

李杨瑞 主编

甘蔗应用乙烯利 增产增糖的技术及机理

SUGARCANE CHEMICAL CONTROL



 中国农业出版社

甘蔗应用乙烯利 增产增糖的技术及机理

李杨瑞 主编



中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

甘蔗应用乙烯利增产增糖的技术及机理 / 李杨瑞主
编. —北京: 中国农业出版社, 2006. 11
ISBN 7-109-11265-9

I. 甘... II. 李... III. 乙烯利—应用—甘蔗—栽
培—文集 IV. S566.1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 132168 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 林珠英

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月北京第 1 次印刷

开本: 889mm×1194mm 1/16 印张: 23.5

字数: 700 千字

定价: 78.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编 李杨瑞

主要编写人员 李杨瑞 杨丽涛 叶燕萍
姚瑞亮 王爱勤 林炎坤

前 言

20 世纪 80 年代以来，甘蔗已经成为广西的支柱经济作物，每年种植面积达到 50 万~60 万公顷，涉及 2 200 多万蔗区农民和 10 万多糖厂职工的生产生活，也是广西财政收入的主要来源之一。但是，广西甘蔗的平均单产长期以来低于全国平均水平，单位面积的生产效率较低。我们必须努力探寻先进实用的新科技，有效地提高单位面积的甘蔗产量。同时，提高甘蔗蔗糖分，实现高产高糖，才能既维持农民种蔗的积极性，又降低糖厂的生产成本，提高糖厂的经济效益和广西蔗糖生产的竞争能力，促进广西糖业跨上一个新台阶。提高单产和甘蔗蔗糖分的措施是多方面的、综合的，其中利用化学调控技术是行之有效的措施。

自 20 世纪 80 年代后期以来，我们对多种化学物质包括植物生长调节剂进行了大量的筛选试验，证实乙烯利对甘蔗生长和糖分积累具有多方面的作用。事实上，人们已经熟知，乙烯利是一种用途很广的植物生长调节剂。但是，长期以来，绝大多数研究者只重视其抑制生长、促进成熟衰老的作用。我们在前人研究的基础上，更重视探索乙烯利对甘蔗的新效应、新用途。这一思路和以后我们在研究中不断获得令人鼓舞的新发现，再加上国家和自治区有关部门对本研究持续不断的支持，使这一研究得以顺利进行，并长期延续。

1988 年，我们申请的国家自然科学基金项目“甘蔗糖分积累、转化的内部机制及其调控研究”获得批准（批准号 0388019），实施期为 1989 年 1 月至 1991 年 12 月，乙烯利对甘蔗的效应是其中的重要内容之一。1993 年，我们申请的国家自然科学基金项目“甘蔗蔗糖积累的化学调控机理研究”再获得批准（批准号 39360043），实施期为 1994 年 1 月至 1996 年 12 月，乙烯利对甘蔗的效应是其中的重要内容。1998 年，我们申请的国家自然科学基金项目“乙烯利对甘蔗增产增糖的生理机理研究”又获得批准（批准号 39860039），实施期为 1999 年 1 月至 2001 年 12 月。1997 年，我们申请的广西自然科学基金项目“化学调控对甘蔗茎内生理

生化代谢的影响”获得批准（合同编号：桂科自 9721013），乙烯利对甘蔗的效应也是其中的重要内容。1999 年，“乙烯利对甘蔗增产增糖的生理机理研究”和“化学调控对甘蔗茎内生理生化代谢的影响”同时得到广西“十百千人才工程”资助。2000 年，“乙烯利对甘蔗增产增糖的生理机理研究”被批准为国家人事部优秀留学回国人员重点资助项目，并得到广西财政经费支持。

本研究时间跨度大，参与人数众多，在国内外各种专业刊物中发表了大量的研究论文，而且许多相关的研究工作仍在继续深化，已形成一个独特而稳定的重要研究方向。本论文集集中收集的是本研究已经发表的有关研究论文，供研究者从事有关研究或从事有关技术开发和推广工作时参考。希望能够抛砖引玉，使今后这一领域的研究水平更高，成就更辉煌！由于在不同的时期参与研究工作的人员变动较大，为了全面反映主要人员的学术贡献，并便于参考，每一篇论文的作者都在不同的论文中按原论文发表时的顺序排列，并在论文的最后注明原发表处详细信息，有关参考文献的编排也保留原发表时的格式。

