理结束保持稳定的低水平。由于鳞茎生长期和中心芽发育时间的差异, 不同低温处理下鳞茎内GA₃、IAA和ABA的含量表现出极不一致的相关性。在0和5°C处理下, 芽体发育最快, 且与3种激素含量的相关性密切, 解除休眠效果好, 促进发育和开花。

关键词: 郁金香; 鳞茎; 低温处理; 内源激素; 中心芽

郁金香是百合科郁金香属多年生球根类花卉。通常在夏日高温时, 郁金香鳞茎完成花芽分化, 进入休眠。秋天温度较低时种植, 经过冬季低温阶段鳞茎完成花芽发育, 同时通过低温积累帮助鳞茎解除休眠。郁金香花芽形成需要17~23°C, 花芽分化完成后鳞茎需要一段时间的低温积累才能解除休眠(汪晓谦等2011)。郁金香切花和盆花周年生产, 都是模拟自然温度及环境达到控制开花的目的, 通过鳞茎在不同温度和不同处理时间调控花期。郁金香最佳的冷藏温度与时间因基因型不同而异, 在4~10°C下50~90 d基本能达到大部分品种的鳞茎冷藏要求。郁金香在促成与抑制栽培中, 常用5和9°C进行处理(张静2015)。郁金香鳞茎经-2~5°C冷藏, 可以增加郁金香具备分化花芽的能力及鳞茎质量。聂小霞等(2017)研究发现伊犁郁金香鳞茎在夏季室温条件下储藏42 d以上能正常开花; 与对照相比, 增加冷藏时间的郁金香叶片更长和花葶更高, 开花时间更短。

研究发现, 郁金香子代鳞茎在发育期叶片内GA₃和IAA含量减少, ABA含量增加, 在各生育期叶片或鳞茎内均测定到GA₃/ABA的增加, 表明郁金香子代鳞茎的产生及发育很有可能和内源激素的平衡有关(夏宜平等2005)。魏钰等(2013)发现, 在栽培前浸泡过GA₃的郁金香鳞茎, 生长期间内源激素GA₃含量上升, ABA含量减少; 生长期根外追施GA₃和6-BA, 在现蕾期鳞茎内GA₃和IAA含量高

于对照, 随生育时期ABA/IAA比值下降, 证实了郁金香生长发育与激素调节息息相关。研究人员发现, 随着冷藏时间的延长, 郁金香鳞茎内GA₃含量增加并出现2个高峰, 鳞茎打破休眠过程中GA₃含量逐渐上升(唐楠2010)。胡新颖等(2018)研究发现冷藏处理对百合试管鳞茎田间移栽后快速萌发有显著促进作用, 且出苗速率随冷藏时间延长而加快。黄学勇等(2018)以龙牙百合为材料, 在5°C冷藏过程中, GA₃与IAA含量显著增加, ABA含量降低。孙红梅(2003)和刘艳萍(2007)先后研究了百合低温解除休眠的生理生化变化, 表明百合的休眠主要依靠GA₃和ABA含量调控。然而, 休眠期间不同低温处理下郁金香鳞茎的内源激素含量随处理时间的变化目前尚无报道。

本研究以郁金香‘Golden Apeldoorn’的鳞茎为材料, 在4个低温处理下, 观察鳞茎内源GA₃、IAA、ABA含量及芽体发育随时间的变化。旨在了解郁金香鳞茎在不同低温处理下内源激素变化及芽体发育规律, 由此探讨激素变化、芽体发育与鳞茎休眠的关系。

收稿 2018-12-26 修定 2019-06-18

资助 国家自然科学基金(31660582)、青海省“高端创新人才千人计划”(2016)和青海省科技厅重点研发与转化计划项目(2018-NK-102)。

* 通讯作者(natasha_tn@hotmail.com)。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为2012年在青海省西宁市郊区自繁的郁金香属(*Tulipa* L.) Darwin hybrid品种‘Golden Apeldoorn’, 选取基盘没有损伤、病虫害, 周径8~10 cm的鳞茎。

