

## 低温条件下不同抗寒性薰衣草内源激素的变化

田小霞, 孟林\*, 毛培春, 郭强

北京市农林科学院北京草业与环境研究发展中心, 北京100097

**摘要:** 为揭示薰衣草内源激素与抗寒能力的关系, 以抗寒性相对较强的狭叶薰衣草和抗寒性较弱的宽叶薰衣草为试验材料, 在田间自然条件下, 于越冬前不同降温时期分别对叶片和根系取样, 采用酶联免疫吸附法(ELISA)测定和分析了内源激素ABA、GA<sub>3</sub>、IAA和ZR的含量变化。结果表明, 两种薰衣草的叶片和根系中的ABA、IAA和ZR的含量随气温的降低均表现为先升高后降低的趋势, 但GA<sub>3</sub>表现为持续下降的趋势。抗寒性强的狭叶薰衣草叶片和根系中的ABA、IAA和ZR含量均高于抗寒性弱的宽叶薰衣草, 而GA<sub>3</sub>小于宽叶薰衣草。对薰衣草越冬起重要作用的内源激素是ABA。

**关键词:** 薰衣草; 抗寒性; 内源激素; 脱落酸

## Changes of Endogenous Hormones of Lavender Varieties with Different Cold-Resistances under Low Temperature

TIAN Xiao-Xia, MENG Lin\*, MAO Pei-Chun, GUO Qiang

Beijing Research and Development Center for Grass and Environment, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China

**Abstract:** In order to reveal the relationship between endogenous hormones and cold-resistance, *Lavandula angustifolia* (cold resistant) and *L. latifolia* (cold susceptible) were used as experimental material under field condition. The contents of endogenous ABA, GA<sub>3</sub>, IAA and ZR in leaves and roots were investigated by ELISA before overwintering at different low temperature periods. The results showed that ABA, IAA and ZR contents in leaves and roots increased at first, and then decreased, but GA<sub>3</sub> contents in leaves and roots decreased continuously. The general results also showed that the contents of ABA, ZR and IAA in leaves and roots of *L. angustifolia* were higher than those of *L. latifolia*, but the contents of GA<sub>3</sub> in leaves and roots of *L. angustifolia* were lower than those of *L. latifolia*. ABA was the most important endogenous hormone of lavender for overwintering.

**Key words:** lavender (*Lavandula* L.); endogenous hormones; cold resistance; abscisic acid

薰衣草是一类集观赏、食用和药用为一体的都市型农业种植香料植物, 是重要的观赏类香草植物, 原产于地中海地区。薰衣草在我国新疆伊犁已有约50年栽培历史, 与法国普罗旺斯、日本北海道并称世界三大薰衣草种植基地(梅红2013)。近年来, 随着都市型农业的发展, 薰衣草已在北方各香草园广泛种植和应用, 但自然越冬较为困难, 常常会发生冻害, 在实际生产中, 各家企业均采用多种越冬保苗的措施, 但均不理想, 有的甚至还造成浪费, 增加成本, 成为薰衣草在北方大面积推广应用的障碍和迫切需要解决的技术问题。因此, 开展薰衣草抗寒研究意义重大。

植物激素是抗寒基因表达的启动因素, 对植物抗寒力的调控起着重要作用(罗正荣1989)。当植物受到低温胁迫时, 植物会通过内源激素含量

的调节来适应外界的环境变化, 植物对低温的适应性一直是世界性的研究课题(许树成等2008)。随着秋季气温的降低, 植物生长活力下降, 其内源激素发生明显变化, 主要表现为ABA大量增多, IAA、ZR和GA<sub>3</sub>减少。已经证实许多植物经低温处理后内源ABA含量明显增加, 且抗寒性强的品种ABA含量高于抗寒性弱的品种(罗正荣1989)。一般在冷(宋运贤等2012)、热(汤日圣等2007)、盐渍(张敏等2008)、干旱(李岩等2000)、重金属(张

收稿 2014-07-23 修定 2014-10-24

资助 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJXC201401003和KJXC201201001)和北京市农林科学院草业中心人才培养基金项目。