本论文集的收集整理得到黄诚梅、胡春锦等同志的大力帮助。

在此特对长期给予我们大力支持的单位和个人表示衷心的感谢！

李杨瑞

2006 年 9 月 28 日

目 录

前言

甘蔗应用乙烯利增产增糖技术的机理研究项目技术总结	
.....李杨瑞 杨丽涛 叶燕萍 姚瑞亮 王爱勤 林炎坤 梁和 罗瑞鸿 潘有强 邢永秀 王自章 李志刚 李永健 廖维政 朱俊杰 吴凯朝 黄健 廖江雄 尧金燕 农友业 谢特立 周传凤 张向军 (1)	
三种生长调节剂对甘蔗生长和蔗糖分积累的影响	林炎坤 李杨瑞 叶燕萍 (10)
乙烯利对甘蔗生化特性和品质的效应研究	谢特立 莫家让 (17)
三种生长调节剂对甘蔗若干生理生化特性的影响	林炎坤 李杨瑞 叶燕萍 (23)
不同浓度乙烯利处理对甘蔗光合性能的影响	梁和 李杨瑞 黄文尧 满世志 (28)
不同浓度乙烯利处理对甘蔗若干生理生化特性的影响	梁和 李杨瑞 周生茂 满世志 黄文尧 (33)
不同浓度乙烯利处理对甘蔗经济性状的效应	梁和 李杨瑞 满世志 黄文尧 (39)
甘蔗生长前期喷施乙烯利对叶光合器官形态结构的影响	罗瑞忬 李杨瑞 林炎坤 (44)
甘蔗分蘖期喷施乙烯利对两个甘蔗品种的三种保护酶活性的影响	潘有强 林炎坤 李杨瑞 (50)
甘蔗生长前期喷施乙烯利对叶绿体超微结构的影响	罗瑞忬 李杨瑞 林炎坤 (55)
甘蔗分蘖期喷施乙烯利对甘蔗生长及主要农艺性状的影响	潘有强 林炎坤 李杨瑞 (60)
三种催熟剂对甘蔗成熟期光合及糖分积累的生理生化影响	廖江雄 武金榜 林炎坤 李杨瑞 (65)
Low concentrations of ethephon promote plant growth and sucrose accumulation in sugarcane	Yang-Rui Li He Liang Rui-Bian Luo Yan-Kun Lin (71)
甘蔗生长后期喷施乙烯利的效应	农友业 李杨瑞 张逢友 陈锦朝 (73)
植物激素乙烯的分子生物学研究进展	姚瑞亮 关雄 李杨瑞 陈如凯 (78)
乙烯利对甘蔗节间过氧化物酶活性的影响及酶细胞化学	姚瑞亮 李杨瑞 林炎坤 (82)
乙烯利对甘蔗茎内 IAA 氧化酶活性动态变化的影响	姚瑞亮 李杨瑞 杨丽涛 叶燕萍 (87)
乙烯利在甘蔗上的应用研究进展	张向军 李杨瑞 (91)
乙烯利对甘蔗成熟和未成熟节间的催熟增糖效应	姚瑞亮 李杨瑞 杨丽涛 (97)
乙烯利处理对甘蔗茎形态解剖结构的影响	李志刚 林鉴钊 杨丽涛 李杨瑞 李素丽 (103)
<i>Saccharum officinarum</i> 1 - aminocyclopropane - 1 - carboxylate oxidase (ACO) gene, partial cds. AF442821	Zi-Zhang Wang Shu-Zhen Zhang Yang-Rui Li (109)
不同时期喷施乙烯利对甘蔗生长、主要农艺性状及抗旱性的影响	
.....李永健 杨丽涛 李杨瑞 叶燕萍 (111)	
生长前期叶面喷施乙烯利对甘蔗茎细胞几种酶活性的影响	
.....李志刚 李杨瑞 林炎坤 林鉴钊 李素丽 周维永 (117)	
Endogenous hormone levels at technical maturing stage of sugarcane	
.....Rui-Liang Yao Yang-Rui Li Gui-Rong Zhang Li-Tao Yang (122)	
甘蔗伸长盛期乙烯利处理对节间 ATP 酶和转化酶活性的影响	姚瑞亮 李杨瑞 杨丽涛 张桂荣 (128)
乙烯利对甘蔗过氧化物酶同工酶和酶活性的影响	姚瑞亮 李杨瑞 (133)
乙烯利对不同甘蔗品种气体交换的影响	邢永秀 杨丽涛 李杨瑞 (137)
甘蔗 ACC 氧化酶基因片段的克隆与序列分析	王自章 李杨瑞 张树珍 林俊芳 郭丽琼 (144)

- 较高浓度乙烯利对甘蔗叶片生长和若干生理生化特性的影响 潘有强 李杨瑞 林炎坤 (153)
- 乙烯利对不同甘蔗品种光合特性的影响 邢永秀 杨丽涛 李杨瑞 (157)
- 甘蔗生长后期不同时间乙烯利催熟增糖的效应 廖维政 李杨瑞 林炎坤 农友业 刘宇 杨丽涛 (163)
- Ethephon: A versatile growth regulator for sugarcane industry Yang-Rui Li Solomon S. (169)
- Saccharum officinarum* 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase (ACO) mRNA,
complete cds. AY521566 Ai-Qin Wang Zi-Zhang Wang Yu-Tuo Wei Yang-Rui Li Li-Tao Yang (184)
- 乙烯生物合成途径中的两个关键酶基因的研究进展 王爱勤 王自章 杨丽涛 韦宇拓 李杨瑞 (186)
- 乙烯利及其与赤霉素相结合对甘蔗光合特性的影响 朱俊杰 叶燕萍 李杨瑞 蓝庆森 杨丽涛 (194)
- 喷施乙烯利对两个品种甘蔗一些生理生化及农艺性状影响
..... 叶燕萍 李永健 李杨瑞 石宝发 杨丽涛 (203)
- 喷施乙烯利对甘蔗群体冠层结构及一些抗旱性生理指标的影响
..... 吴凯朝 叶燕萍 李杨瑞 李永健 杨丽涛 (209)
- 叶面喷施乙烯利对甘蔗碳氮代谢、农艺性状和品质的影响
..... 黄健 叶燕萍 李杨瑞 盘哲辛 杨丽涛 (217)
- Saccharum officinarum* 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase (ACS3) gene,
partial cds. AY788919 Ai-Qin Wang Li-Tao Yang Zi-Zhang Wang Long-Fei He Yu-Tuo Wei Yang-Rui Li (224)
- Saccharum officinarum* 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase (ACS1) gene,
partial cds. AY620985
..... Ai-Qin Wang Zi-Zhang Wang Li-Tao Yang Yu-Tuo Wei Long-Fei He Yang-Rui Li (227)
- Saccharum officinarum* 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase (ACS2) gene,
complete cds. AY620986
..... Ai-Qin Wang Li-Tao Yang Zi-Zhang Wang Long-Fei He Yu-Tuo Wei Yang-Rui Li (229)
- Effect of ethephon on gas exchange in different sugarcane varieties
..... Yong-Xiu Xing Li-Tao Yang Yang-Rui Li (231)
- Low concentration of ethephon promoting differentiation of vascular bundles in leaves of
sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Rui-Hong Luo Yang-Rui Li Yan-Kun Lin (240)
- Effect of exogenous ethephon application at different stages on growth, agronomic traits
and drought resistance in sugarcane Yong-Jian Li Li-Tao Yang Yang-Rui Li Yan-Ping Ye (245)
- Effects of foliar spray of ethephon at tillering stage on mesophyll cells and chloroplasts in
sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Rui-Hong Luo Yang-Rui Li Yan-Kun Lin (252)
- Improving ripening and drought resistance in sugarcane by application of ethephon
..... Yang-Rui Li Wei-Zheng Liao Li-Tao Yang Yan-Kun Lin You-Ye Nong Yu Liu (256)
- Effects of spraying ethephon on the canopy architecture and the physiological indexes for
drought resistance in sugarcane Kai-Chao Wu Yan-Ping Ye Yang-Rui Li Yong-Jian Li Li-Tao Yang (262)
- Stimulatory effects of ethephon on photosynthesis of sugarcane under water-deficit
conditions Jin-Yan Yao Li-Tao Yang Wei-Kuan Fang Yang-Rui Li (271)
- Cloning of a full-length cDNA encoding 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid
oxidase gene from sugarcane
..... Ai-Qin Wang Li-Tao Yang Zi-Zhang Wang Yu-Tuo Wei Long-Fei He Yang-Rui Li (277)
- 中国亚热带气候下甘蔗应用乙烯利的多种效应 李杨瑞 (286)
- Chemical ripening of sugarcane: global progress and recent developments in China
..... Solomon S. Yang-Rui Li (295)
- 喷施乙烯利对生长前期甘蔗叶片维管束结构及硅镁锌含量的影响
..... 周琼 李杨瑞 林鉴钊 叶燕萍 杨丽涛 (309)