1.2 试验设计

试验设4个低温处理, 分别为-12°C、0°C、5°C和变温(5°C^{14d}→0°C^{14d}→-5°C^{14d}→-12°C^{14d}→-5°C^{14d}→0°C^{14d}→5°C, 根据西宁地区冬季至初春的土壤温度变化设计), 以常温(10~18°C)为对照, 在4个可控温冰箱和室内进行。测定各温度处理下GA₃、IAA和ABA的含量, 测定时间为处理0、14、28、42、56、70、84和91 d (晚熟品种上限处理时间)。参考张静等(2014, 2015)的方法, 测定激素含量、中心芽长度和鳞茎高度, 观察各处理下鳞茎的生长期。

1.3 项目测定

待测内源激素的样品处理参考Pan等(2010)的方法。HPLC参数: 色谱柱Agilent ZORBAXSB-C118; 流动相A (甲醇):B (磷酸缓冲液, pH=3.5)=45:55; 流速1 mL·min⁻¹; 检测波长0~3.2 min 265 nm, 3.2~4.5 min 212 nm, 4.5~6.5 min 218 nm; 6.5~13 min 265 nm; 自动进样, 进样量10 μL; 柱温20°C。

1.4 数据处理与统计分析

利用软件SPSS 19进行差异性及相关性分析, Excel 2016作图。

2 实验结果

2.1 不同低温处理对郁金香鳞茎芽体发育及生长期的影响

2.1.1 不同低温处理对郁金香芽体发育的影响

芽体发育用中心芽长度/鳞茎高度表示。由表1看出, 不同低温处理期间郁金香芽体发育存在着显著差异。-12°C与变温处理过程中, 中心芽发育均显著低于0°C、5°C与对照, 中心芽未能正常发育。0°C、5°C与对照处理下郁金香芽体发育随时间延长而增长, 在同一时间不同处理之间存在显著差异。在前期(0~56 d) 5°C处理的中心芽长度/鳞茎高度比值最高, 显著高于0°C和对照。之后, 0°C处理的中心芽长度/鳞茎高度比值急剧上升, 明显高于其他处理, 与对照差异显著, 而与5°C处理的无显著差异。

2.1.2 不同低温处理对郁金香鳞茎生长期的影响

观测各处理下鳞茎的生长期, -12°C与变温处理均未生根和出苗, 0和5°C处理与对照相比鳞茎的生根、出芽、现蕾期及开花所需时间均较短(表2)。

2.2 不同低温处理对郁金香鳞茎内GA₃含量的影响

由图1可知, 鳞茎内GA₃含量在0°C、5°C和对照下均表现为双峰变化, 不同低温处理下峰值出现时间和峰值大小差异较大。0°C处理下GA₃含量峰值出现在56和91 d; 5°C处理下GA₃含量在42和84 d出现峰值, 在84~91 d明显高于其他处理; 对照的GA₃含量在42和70 d出现峰值, 且明显高于0和5°C处理。-12°C处理下GA₃含量在前42 d急剧下降, 在84 d时上升接近0°C处理水平。变温处理下GA₃含量仅在28 d出现一个单峰。

表1 不同低温处理对郁金香鳞茎芽体发育(中心芽长度/鳞茎高度)的影响

Table 1 Effects of different low temperature treatments on the central bud height to bulb height in tulip bulbs

处理温度	中心芽长度/鳞茎高度比值				
	0 d	28 d	56 d	84 d	91 d
-12°C	0.031±0.0022 ^a	0.032±0.003 ^c	0.031±0.002 ^d	0.032±0.002 ^d	0.031±0.003 ^d
0°C	0.031±0.0022 ^a	0.358±0.038 ^b	0.505±0.014 ^b	1.041±0.115 ^a	1.117±0.044 ^a
5°C	0.031±0.0022 ^a	0.444±0.035 ^a	0.611±0.028 ^a	0.980±0.048 ^{ab}	1.059±0.089 ^a
变温	0.031±0.0022 ^a	0.398±0.017 ^b	0.397±0.027 ^c	0.413±0.041 ^c	0.400±0.023 ^c
对照	0.031±0.0022 ^a	0.381±0.031 ^b	0.527±0.024 ^b	0.954±0.051 ^b	0.980±0.030 ^b