\* 通讯作者(E-mail: menglin9599@sina.com; Tel: 010-51503345)。

黛静等2009)等逆境条件下,都可诱导植物中ABA合成。一方面,ABA促进气孔关闭(刁家连和何钟佩1998),减少水分丢失,保持体内水分平衡,减少逆境伤害;另一方面,ABA可以诱发一些与抗逆相关的新蛋白质的合成(尚忠林等2001),增强抗逆性。近年来,对植物内源激素的研究越来越广泛,特别是内源激素作为信号分子参与植物对逆境适应的调控(权宏等2003),已成为植物生理学研究的热点之一。关于低温胁迫下冬小麦(王兴等2009)、葡萄(曲凌慧等2010)、蝴蝶兰(刘学庆等2012)等内源激素的研究已有一些报道,但关于低温下薰衣草内源激素的研究尚未见报道。

本研究以2个抗寒性不同的薰衣草为材料,对其叶片和根系在田间自然降温条件下内源激素的变化规律进行了比较分析,以期揭示薰衣草抗寒的生理机制,为施用外源生长调节剂调控薰衣草的抗寒性及提高薰衣草越冬能力提供理论依据。

## 材料与方 法

### 1 试验材料

抗寒的狭叶薰衣草(*Lavandula angustifolia* Mill.)和非抗寒的宽叶薰衣草(*L. latifolia* Vill.)由北京怀柔香草世界香草园提供。

### 2 试验方法

于2011年10月在北京怀柔香草世界香草园温室扦插试验苗。2012年4月下旬移栽于北京市农林科学院试验田。完全区组设计,3次重复,小区行长5 m,6行区,行距0.6 m,每行移栽10株,常规管理。

从2012年9月15日至12月15日(连续5 d的日平均气温稳定低于22 °C的第1天,称为秋季的起始日。将连续5 d日平均气温稳定低于10 °C的第1天,称为冬季的起始日,图1),隔15 d采样一次。叶片和根系均剪成0.5 cm长的小段,按0.5 g分装,-80 °C冰箱储存,3次重复。每次采样时间均为上午8:00~10:00。各取样日的气温变化见图1。

内源激素ABA、GA<sub>3</sub>、IAA和ZR含量的测定采用酶联免疫吸附法(ELISA)(吴颂如等1988;唐尚格等1991;周碧燕等2002)。试剂盒由中国农业大学化学控制实验室提供。3次重复。

## 实验结果

### 1 不同抗寒性薰衣草ABA含量的变化

由图2可见,随着冬前生育进程的气温降低,薰衣草叶片和根系中的ABA含量呈现先升高后降低的趋势。叶片ABA含量在9月份增加缓慢,10月至11月含量上升较快,于11月29日叶片中ABA含