乙烯利浸种对甘蔗抗旱性的影响	叶燕萍 李杨瑞 罗霆 庞国雁 杨丽涛 (314)
乙烯利对宿根蔗生理生化特性和农艺性状的影响	叶燕萍 蒙显标 黄立祝 李杨瑞 李永健 谢爱玲 杨丽涛 (318)
Expression of ACC oxidase gene from sugarcane induced by hormones and environmental force	Ai-Qin Wang Li-Tao Yang Zi-Zhang Wang Yu-TuoWei Long-Fei He Yang-Rui Li (322)
甘蔗生长后期乙烯利处理对节间转化酶活性的影响及与蔗糖分积累的关系	姚瑞亮 李杨瑞 黄玉辉 杨丽涛 张桂荣 (328)
甘蔗乙烯合成酶基因家族三个成员的克隆与序列分析	王爱勤 杨丽涛 王自章 韦宇拓 何龙飞 李杨瑞 (333)
环境胁迫和激素诱导甘蔗 ACC 合成酶基因家族三个成员的表达	王爱勤 杨丽涛 王自章 韦宇拓 何龙飞 李杨瑞 (345)
甘蔗分蘖期间叶面喷施乙烯利后两种内源激素的变化	周传凤 李杨瑞 杨丽涛 (351)
乙烯利对甘蔗伤流液氮化物和钙的影响及其与分蘖的关系	周传凤 李杨瑞 杨丽涛 (355)
Relationships between tillering and activities of peroxidase, IAA oxidase and acid invertase in stems of sugarcane sprayed with ethephon at early tillering stage	Chuan-Feng Zhou Yang-Rui Li Li-Tao Yang (360)

甘蔗应用乙烯利增产增糖技术的机理研究 项目技术总结*

李杨瑞 杨丽涛 叶燕萍 姚瑞亮 王爱勤 林炎坤 梁 和 罗瑞鸿
潘有强 邢永秀 王自章 李志刚 李永健 廖维政 朱俊杰 吴凯朝
黄 健 廖江雄 尧金燕 农友业 谢特立 周传凤 张向军

摘要 为了探明乙烯利对甘蔗增产增糖的生理机理,分别从群体、个体、器官、细胞到分子水平进行了全面分析。结果认为:乙烯利处理首先是诱导了编码 ACC 合成酶和 ACC 氧化酶基因表达,使甘蔗组织内出现一个乙烯释放高峰,它改变了蔗株体内五大内源激素之间的平衡关系,从而影响到许多功能基因的表达,因此影响到各种生理代谢,影响细胞的分裂、伸长和分化,并进一步影响到器官、组织的发育和蔗株的生长。叶面喷施乙烯利后诱发的过氧化物酶和 IAA 氧化酶活性提高加快了 IAA 的氧化分解,使组织中的 IAA 含量降低,从而使蔗株地上部分的生长受到暂时抑制。但是,组织内较高的乙烯浓度会反过来加速内源 IAA 的合成,因此短暂抑制过后蔗株能够快速生长。如果所用的乙烯利浓度过高,会导致蔗株生长长时间受阻,但在糖分积累时期,这种情况有利于蔗茎中的蔗糖积累,因此起到催熟增糖作用。

关键词 甘蔗 乙烯利 增产 增糖 机理

Mechanism of ethephon on increasing cane yield and sucrose % cane in sugarcane

Yang-Rui Li^{1,2} Li-Tao Yang² Yan-Ping Ye² Rui-Liang Yao² Ai-Qin Wang²
Yan-Kun Lin² He Liang² Rui-Hong Luo¹ You-Qiang Pan¹ Yong-Xiu Xing²
Zi-Zhang Wang² Zhi-Gang Li² Yong-Jian Li² Wei-Zheng Liao² Jun-Jie Zhu²
Kai-Chao Wu² Jian Huang² Jiang-Xiong Liao¹ Jin-Yan Yao² You-Ye Nong²
Te-Li Xie² Chuan-Feng Zhou² Xiang-Jun Zhang¹

(¹ Guangxi Crop Genetic Improvement and Biotechnology Laboratory, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi 530007; ² Agricultural College, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530005)