表中同列不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同此。

表2 不同低温处理对郁金香鳞茎生长期的影响

Table 2 Effects of different low temperature treatments on the growth period in tulip bulbs

处理温度	生根时间/d	出芽期/d	现蕾期/d	开花时间/d
对照	15 ^a	28 ^a	50 ^a	78 ^a
0°C	5 ^c	15 ^c	27 ^c	38 ^b
5°C	8 ^b	20 ^b	33 ^b	35 ^c

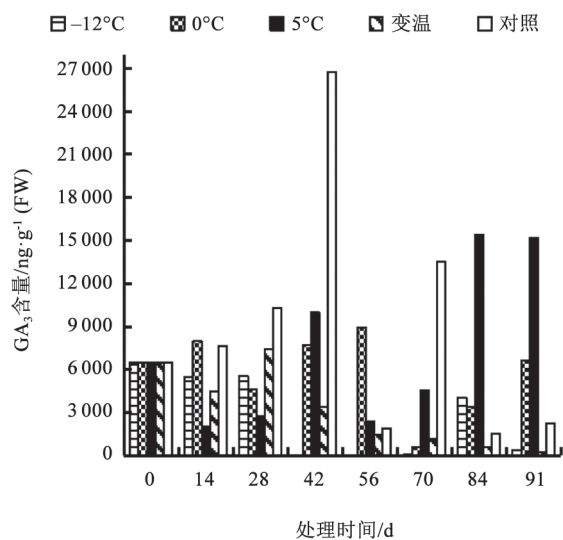


图1 不同低温处理对郁金香鳞茎内GA₃含量变化的影响
Fig.1 Effects of different low temperature treatments on the changes of GA₃ content in tulip bulbs

2.3 不同低温处理对郁金香鳞茎内IAA含量的影响

由图2看出,除变温处理外,各低温处理下鳞茎内IAA含量在前70 d均出现剧烈变化,且处理温度越高,IAA含量峰值出现越早。0和5°C处理下,IAA含量在56 d均出现高峰,其值约比处理前高50%。对照的IAA含量变化幅度大,在42 d出现一个高峰,其值约比处理前高2.5倍。处理70 d后,对照的鳞茎内IAA含量仍在持续减少,而0和5°C处理下表现出相对稳定和略有降低; -12°C处理下,鳞茎内IAA含量在70 d出现一个高峰,峰值约为处理前的1.5倍。在变温处理下,IAA含量均低于处理前。与处理前相比,各处理在91 d时鳞茎中IAA含量都有所下降。

2.4 不同低温处理对郁金香鳞茎内ABA含量的影响

由图3看出,随处理时间的增加,鳞茎内ABA

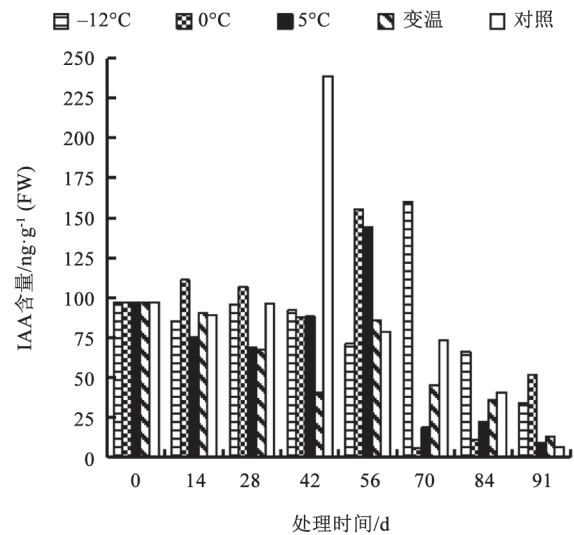


图2 不同低温处理对郁金香鳞茎内IAA含量变化的影响
Fig.2 Effects of different low temperature treatments on the changes of IAA content in tulip bulbs