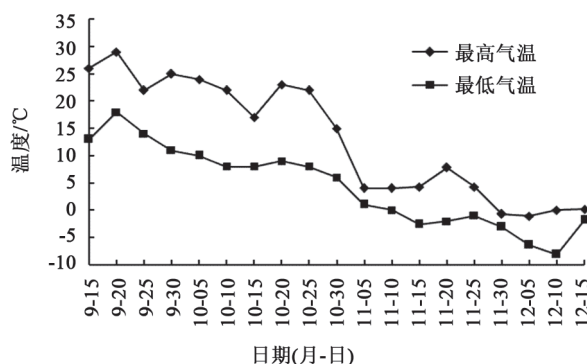


图1 各取样日的气温变化

Fig.1 Temperature changes of sampling day

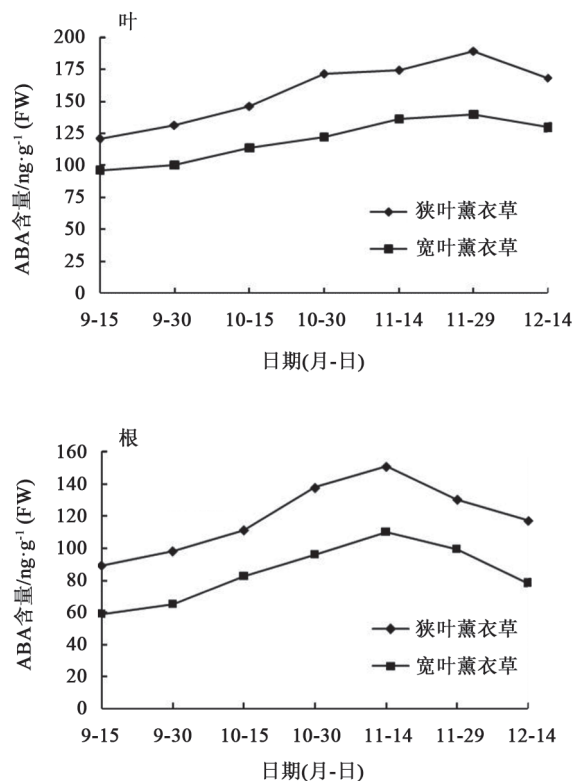


图2 狭叶薰衣草与宽叶薰衣草内源ABA含量的变化

Fig.2 Changes of endogenous ABA contents in *L. angustifolia* and *L. latifolia*

量达到最大值。根系的ABA含量则是在9~10月份上升速度均较快,于11月14日达到最大值。抗寒性强的狭叶薰衣草叶片和根系的ABA含量均高于抗寒性弱的宽叶薰衣草。同一品种不同器官的ABA含量不同,叶片的ABA含量均高于根系中的ABA含量,特别是在11月29日之前。这说明低温诱导的ABA水平的变化是一种峰式的反应,可能是因为植物受到低温胁迫后,ABA持续性积累到一定程度后不能再继续合成。

### 2 不同抗寒性薰衣草GA<sub>3</sub>含量的变化

图3显示,随着气温的降低,2个薰衣草的叶片和根系中的GA<sub>3</sub>含量呈现总体降低的趋势,期间虽有一定回升,但仍低于9月15日的GA<sub>3</sub>含量。狭叶薰衣草的叶片和根系含量基本低于宽叶薰衣草的含量。狭叶薰衣草叶片的GA<sub>3</sub>含量表现为持续下降的趋势,宽叶薰衣草叶片的GA<sub>3</sub>含量在9月15日~10月15日期间表现先下降后上升的趋势,但上升

后的GA<sub>3</sub>含量仍低于9月15日的GA<sub>3</sub>含量。抗寒性强的狭叶薰衣草叶片和根系的GA<sub>3</sub>含量均低于抗寒性弱的宽叶薰衣草。同一品种不同器官的GA<sub>3</sub>含量不同,叶片的GA<sub>3</sub>含量均高于根系中的GA<sub>3</sub>含量。

### 3 不同抗寒性薰衣草IAA含量的变化

由图4可见,随着气温的降低,2个薰衣草的叶片和根系中IAA含量均呈现先升高后降低的趋势。叶片IAA含量9月份增加较快,10月份IAA含量上升比较平缓,于10月30日叶片中IAA含量达到最大值,之后则开始下降。狭叶薰衣草IAA含量的下降速度较宽叶薰衣草快,12月14日回落到9月15日时的水平。宽叶薰衣草则下降缓慢,维持高于9月15日的水平。根系中IAA含量则是在10月15日达到最大值后下降,但仍维持在较高水平上。抗寒性强的狭叶薰衣草叶片和根系的IAA含量均高于抗寒性弱的宽叶薰衣草。同一品种不同器官的IAA含量不同,叶片的IAA含量均高于根系中的