Abstract A series of investigations was conducted at levels of population, plant, organ, cell and molecule to illustrate the mechanism of ethephon on increasing cane yield and sucrose % cane in sugarcane. It was found that the ethephon treatment first induced the expression of the genes encoding ACC synthase and ACC oxidase and resulting in an ethylene releasing

* 国家自然科学基金资助项目 (0388019, 39360043, 39860039)、国家人事部优秀留学回国人员重点资助项目 ([2000] 108)、广西自然科学基金项目 (桂科自 9721013)、广西“十百千人才工程”项目 ([1998] 354) 资助。

peak inside the tissues, which changed balances of the five endo-hormones, which affected the expression of various functional genes and so affecting the division, elongation and differentiation of the cells that led to the direct changes in the development of organs and tissues and the growth of the plants. The increases of peroxidase and IAA oxidase activities induced by foliar spray of ethephon promoted the oxidation and degradation of IAA, which led to the decrease of IAA in the tissues so resulting in temporary inhibition of the growth of the above-ground part of the plants. However, the relative high concentration of ethylene speeded up the synthesis of IAA inside the tissues, which explained the fast growth after a short inhibition. If the applied ethephon concentration is too high, the plant growth would be inhibited for a long time. However, this situation would be good for sugar accumulation in the stalks during sugar accumulation stage, so ethephon could be used as the ripener of sugarcane.

Key words sugarcane ethephon yield increase sugar improvement mechanism

此项目始于1989年。当时,甘蔗已经成为广西的支柱经济作物,每年种植面积达到50万~60万公顷,涉及2200多万蔗区农民和10万多糖厂职工的生产生活,也是广西财政收入的主要来源之一。但是,广西甘蔗的平均单产低于全国平均水平,单位面积的生产效率较低。我们必须努力探寻先进实用的新科技,有效地提高单位面积的甘蔗产量,同时提高甘蔗蔗糖分,实现高产高糖,才能既维持农民种蔗的积极性,又降低糖厂的生产成本,提高糖厂的经济效益,提高广西蔗糖生产的竞争能力,促进广西糖业跨上一个新台阶。提高单产和甘蔗蔗糖分的措施是多方面的,综合的,其中利用化学调控这一重要现代生物技术手段是行之有效的。自20世纪80年代后期以来,笔者对多种化学物质包括植物生长调节剂进行了大量的筛选试验,证实乙烯利对甘蔗生长和糖分积累具有多方面的作用。

事实上,人们已经熟知,乙烯利是一种用途很广的植物生长调节剂。但是,长期以来,绝大多数研究者只重视其抑制生长、促进成熟衰老的作用。我们在前人工作的基础上,更重视探索乙烯利对甘蔗的新效应、新用途。16年来,我们得到了国家自然科学基金的连续资助,并先后得到国家人事部优秀留学回国人员重点资助项目、广西“十百千人才工程”资助项目、广西自然科学基金项目等多方面的大力支持,在这方面进行了大量的试验研究。笔者发现,通过在甘蔗的不同生长期用不同的乙烯利浓度进行处理,可以能动地对甘蔗生长和糖分积累进行调控,在甘蔗生长的前中期用低浓度的乙烯利处理可以促进甘蔗生长,提高产量;在甘蔗生长后期用高浓度的乙烯利处理可以促进甘蔗的糖分积累,提早成熟和提高甘蔗蔗糖分,从而实现增产增糖。为了确证这些效应,笔者先后从群体、个体、器官、细胞到分子水平,通过生态、形态解剖、生理代谢、某些重要关键酶的克隆、分子结构分析等,全面系统研究甘蔗应用乙烯利增产增糖的生理机理,获得了新发现,受到了国际同行的重视,并促进了乙烯利在甘蔗生产上的应用,先后培养了一批博士和硕士,使一批研究人员成长为教授、副教授等高级专业技术人才,产生了显著的社会经济效益。

1 项目实施的技术路线和方法

1.1 技术路线

总的技术路线是在不同的甘蔗生长期用不同乙烯利浓度进行处理后,分别从群体、个体、器官、细胞到分子水平,通过对生态因素、甘蔗组织的形态解剖、甘蔗生理代谢(特别是内源激素平衡、光合作用特性、光合产物分配、根系生理、糖分积累、重要关键酶活性、重要生物分子含量等)、某些重要关键酶的克隆、分子结构与功能等进行分析,全面系统研究甘蔗应用乙烯利增产增糖的生理机理。

此研究时间跨度大, 各项具体研究的技术路线不同, 均已在相关的研究论文中详述, 这里不赘述。

1.2 试验方法

乙烯利处理的方法包括用不同浓度乙烯利进行甘蔗种苗处理(浸种或喷雾)、不同生长期叶面喷施等。试验分别采用了田间试验(用不同甘蔗品种时多采用裂区试验设计)、温室试验、盆栽试验等或结合进行, 详见相关的研究论文。

生态、形态解剖、生理代谢、某些重要关键酶的克隆、分子结构分析, 数据处理分析等有关方法已在相关的研究论文中详述, 这里不再赘述。

2 项目实施所获主要结果概述

通过对甘蔗茎叶解剖结构和与甘蔗生长和蔗糖分积累有关的生理生化性状进行分析, 从甘蔗根、茎、叶内生理生化和相关的形态解剖结构方面探讨乙烯利处理增产增糖的机理, 对甘蔗生长和蔗糖分积累的化学调控机理有了全面深入地了解。

2.1 甘蔗生长后期较高浓度(400mg/L)的乙烯利处理可起催熟增糖作用^[1~10], 主要是促进未成熟甘蔗品种和(或)节间的甘蔗蔗糖分迅速积累^[4,7~10], 从9月下旬至11月中旬进行处理均有效^[1~10], 平均提高甘蔗蔗糖分1.0%~2.4%(绝对值, 下同)。