含量持续下降。前14 d各处理的鳞茎内ABA含量均急剧减少;14 d后,对照的鳞茎内ABA含量保持在稳定水平,而0°C、5°C和变温处理的鳞茎内ABA含量在14~56 d时持续下降,56~91 d在低水平下保持稳定,其值不足处理前的10%。-12°C处理鳞茎内ABA含量在56 d出现一个小高峰,之后又急剧下降。

2.5 不同低温处理对郁金香鳞茎内3种内源激素含量变化相关性的影响

由表3看出,在不同低温处理下,鳞茎内3种激素含量的相关性极不一致。在0°C处理下,鳞茎内GA₃与IAA具有显著正相关,但IAA与ABA之间的相关性不显著。在5°C处理下,鳞茎内GA₃与ABA呈现一定的负相关,但相关性不显著,与IAA呈现极显著负相关,IAA与ABA呈现显著正相关。对照的鳞茎内GA₃与IAA呈现极显著正相关,但与ABA无相关,IAA与ABA相关性不显著。在-12°C处理下,3种激素含量的变化几乎不存在相关性。变温处理下,3种激素含量的变化均表现出极显著的正相关。

各低温处理在91 d时芽体发育与鳞茎内GA₃、IAA、ABA含量的相关性分析(表4)表明:GA₃含量在-12°C处理下与芽体发育无相关,但在0和5°C处理下与芽体发育表现为不显著的正相关。除-12°C

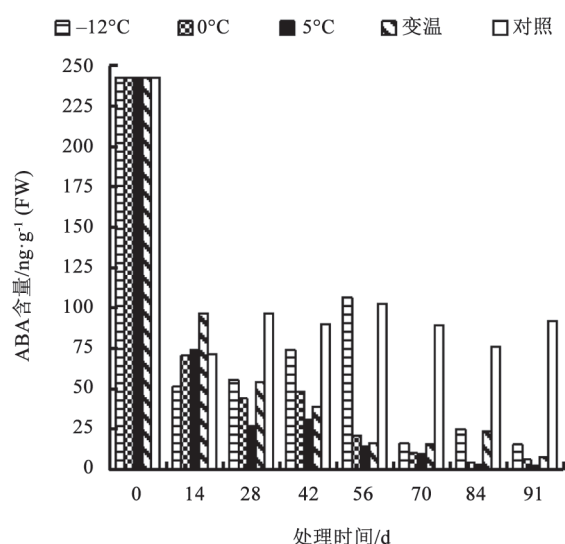


图3 不同低温处理对郁金香鳞茎内ABA含量变化的影响
Fig.3 Effects of different low temperature treatments on the changes of ABA content in tulip bulbs

处理下IAA含量和芽体发育表现为不显著的正相关外,其他处理下IAA、ABA含量与芽体发育均表现为负相关,其中对照的IAA含量与芽体发育表现为显著负相关,在0°C处理下ABA含量与芽体发育表现为显著负相关。从鳞茎内GA₃、IAA和ABA含量与芽体发育相关性的综合考虑,0和5°C最有利于鳞茎解除休眠和促进中心芽发育。

3 讨论

本试验设计5个处理温度主要根据荷兰和昆明

冬季最低温度(分别为-12和0°C),郁金香鳞茎的促成栽培温度(5°C),西宁地区冬季至初春的土壤温度(变温,5°C^{14d}→0°C^{14d}→-5°C^{14d}→-12°C^{14d}→-5°C^{14d}→0°C^{14d}→5°C)和青海省西宁市夏日室内温度(10~18°C)。郁金香鳞茎在冷藏中经历解除休眠的整个过程,同时进行花芽发育、根原基分化。不同低温处理下鳞茎芽体发育显著性分析表明,除-12°C与变温处理,其它处理下鳞茎中心芽均能生长发育。但各温度下中心芽生长速度不尽相同,以0和5°C处理下中心芽生长最快且显著大于对照,这与翟蕾与孙焱(2008)的实验结果基本一致。