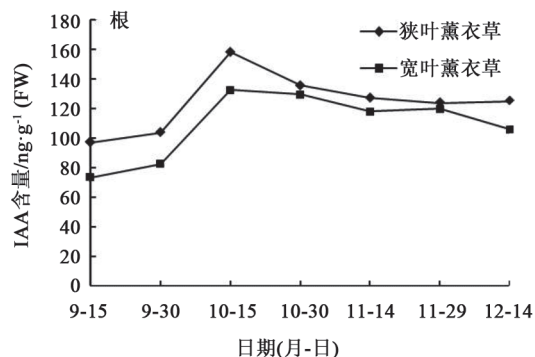
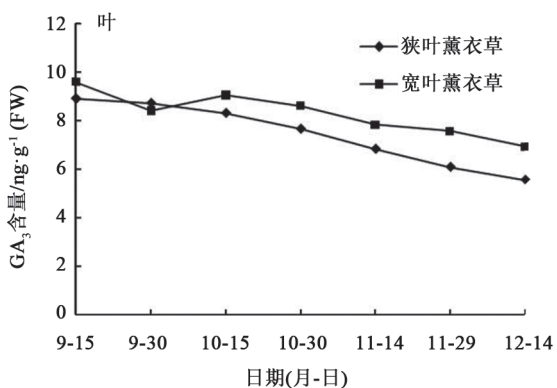
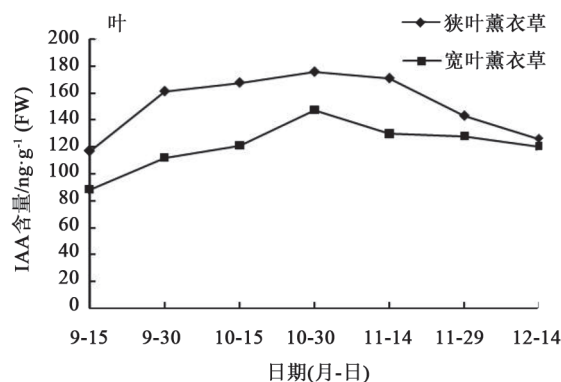
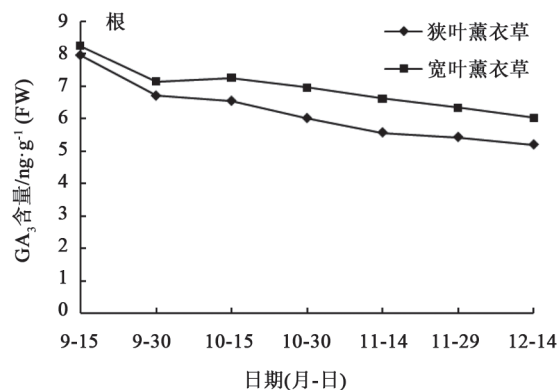


图3 狭叶薰衣草与宽叶薰衣草GA<sub>3</sub>含量的变化  
Fig.3 Changes of endogenous GA<sub>3</sub> contents in *L. angustifolia* and *L. latifolia*

图4 狭叶薰衣草与宽叶薰衣草IAA含量的变化  
Fig.4 Changes of endogenous IAA contents in *L. angustifolia* and *L. latifolia*

IAA含量。这两点与ABA的结果相同。

#### 4 不同抗寒性薰衣草ZR含量的变化

由图5可见,随着气温的降低,2个薰衣草叶片和根系中ZR的含量均呈现先升高后降低的趋势,均在10月15日达到了最大值。抗寒性强的狭叶薰衣草叶片和根系的ZR含量均高于抗寒性弱的宽叶薰衣草。同一品种不同器官的ZR含量不同,叶片的ZR含量均高于根系中的ZR含量。这两点与ABA、IAA的结果相同。