2.2 分析了甘蔗生长后期叶面喷施乙烯利后叶片和茎内的一些酶与蔗糖分积累的关系^[11~16], 发现在生长后期用较高浓度乙烯利处理后叶片中的酸性转化酶、淀粉酶、 Mg^{2+} -ATP酶活性和PEP羧化酶等与生长代谢密切联系的酶都受到相当一段时间的抑制, 生长代谢和光合作用受到暂时抑制, 而对与蔗糖积累有关的过氧化物酶、中性转化酶和酸性磷酸酶活性则在处理后表现出明显而稳定的促进作用, 在大多数情况下乙烯利处理还提高了 Ca^{2+} -ATP酶和多酚氧化酶的活性。乙烯利处理后, 蔗茎中的过氧化物酶、IAA氧化酶、中性转化酶等酶活性显著提高, 说明乙烯利通过调节有关酶活性而起催熟效应。研究还发现, 在下雨条件下过氧化物酶同工酶谱带减少, 酶活性降低, 这可能是下雨对甘蔗成熟不利的原因之一, 也进一步说明了过氧化物酶活性与甘蔗成熟和糖分积累有正相关关系^[8~10,13]。

2.3 分析了甘蔗生长后期乙烯利处理后叶片乙烯释放和茎尖生长素、细胞分裂素、赤霉素和脱落酸含量的动态变化^[8~10,15]。分析结果表明在甘蔗工艺成熟过程中有乙烯释放高峰出现, 说明乙烯释放在诱发甘蔗成熟过程中可能起着关键作用, 同时脱落酸含量提高, 说明其在甘蔗成熟中也发挥一定作用。而生长素、细胞分裂素和赤霉素并无显著降低, 甘蔗在适当条件下仍能继续生长。

2.4 在甘蔗生长前期进行适当浓度(80~100mg/L)乙烯利处理, 短时间(7~10天)内蔗株地上部分可观察到轻度抑制, 使叶片变得短、直、厚, 促进分蘖发生, 同时促进根系生长, 提高根冠比, 增强根的活力, 从而有利于水分和养分的吸收, 进而促进生长盛期的甘蔗生长, 最终使甘蔗增产约10%。随着处理的乙烯利浓度的提高, 甘蔗地上部分生长受抑制的时间延长, 超过了一定的浓度范围(一般300mg/L以上), 抑制效应大于促进效应, 就会造成减产。但是, 不管高浓度或低浓度的乙烯利处理, 到工艺成熟期都显著提高甘蔗蔗糖分^[8~10,17~23], 平均提高0.3%~1.0%。

2.5 分析甘蔗生长前期乙烯利处理后叶片乙烯释放和茎尖生长素、细胞分裂素、赤霉素和脱落酸含量的动态变化, 发现在甘蔗生长前期没有脱落酸合成, 乙烯利处理对生长素、细胞分裂素和赤霉素有先抑后扬的效应^[8~10]。在甘蔗分蘖期, 乙烯利处理茎尖生长素(IAA)含量减少, 茎伤流液中的细胞分裂素(CTK)含量提高, 使根部CTK: IAA比值提高, 有利于促进分蘖发生。这一变化也与乙烯利处理根部较高的过氧化物酶和IAA氧化酶活性相联系。

2.6 在甘蔗生长前期进行适当浓度乙烯利处理后, 优化了蔗株的冠层结构和叶绿体的片层结构, 增加了叶绿体类囊体膜的片层数, 扩大了叶片内的总光合面积, 提高了叶片中的光合色素含量以及与光合作用有关的酶(PEP羧化酶、苹果酸酶、 Ca^{2+} -ATP酶、 Mg^{2+} -ATP酶、碳酸酐酶、丙酮酸磷酸

二激酶、淀粉酶、硝酸还原酶等)活性,提高了叶绿体循环光合磷酸化活性,显著提高了光合速率、气孔导度和蒸腾速率^[8~10,23~34]。

2.7 在甘蔗生长前中期用适当浓度乙烯利处理一段时间内,根、茎、叶中的过氧化物酶、超氧化物歧化酶和多酚氧化酶活性等保护酶活性提高,有利于增强蔗株对逆境的抵抗能力,适应环境并促进组织分化。经历短时间抑制期后,这些酶活性下降,而叶片中与促进生长密切有关的酸性转化酶、 Ca^{2+} -ATP 酶、 Mg^{2+} -ATP 酶、淀粉酶等酶活性和水溶性蛋白质、全氮、无机磷、还原糖含量,茎内的中性转化酶、酸性转化酶、 Ca^{2+} -ATP 酶和 Mg^{2+} -ATP 酶的活性提高,说明乙烯利处理促进了甘蔗物质和能量代谢,有利于生长。进入糖分积累时期以后,叶片和茎中的酸性转化酶活性下降,而对蔗茎中糖分积累有利的中性转化酶、过氧化物酶、 Ca^{2+} -ATP 酶和 Mg^{2+} -ATP 酶等酶活性则维持高于对照^[8~10,35~38]。但用较高浓度乙烯利处理则会产生较严重的抑制效应^[8~10,36,39]。

2.8 在甘蔗生长前期进行不同浓度乙烯利处理,进行了叶和茎内解剖结构观察,低浓度的乙烯利处理促进叶片中维管束分化,尽管维管束个体大小略减,但增加了维管束的相对数量、单位长度叶片中的维管束总宽度和韧皮部总宽度,还使后生导管和韧皮部的面积扩大,使体内运输系统更加发达;促进叶绿体分化,增加叶绿体的基粒片层数,扩大了叶片内的光合总面积;促进了茎维管束的分化,使其密度增大,并增加了茎维管束木质部导管和韧皮部的面积,有利于物质运输^[8~10,40,41]。