在植物生长、发育过程中,各种激素之间既相辅相成,又相互制约和促进,任何一种生理反应都需要各种激素相互作用,而不是单一激素的作用。各种激素达到某种平衡状态时,则表现出某种生理反应。GA₃是促进植物生长发育的重要内源激素之一,在生长旺盛的部位较为集中(何生根等2010)。郁金香鳞茎内GA₃含量随处理温度和处理时间表现出不同的变化规律,这与鳞茎内部的生理变化密切相关。在低温处理后期,GA₃含量越高,生理活动越强烈,这与GA₃含量在郁金香鳞茎打破休眠过程中逐渐上升的规律相符。处理84 d后,0和5°C处理GA₃含量最高,GA₃含量越高,鳞茎内部中心芽越早进入旺盛生长。IAA具有促进细胞分裂、延长和促进根的萌发等功能,对花芽发育和花茎的伸长也有明显的促进作用(Saniewski等2005)。鳞茎内IAA含量升高说明鳞茎的中心芽开

表3 不同低温处理对郁金香鳞茎内3种内源激素含量相关性的影响

Table 3 Effects of different low temperature treatments on correlation of three endogenous hormone contents in tulip bulbs

激素	-12°C			0°C			5°C		
	GA ₃	IAA	ABA	GA ₃	IAA	ABA	GA ₃	IAA	ABA
GA ₃	1.000			1.000			1.000		
IAA	-0.004	1.000		0.319*	1.000		-0.391**	1.000	
ABA	0.124	0.036	1.000	0.094	0.225	1.000	-0.098	0.359*	1.000
激素	变温			对照					
	GA ₃	IAA	ABA	GA ₃	IAA	ABA			
GA ₃	1.000			1.000					
IAA	0.486**	1.000		0.471**	1.000				
ABA	0.529**	0.478**	1.000	0	0.138	1.000			

表4 不同低温处理对郁金香芽体发育与鳞茎内3种激素含量之间相关性的影响

Table 4 Effect of different low temperature treatments on the correlation between central bud height to bulb height and three hormone contents in tulip bulbs

激素	中心芽长度/鳞茎高度比值				
	-12°C	0°C	5°C	变温	对照
GA ₃	0	0.200	0.200	-0.600	-0.400
IAA	0.200	-0.200	-0.600	-0.600	-1.000*
ABA	-0.200	-1.000*	-0.600	-0.600	-0.600

始进入旺盛生长,不同低温处理下,郁金香鳞茎内IAA含量出现峰值的时间不同,对照最早达到峰值,0°C、5°C和变温处理在第56天出现峰值,而-12°C处理下峰值出现最晚;变温处理下IAA含量一直低于处理前,说明温度越高,中心芽越早开始活跃生长。ABA为生长抑制型激素,在植物遇到环境胁迫时,诱导植物产生保护反应以维持细胞内的平衡,ABA水平升高抑制植物生长,ABA含量下降,植物恢复正常生长(Kondrat等2009)。郁金香鳞茎低温处理的目的是打破休眠,ABA的含量变化可以间接说明鳞茎的休眠深度。本研究发现不同低温处理过程中,ABA的含量均明显降低,其中变温处理和-12°C处理下的ABA的含量存在不确定性;对照在14 d后变化不明显,休眠解除缓慢;0和5°C处理降低幅度最大,即休眠解除最快。

内源激素与芽体发育的相关性分析表明,在0和5°C处理下芽体发育与GA₃含量表现为正相关,与IAA和ABA含量表现为负相关,对照处理芽体发育与3种激素均表现为负相关。内源激素间的相关性分析表明,GA₃与ABA对于鳞茎休眠起到主导作用,尤其是ABA。5°C处理下,GA₃与ABA含量表现为负相关,是促进鳞茎快速解除休眠的最适温度;对照的GA₃与ABA含量相关性小,鳞茎打破休眠作用小;而在-12°C、0°C和变温处理下GA₃与ABA含量表现为正相关,这与胁迫条件下ABA含量升高抑制植物生长有关,因此休眠解除缓慢(段娜等2015)。

参考文献(References)