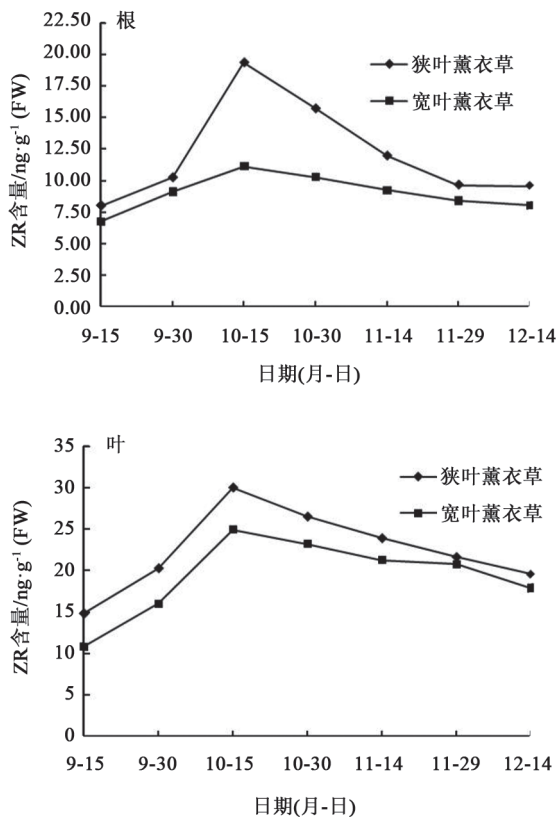


图5 狭叶薰衣草与宽叶薰衣草ZR含量的变化

Fig.5 Changes of endogenous ZR contents in *L. angustifolia* and *L. latifolia*

## 讨 论

一般认为植物内源激素GA<sub>3</sub>、IAA和ZR为生长促进型激素,而ABA为生长抑制型激素。植物激素对植物抗寒力的调控起着重要作用(罗正荣1989),特别是ABA,低温等胁迫首先引发植物体内渗透调节的改变(Skriver和Mundy 1990),进而引起植物ABA的瞬间或持续性积累,最终导致基因

表达的改变以及植物抗寒性的提高(董志强等2005)。有关ABA与植物抗寒性关系的研究已有较多报道。Rajashekar等(1979)对马铃薯的研究发现,在低温锻炼中,伴随着耐寒性的提高,植物内源ABA含量也会上升,抗寒性强植物的ABA含量高于抗寒性弱的植物(罗正荣1989);在小麦(王兴等2009)、洋蓟(Baricevic 1995)和椴子(严寒静和谈锋2001)中也发现了类似的现象。在本研究中,抗寒性强的狭叶薰衣草的叶片和根系的ABA含量也表现均高于抗寒性弱的宽叶薰衣草,与以上的研究结果一致。9月份,2种薰衣草ABA含量虽有增加,但增加缓慢;10月14日~11月29日,夜间平均气温大约为0℃,受此低温信号的影响,薰衣草叶片和根系的ABA含量增加较快。11月14日~11月29日,根系中的ABA含量有所下降,但叶片的ABA含量继续增加,可能是根中ABA转移到了叶片中,以保证地上器官抵御低温的伤害,而此期间地下温度高于地上温度,所以地下温度受低温影响少。随着低温的持续和加剧(11月29日~12月14日),叶片和根中的ABA含量逐渐减少,但狭叶薰衣草的ABA含量仍然保持高于宽叶薰衣草,说明狭叶薰衣草对低温的适应能力较强。

GA是一类能显著促进植物生长的植物激素。多数研究认为体内GA含量高的植物抗寒性较弱,即抗寒性强的植物GA含量一般低于抗寒性弱的植物(罗正荣1989;赵春江等2000;于贤昌和邢禹贤1999;张迎辉等2013)。逆境胁迫条件下植株GA<sub>3</sub>含量下降的原因主要有两个方面。一是抑制生长;二是通过促进气孔关闭的方式减少蒸腾作用,改变体内水分的利用方式,增强并维持叶绿素、蛋白质和核酸的含量等生理生化效应所做出的适应环境的调节(罗正荣1989;刘学庆等2012)。本研究的结果也表明低温降低薰衣草的GA<sub>3</sub>水平,且抗寒性强的狭叶薰衣草GA<sub>3</sub>含量低于抗寒性弱的宽叶薰衣草,表明2个品种都可通过降低GA<sub>3</sub>水平,使植株生长速度减慢,从而适应低温胁迫。

本研究中,低温胁迫下IAA含量均随温度降低而减少,这与珙桐和小麦IAA含量对低温的反应是一致的(Guo等2013;Kosová等2010)。但也有研究表明,低温胁迫使植物IAA含量呈上升趋势,究其原因,可能是处理的条件与试验材料的差异引起

的(欧阳琳等2007; 孙红梅等2006)。本研究中, 2个薰衣草品种体内IAA含量呈现先升高后降低的趋势, 根系的IAA含量于9月15日~10月15日上升, 可能是因为这期间的温度仍适合薰衣草的生长, 表现为IAA激活效应; IAA含量于10月15日开始下降, 说明此时薰衣草开始受低温胁迫, 因此薰衣草根系的IAA含量向叶片迅速转移以抵御低温的伤害, 同时根系内的IAA也迅速降低, 协同发挥作用以抵御逆境的破坏(Bishopp等2006)。