2.9 利用不同浓度乙烯利进行甘蔗浸种试验,发现乙烯利浸种显著促进分蘖,特别是在干旱条件下,乙烯利处理能有效地提高甘蔗的出苗速率和分蘖率,并使最终的有效茎数增加^[8~10,42]。生理生化分析的结果表明,经乙烯利浸种处理后1个月内,甘蔗幼苗茎、叶中的生长素含量显著低于对照,而赤霉素、玉米素含量显著高于对照,叶片内应激内源乙烯有所增加,并提高了甘蔗体内含水量、细胞膜透性以及过氧化物酶、酸性转化酶、中性转化酶、 Mg^{2+} -ATP 酶、 Ca^{2+} -ATP 酶的活性,降低了水溶性蛋白质含量和酸性转化酶活性^[8~10]。

2.10 对乙烯利影响甘蔗生长的分子生物学基础进行了初步研究^[43~53]先后分别克隆到一个编码甘蔗 ACC 氧化酶基因的片段和全长的 cDNA,均已在 GenBank 上注册^[45,46]。该全长 cDNA 核苷酸序列为 1 307 bp,推导的蛋白质序列包含一个编码 323 个氨基酸的读码框。Northern 杂交分析的结果表明,IAA、BA、乙烯利、LiCl 和低温均可诱导 ACC 氧化酶基因表达。基因组的 Southern 和 Northern 杂交分析的结果表明至少有 3 个其他序列能与该 cDNA 进行微弱的杂交。

笔者还克隆到编码甘蔗 ACC 合成酶的基因家族共 3 个成员,Sc-ACS1、Sc-ACS2 和 Sc-ACS3,其片段分别为 1 041bp (Sc-ACS1),1 345bp (Sc-ACS2) and 1 812bp (Sc-ACS3)。Northern 杂交分析的结果表明,黑暗、乙烯利、IAA、LiCl 和低温条件均可诱导 Sc-ACS1 基因表达,Sc-ACS2 基因只有乙烯利处理能诱导表达,而 Sc-ACS3 基因还无法诱导表达。其中,Sc-ACS2 和 Sc-ACS3 基因已在 GenBank 上注册^[47,48]。

2.11 综上所述,乙烯利处理对甘蔗的效应,首先是诱导了编码 ACC 合成酶和 ACC 氧化酶基因表达,使甘蔗组织内出现一个乙烯释放高峰,它改变了蔗株体内五大内源激素之间的平衡关系,从而影响到许多功能基因的表达,因此影响到各种生理代谢,影响细胞的分裂、伸长和分化,并进一步影响到器官、组织的发育和蔗株的生长。叶面喷施乙烯利后叶片组织内暂时出现的乙烯释放高峰,以及乙烯利处理诱发的过氧化物酶和 IAA 氧化酶活性提高加快了 IAA 的氧化分解,使组织中的 IAA 含量降低,使蔗株地上部分的生长受到暂时抑制。但是,组织内较高的乙烯浓度会反过来加速内源 IAA 的合成,这是短暂抑制过后蔗株能够快速生长的重要内在生理原因。如果所用的乙烯利浓度过高,产生的乙烯量过大,会造成内源激素的严重不平衡,因此导致蔗株生长长时间受阻,在糖分积累时期,这种情况有利于蔗茎中的蔗糖积累,因此起到催熟增糖作用。而在甘蔗生长前期进行乙烯利处理实现的后期甘蔗蔗糖分提高则可能是因为蔗株早生快发而导致提早进行糖分积累的结果。

2.12 在甘蔗的不同生长期用不同的乙烯利浓度进行处理可以能动地对甘蔗生长和糖分积累进行

调控,在甘蔗生长的前中期用低浓度的乙烯利处理可以促进甘蔗生长,提高产量;在甘蔗生长后期用高浓度的乙烯利处理可以促进甘蔗的糖分积累,提早成熟和提高甘蔗蔗糖分,从而实现增产增糖。

2.13 项目实施的经济、社会效益

此研究已先后在国内外的专业刊物、专著和学术会议论文集上发表论文 53 篇,其中在国际糖业权威刊物《Sugar Tech》上发表 4 篇^[6~8,15],在国际发行的权威糖业学术专著中发表 1 篇^[9]。在国际权威的基因数据库 GenBank 上 4 次注册基因被接受并授予正式查询编号^[45~48]。应邀先后 6 次在国际会议上做专题口头报告,在公开发表的国际会议论文集上全文发表 7 篇^[20,30,33,34,40,41,49],摘要发表 1 篇^[23]。国际糖业研究促进协会(Society for Sugar Research and Promotion)理事长、印度国家甘蔗研究所首席科学家所罗门博士(Dr. S. Solomon)认为我们的研究获得了重大发现,因此该协会于 2004 年 12 月给此项研究的主持人授予糖业研究优秀奖,颁发奖状和奖杯,并被推举为该协会的副理事长。此外,此项研究还在国内的有关核心刊物上发表研究论文 28 篇,其中国家级学报 3 篇。此项研究发表的大部分研究论文被国内外有关权威索引收录,并有许多被国内外学者所引用,还有多位外国专家来函索取论文。这些标志着此项研究成果总体上达到了国际同类研究的先进水平。

此项项目实施在广西形成了一个富有特色而且相对稳定的研究方向,因此曾 3 次得到国家自然科学基金的资助,多次得到省、部级的资助,使一大批年轻学者在科研中锻炼成长,先后有 3 名博士研究生(其中 1 名在读)和 15 名硕士研究生从事此项研究,已完成了 2 篇博士论文^[54,55],15 篇硕士论文^[56~69]。参加此项项目研究的人员中已有 2 人成为博士生导师,3 人成为教授,11 人获得了副高职称,产生了良好的社会效益。

此项研究探明了乙烯利处理对甘蔗增产增糖的生理机理,为生产上对甘蔗生长和蔗糖分积累进行能动有效的化学调控提供了理论和试验依据,具有较大的实际应用价值。实际上,随着此项研究的不断深入和完善,也同时开展在实际甘蔗生产上应用乙烯利进行化学调控的应用研究,到 2004 年,在甘蔗生产上的应用面积达到 28 200 公顷,为农民、糖厂和国家增加纯经济效益 7 200 万元,产生了显著的社会经济效益。