Duan N, Jia YK, Xu J, et al (2015). Research progress plant

endogenous hormones. Chin Agric Sci Bull, 31 (2): 159–165 (in Chinese with English abstract) [段娜, 贾玉奎, 徐军等(2015). 植物内源激素研究进展. 中国农学通报, 31 (2): 159–165]

He SG, Li HM, Liu W (2010). Application of plant growth regulators in ornamental plants. Beijing: Chemical Industry Press, 10–19 (in Chinese) [何生根, 李红梅, 刘伟等(2010). 植物生长调节剂在观赏植物上的应用. 北京: 化学工业出版社, 10–19]

Hu XY, Bai YG, Wang WD, et al (2018). Effect of low temperature treatments on dormancy releasing of oriental lily bulbs in tube. Jiangsu Agric Sci, 46: 157–159 (in Chinese) [胡新颖, 白一光, 王伟东等(2018). 低温冷藏打破东方百合试管鳞茎休眠的效果. 江苏农业科学, 46: 157–159]

Huang XY, Luo HL, Xiao HW, et al (2018). The changes of endogenous hormones of 'Longya' lily during storage period. J Nanchang Univ, 42: 382–387 (in Chinese with English abstract) [黄学勇, 罗火林, 肖汉文等(2018). 龙牙百合贮藏期间内源激素的变化. 南昌大学学报, 42: 382–387]

Kondrat'eva VV, Semenova MV, Voronkova TV, et al (2009). Changes in the carbohydrate and hormonal status in *Tulipa bifloriformis* bulbs forced into bloom in a greenhouse and in the open ground. Russ J Plant Physiol, 56: 428–435

Liu YP (2007). Studies on physiological mechanisms of lily bulb stored at different cold temperatures for breaking dormancy (dissertation). Shenyang: Northeast Forestry University (in Chinese with English abstract) [刘艳萍(2007). 百合鳞茎低温解除休眠过程中生理生化研究(学位论文). 沈阳: 东北林业大学]

Nie XX, Lin XF, Lu T, et al (2017). Preliminary study on the dormancy performance of *Tulipa iliensis*. Jiangsu Agric Sci, 45: 121–123 (in Chinese) [聂小霞, 林雪凤, 陆婷等(2017). 伊犁郁金香休眠习性初步研究. 江苏农业科学, 45: 121–123]

Saniewski M, Okubo H, Miyamoto K, et al (2012). The role of endogenous gibberellin in tulip stem growth induced by IAA and IBA: relevance to inhibitors of gibberellin biosynthesis. Acta Hort, (932): 397–403

Sun HM (2003). Effects of low temperature on *lilium* bulb dormancy and its physiological and biochemical mechanisms (dissertation). Shenyang: Shenyang Agricultural University (in Chinese with English abstract) [孙红梅(2003). 低温解除百合鳞茎休眠的效应及其生理生化机制研究(学位论文). 沈阳: 沈阳农业大学]

Sun Y (2008). Study on key factors affecting cold storage of tulip bulbs (dissertation). Yangling, Shanxi: Northwest A&F University (in Chinese with English abstract) [孙焱