谢吉容等(2002)对南方红豆杉、马艳萍等(2013)对鲜核桃、石新龙等(2011)对白魔芋进行低温处理, 发现细胞分裂素含量均呈下降。本研究中2个薰衣草品种体内ZR含量呈现先升高后降低的趋势, 于10月15日之后开始下降, 与IAA含量的变化相同, 这可能是薰衣草为了抵御逆境低温而不断下降, 细胞分裂素作用减弱, 植株的生长减慢, 有利于其抗寒性的提高。

综上所述, 在自然越冬过程中, 薰衣草由于环境条件的变化(温度降低、日照渐短等), 导致植物体内内源激素平衡状况发生变化。如薰衣草通过调节植物体内内源激素平衡, 提高ABA含量, 降低GA<sub>3</sub>、IAA和ZR生长促进类物质含量, 从而启动抗寒基因表达, 改变代谢途径, 合成和积累抗寒物质, 促进抗寒性的增强。从4种内源激素对低温敏感性反应的角度分析, 虽然薰衣草的GA<sub>3</sub>、IAA和ZR对低温反应灵敏, 含量变化也较为显著, 但总体而言三者含量的变化较迟缓, 尤其与ABA含量相比较迟缓, 即三者对低温的敏感性小于ABA; 狭叶薰衣草比宽叶薰衣草积累的ABA含量高, 这可能是其耐低温的生理机制之一。对于4种内源激素作用时间差异的具体作用机理有待进一步研究。

### 参考文献

刁家连, 何钟佩(1983). 冬小麦茎秆生长过程中内源激素动态的系统研究. 中国农业大学学报, 3 (增刊): 16~20

董志强, 舒文华, 翟学军, 张保明, 刘芳, 宋国琦(2005). 棉株不同器官中几种内源激素的变化及相关关系. 核农学报, 19 (1): 62~67

李岩, 潘海春, 李德全(2000). 土壤干旱条件下玉米叶片内源激素含量及光合作用的变化. 植物生理学报, 26 (4): 301~305

刘学庆, 孙纪霞, 丁朋松, 张京伟, 郭文娇, 刘莉莉(2012). 低温胁迫对蝴蝶兰内源激素的影响. 江西农业大学学报, 34 (3): 0464~0469

罗正荣(1989). 植物激素与抗寒力的关系. 植物生理学通讯, (3):

1~5

马艳萍, 吕新刚, 马惠玲, 费昭雪(2013). 低温对鲜核桃贮藏效果及胚芽内源激素变化的影响. 北方园艺, (5): 134~138

梅红(2013). 薰衣草景观应用与设计初探. 中国城市林业, 11 (4): 54~55

欧阳琳, 洪亚辉, 黄丽华, 王若仲, 肖浪涛(2007). 不同逆境胁迫信号对超级稻幼苗生理生化影响及植物激素变化的初步研究. 农业现代化研究, 28 (1): 104~106

曲凌慧, 车永梅, 刘新, 卢江(2010). ABA和JA等激素参与葡萄对低温胁迫的应答. 青岛农业大学学报(自然科学版), 27 (1): 36~41

权宏, 施和平, 李玲(2003). 脱落酸诱导气孔关闭的信号转导研究. 植物学通报, 20 (6): 664~670

尚忠林, 傅晓瑞, 李云荫(2001). 干旱和ABA对同核异质冬小麦叶片蛋白的影响. 西北植物学报, 21 (6): 1147~1151

石新龙, 王启军, 牛义, 刘海利, 张盛林(2011). 低温诱导对白魔芋产生多叶的研究. 西南大学学报:自然科学版, 33 (6): 35~39

宋运贤, 周素英, 杜雪玲, 王建, 余如刚, 李桂萍, 王倩, 陈耀锋(2012). 低温预处理对小麦花药内源激素的影响. 核农学报, 26 (7): 1064~1069