3 结论及问题讨论

3.1 此项研究首次证实乙烯利对甘蔗生长的促进效应及相关生理机理,首次提出可以用不同浓度乙烯利对不同生长期的甘蔗生长能动地进行调节,首次报道甘蔗 ACC 氧化酶和 ACC 合成酶的基因克隆研究结果并在 GenBank 上注册。

3.2 此项研究探明了乙烯利处理对甘蔗增产增糖的生理机理,为生产上对甘蔗生长和蔗糖分积累进行能动有效的化学调控提供了理论和试验依据,具有较大的实际应用价值。在甘蔗的不同生长期用不同的乙烯利浓度进行处理可以能动地对甘蔗生长和糖分积累进行调控,在甘蔗生长的前中期用低浓度的乙烯利处理可以促进甘蔗生长,提高产量;在甘蔗生长后期用高浓度的乙烯利处理可以促进甘蔗的糖分积累,提早成熟和提高甘蔗蔗糖分,从而实现增产增糖。

3.3 此项研究全面超额完成了原项目计划的各项工作,获得了新的发现,研究成果总体上达到了国际同类研究的先进水平,为提高中国甘蔗科研的学术水平和提高科技对蔗糖生产的贡献率,提高蔗糖生产效益,培养高层次专门人才,提高中国甘蔗科研的国际地位等方面都做出了突出的贡献。

3.4 在研究过程中笔者发现,乙烯利处理可以显著提高甘蔗的抗旱性。笔者意识到这一发现在理论上和生产上都具有重要的价值,因此在这方面做了大量的研究工作,并于 1999 年正式得到广西自然科学基金的支持,迄今已发表了多篇论文,并在生产上有一定的应用面积。关于乙烯利促进甘蔗分蘖的机理,笔者也进行了专题研究。有关这两方面的内容,笔者将另行总结。

参 考 文 献

- [1] 林炎坤, 李杨瑞, 叶燕萍. 三种生长调节剂对甘蔗生长和蔗糖分积累的影响. 广西农学院学报. 1990, 9 (4): 35~43
- [2] 廖江雄, 武金榜, 林炎坤, 李杨瑞. 三种催熟剂对甘蔗成熟期光合及糖分积累的生理生化影响. 广西农业大学学报. 1997, 16 (3): 204~209
- [3] 农友业, 李杨瑞, 张逢友, 陈锦朝. 甘蔗生长后期喷施乙烯剂的效应. 广西农业大学学报. 1998, 17 (3): 222~226
- [4] 姚瑞亮, 李杨瑞, 杨丽涛. 乙烯利对甘蔗成熟和未成熟节间的催熟增糖效应. 西南农业学报. 2000, 13 (2): 89~94
- [5] 廖维政, 李杨瑞, 林炎坤, 农友业, 刘宇, 杨丽涛. 甘蔗生长后期不同时间乙烯利催熟增糖的效应. 西南农业学报. 2003, 16 (4): 60~64
- [6] Li YR (李杨瑞), Solomon S. Ethephon: A versatile growth regulator for sugar cane industry. Sugar Tech. 2003, 5 (4): 213~223
- [7] Li YR (李杨瑞). Beneficial effects of ethephon application on sugarcane under sub-tropical climate of China. Sugar Tech. 2004, 6 (4): 235~240
- [8] Solomon S and Li YR (李杨瑞). Chemical ripening of sugarcane: globe progress and recent development in China. Sugar Tech. 2004, 6 (4): 241~250
- [9] Li YR (李杨瑞) and Solomon S. Ethephon technology for sugar industry. In: Solomon S, Grewal SS, Li YR, Magarey RC and Rao GP (Editors), Sugar Cane: Production Management and Agro-Industrial Imperatives. pp. 261~281. International Book Distributing Co., India (Publishing Division), Lucknow, India, 1st Edition, 2005
- [10] 张向军, 李杨瑞. 乙烯利在甘蔗上的应用研究进展. 广西农业科学. 2000, (2): 100~105
- [11] 林炎坤, 李杨瑞, 叶燕萍. 三种生长调节剂对甘蔗若干生理生化特性的影响. 广西农业大学学报. 1992, 11 (3): 25~30
- [12] 姚瑞亮, 李杨瑞. 乙烯利对甘蔗过氧化物酶同工酶和酶活性的影响. 西南农业学报. 2002, 15 (2): 48~50
- [13] 姚瑞亮, 李杨瑞, 林炎坤. 乙烯利对甘蔗节间过氧化物酶活性的影响及酶细胞化学. 广西农业生物科学. 1999, 18 (3): 169~172
- [14] 姚瑞亮, 李杨瑞, 杨丽涛, 叶燕萍. 乙烯利对甘蔗茎内 IAA 氧化酶活性动态变化的影响. 广西农业生物科学. 2000, 19 (1): 6~9
- [15] Yao RL (姚瑞亮), Li YR (李杨瑞), Zhang GR (张桂荣), Yang LT (杨丽涛). Endogenous hormone levels at technical maturity stage in sugarcane. Sugar Tech. 2002, 4 (1&2): 14~18
- [16] 姚瑞亮, 李杨瑞, 黄玉辉, 杨丽涛, 张桂荣. 甘蔗生长后期乙烯利处理对节间转化酶活性的影响及与蔗糖分积累的关系. 广西农业科学. 2005, 36 (2): 106~109
- [17] 黄健, 叶燕萍, 李杨瑞, 盘哲辛, 杨丽涛. 叶面喷施乙烯利对甘蔗碳氮代谢、农艺性状和品质的影响. 甘蔗. 2004, 11 (4): 28~34
- [18] 梁和, 李杨瑞, 满世志, 黄文尧. 不同浓度乙烯利处理对甘蔗经济性状的效应. 广西农业大学学报. 1995, 14 (2): 101~106
- [19] 李永健, 杨丽涛, 李杨瑞, 叶燕萍. 不同时期喷施乙烯利对甘蔗生长、主要农艺性状及抗旱性的影响. 甘蔗. 2002, 9 (1): 12~18
- [20] Li YJ (李永健), Yang LT (杨丽涛), Li YR (李杨瑞) and Ye YP (叶燕萍). Effect of exogenous ethephon application at different stages on growth, agronomic traits and drought resistance in sugarcane. In Li YR and Solomon S. (Editors-in-Chief), Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology (Proceedings of the International Symposium on Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology, Nanning, Guangxi, China, Nov. 29 - Dec. 02, 2004). pp. 345~349. China Agriculture Press, Beijing, China, November. 2004
- [21] 潘有强, 林炎坤, 李杨瑞. 甘蔗分蘖期喷施乙烯利对甘蔗生长及主要农艺性状的影响. 广西农业大学学报. 1997, 16 (3): 198~203
- [22] 谢特立, 莫家让. 乙烯利对甘蔗生化特性和品质的效应研究. 广西农学院学报. 1991, 10 (2): 23~29