- (2008). 影响郁金香种球低温贮藏关键因素的研究(学位论文). 陕西杨凌: 西北农林科技大学]
- Tang N (2010). The physiological and biochemical changes of tulip bulbs during dormancy (dissertation). Xining: Qinghai University (in Chinese with English abstract) [唐楠(2010). 郁金香休眠期间鳞茎生理生化指标变化研究(学位论文). 西宁: 青海大学]
- Wang XQ, Zhang YL, Niu LX, et al (2011). Changes of carbohydrate and protein contents in bulbs of *Tulipa gesneriana* L. during flower bud different. *Plant Physiol J*, 47: 379–384 (in Chinese with English abstract) [汪晓谦, 张延龙, 牛立新等(2011). 郁金香花芽分化过程中鳞茎碳水化合物和蛋白质含量的变化. *植物生理学报*, 47: 379–384]
- Wei Y, Zhang H, Meng X, et al (2013). Effects of GA₃ and 6-BA treatments on changes of three endogenous phyto-hormones contents in tulip bulbs. *Plant Physiol J*, 49: 161–166 (in Chinese with English abstract) [魏钰, 张辉, 孟昕等(2013). 外源GA₃和6-BA对郁金香鳞茎内3种激素含量变化的影响. *植物生理学报*, 49: 161–166]
- Pan X, Welti R, Wang X (2010). Quantitative analysis of major plant hormones in crude plant extracts by high-performance liquid chromatography-mass spectrometry. *Nat Protocols*, 5: 986–992
- Xia YP, Yang YA, Yang XE, et al (2005). Distribution of ¹⁴C-photosynthate and changes of endogenous phytohormone in the bulb development of tulip (*Tulipa gesneriana* L.). *Acta Horticult Sin*, 32: 278–283 (in Chinese with English abstract) [夏宜平, 杨玉爱, 杨肖娥等(2005). 郁金香更新鳞茎发育的碳同化物积累与内源激素变化研究. *园艺学报*, 32: 278–283]
- Zhai L (2008). Effect of bulb storage on flowering of tulip (dissertation). Beijing: Beijing Forestry University (in Chinese with English abstract) [翟蕾(2008). 郁金香种球贮藏对其开花的影响(学位论文). 北京: 北京林业大学]
- Zhang J (2015). Effects of temperature treatments on hormones content and bud development of dormant bulb in tulip (dissertation). Xining: Qinghai University (in Chinese with English abstract) [张静(2015). 温度对郁金香鳞茎内源激素及芽体发育的影响(学位论文). 西宁: 青海大学]
- Zhang J, Tang DC, Ren LX, et al (2014). Effect of temperature on carbohydrate metabolism and bud development of dormant bulbs in tulip. *North Horticult*, (17): 75–80 (in Chinese with English abstract) [张静, 唐道城, 任柳霞等(2014). 温度对郁金香休眠鳞茎碳水化合物代谢及芽体发育的影响. *北方园艺*, (17): 75–80]

Effect of different temperature treatments on three endogenous hormones in tulip bulbs during dormancy

YE Rong-Chun, TANG Nan*, TANG Dao-Cheng, ZHANG Jing

Plateau Flower Research Center of Qinghai University/The Key Laboratory of Landscape Plants of Qinghai Province, Qinghai University, Xining 810016, China

Abstract: This study selected tulip cultivar ‘Golden Apeldoorn’ under five temperatures (–12°C, 0°C, 5°C, variable temperature and room temperature as control) as material to study the influence of different temperature treatments on the GA₃, IAA and ABA contents and development of central bud. The results showed that the GA₃ contents in bulbs under constant temperature above 0°C presented two peaks. Temperatures below 0°C had little effect on GA₃ content. At the end of treatment, GA₃ contents in bulbs under 0 and 5°C were highest. Except variable temperature treatment, the IAA contents in tulip bulbs changed sharply in the first 70 d and presented a peak during 42–70 d. The higher the temperature was, the earlier the peak appeared. At the end of treatment, the IAA content in bulbs of all low-temperature treatments was lower than that before treatment. The ABA contents showed a continuous decrease under different low treatments. Comparing with control, the ABA contents in bulbs under 0°C, 5°C and variable temperature decreased continuously in the first 70 d, and then remained a relative stable level. The contents of three endogenous hormones in bulbs under different temperatures showed extremely different correlations due to the difference of dormancy depth and development of central bud. The development of central bud presented significant variation under different temperature treatments. Under 0 and 5°C treatments, the buds developed fastest and had close correlations with the contents of three hormones. It was proved that dormancy release was best under 0 and 5°C treatments, which were good for bud development and flowering.

Key words: tulip; bulb; low temperature treatment; endogenous hormone; central bud

Received 2018-12-26 Accepted 2019-06-18

This work was supported by National Natural Science Foundation of China (31660582), High Level Innovative Thousand Talents Program of Qinghai Province (2016) and Qinghai Science & Technology Department Project (2018-NK-102).

*Corresponding author (natasha_tn@hotmail.com).