孙红梅, 李天来, 李云飞(2006). 兰州百合鳞茎发育及低温解除休眠过程中内源激素的变化. 植物研究, 26 (5): 570~576

汤日圣, 郑建初, 金之庆, 黄益洪, 张大栋, 董红玉(2007). 高温导致杂交水稻籽粒不实与内源激素的关系. 2007年全国植物生长物质研讨会, 江西南昌

唐尚格, 夏玉先, 裴炎(1991). 间接酶联免疫法测定植物内源激素. 西南农业大学学报, 13 (2): 183~186

王兴, 于晶, 杨阳, 苍晶, 李卓夫(2009). 低温条件下不同抗寒性冬小麦内源激素的变化. 麦类作物学报, 29 (5): 827~831

吴颂如, 陈婉芬, 周燮(1988). 酶联免疫法(ELISA)测定内源植物激素. 植物生理学通讯, (5): 55~59

谢吉容, 向邓云, 梅虎, 谈锋(2002). 南方红豆杉抗寒性的变化与内源激素的关系. 西南师范大学学报(自然科学版), 2 (2): 231~234

许树成, 丁海东, 鲁锐, 石犇, 马芳芳(2008). ABA在植物细胞抗氧化防护过程中的作用. 中国农业大学学报, 13 (2): 11~19

严寒静, 谈锋(2001). 自然降温过程中椴木叶片脱落酸、赤霉素与低温半致死温度的关系. 西南师范大学学报(自然科学版), 26 (2): 195~199

于贤昌, 邢禹贤, 马红, 魏珉, 李滨(1999). 低温胁迫下黄瓜嫁接苗和自根苗内源激素的变化. 园艺学报, 26 (6): 406~407

张黛静, 姜丽娜, 邵云, 柴宝玲, 李春喜(2009). 胁迫下不同品种小麦萌发和内源激素的变化. 应用与环境生物学报, 15 (5): 602~605

张敏, 蔡瑞国, 李慧芝, 李建敏, 戴忠民, 王振林, 尹燕桦(2008). 盐胁迫环境下不同抗盐性小麦品种幼苗长势和内源激素的变化. 生态学报, 28 (1): 300~319

张迎辉, 李书平, 荣俊冬, 陈凌艳, 何天友, 郑郁善(2013). 低温胁迫下福建山樱花、日本樱花内源激素的变化. 福建林业科技, 40 (3): 62~67

赵春江, 康书江, 王纪华, 郭晓维, 李鸿祥(2000). 植物内源激素与不同基因型小麦抗寒性关系的研究. 华北农学报, 15 (3): 51~54

周碧燕, 李宇彬, 陈杰忠, 季作梁, 胡志群(2002). 低温胁迫和喷施ABA对荔枝内源激素和成花的影响. 园艺学报, 29 (6):

- 577~578
- Baricevic D (1995). Significance of abscisic acid (ABA) in low temperature stress in globe artichoke (*Cynarascolymus* L.) cultivars. Zbornik Biotehniške Fakultete Univerze Edvarda Kardelja Ljubljani, Kmetiistvo, 65: 25~32
- Bishopp A, Mahonen AP, Riuttay H (2006). Signs of change: hormone receptors that regulate plant development. *Development*, 133: 1857~1869
- Guo B, Stiles AR, Liu CZ (2013). Changes in endogenous hormones and oxidative burst as the biochemical basis for enhanced shoot organogenesis in cold-treated *Saussurea involucrata* explants. *Acta Physiol Plant*, 35: 283~287
- Kosová K, Prášil IT, Vítámvás P, Dobrev P, Motyka V, Floková K, Novák O, Turečková V, Rolčík J, Pešek B et al (2010). Complex phytohormone responses during the cold acclimation of two wheat cultivars differing in cold tolerance, winter Samanta and spring Sandra. *J Plant Physiol*, 169: 567~576
- Rajashekar C, Gusta L V, Burke MJ (1979). Membrane structural transition: probable relation to frost damage in hardy herbaceous species. In: Lysons JM, Graham D, Raison JK (eds). *Low Temperature Stress in Crop Plants the Role of Membrane*. New York: Academic Press, 255~274
- Skriver K, Mundy J (1990). Gene expression in response to abscisic acid and osmotic stress. *Plant Cell*, 2: 503~512