- [23] Li YR (李杨瑞), Liang H (梁和), Luo RB (罗瑞怵), Lin YK (林炎坤). Low concentrations of ethephon promote plant growth and sucrose accumulation in sugarcane. 3rd Asia's pacific Conference on plant physiology (Plant Physiology for Agriculture and the Environment into the Twenty First Century) November 3~7, 1997, Shanghai, p13
- [24] 吴凯朝, 叶燕萍, 李杨瑞, 李永健, 杨丽涛. 喷施乙烯利对甘蔗群体冠层结构及一些抗旱性生理指标的影响. 西南农业学报. 2004, 17 (6): 724~729
- [25] 罗瑞怵, 李杨瑞, 林炎坤. 甘蔗生长前期喷施乙烯利对叶光合器官形态结构的影响. 广西农业大学学报. 1996, 15 (3): 214~220
- [26] 罗瑞怵, 李杨瑞, 林炎坤. 甘蔗生长前期喷施乙烯利对叶绿体超微结构的影响. 广西农业大学学报. 1997, 16 (3): 192~197
- [27] Luo RH (罗瑞鸿), Li YR (李杨瑞) and Lin YK (林炎坤). Low concentration of ethephon promoting differentiation of vascular bundles in leaves of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). In Li YR and Solomon S. (Editors-in-Chief). Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology (Proceedings of the International Symposium on Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology, Nanning, Guangxi, China, Nov. 29 - Dec. 02, 2004). pp. 341~344. China Agriculture Press, Beijing, China, November, 2004
- [28] Luo RH (罗瑞鸿), Li YR (李杨瑞) and Lin YK (林炎坤). Effects of foliar spray of ethephon at tillering stage on mesophyll cells and chloroplasts in sugarcane. In Li YR and Solomon S. (Editors-in-Chief). Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology (Proceedings of the International Symposium on Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology, Nanning, Guangxi, China, Nov. 29 - Dec. 02, 2004). pp. 350~352. China Agriculture Press, Beijing, China, November, 2004
- [29] 梁和, 李杨瑞, 黄文尧, 满世志. 不同浓度乙烯利处理对甘蔗光合性能的影响. 广西农业大学学报. 1994, 13 (3): 223~227
- [30] 邢永秀, 杨丽涛, 李杨瑞. 乙烯利对不同甘蔗品种气体交换的影响. 热带作物学报. 2002, 23 (3): 66~72
- [31] 邢永秀, 杨丽涛, 李杨瑞. 乙烯利对不同甘蔗品种光合特性的影响. 广西农业生物科学. 2003, 22 (2): 109~113
- [32] Wu KC (吴凯朝), Ye YP (叶燕萍), Li YR (李杨瑞), Li YJ (李永健) and Yang LT (杨丽涛). Effects of spraying ethephon on the canopy architecture and the physiological indexes for drought resistance in sugarcane. In Li YR and Solomon S. (Editors-in-Chief). Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology (Proceedings of the International Symposium on Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology, Nanning, Guangxi, China, Nov. 29 - Dec. 02, 2004). pp. 378~383. China Agriculture Press, Beijing, China, November, 2004
- [33] Xing YX (邢永秀), Yang LT (杨丽涛) and Li YR (李杨瑞). Effect of ethephon on gas exchange in different sugarcane varieties. In Li YR and Solomon S. (Editors-in-Chief). Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology (Proceedings of the International Symposium on Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology, Nanning, Guangxi, China, Nov. 29 - Dec. 02, 2004). pp. 303~308. China Agriculture Press, Beijing, China, November, 2004
- [34] Yao JY (尧金燕), Yang LT (杨丽涛), Fang WK (方位宽) and Li YR (李杨瑞). Stimulatory effects of ethephon on photosynthesis of sugarcane under water-deficit conditions. In Li YR and Solomon S. (Editors-in-Chief). Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology (Proceedings of the International Symposium on Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology, Nanning, Guangxi, China, Nov. 29 - Dec. 02, 2004). pp. 384~387. China Agriculture Press, Beijing, China, November, 2004
- [35] 潘有强, 林炎坤, 李杨瑞. 甘蔗分蘖期喷施乙烯利对两个甘蔗品种的三种保护酶活性的影响. 广西农业大学学报. 1997, 16 (2): 105~109
- [36] 梁和, 李杨瑞, 周生茂, 满世志, 黄文尧. 不同浓度乙烯利处理对甘蔗若干生理生化特性的影响. 广西农业大学学报. 1995, 14 (1): 1~8
- [37] 姚瑞亮, 李杨瑞, 杨丽涛, 张桂荣. 甘蔗伸长盛期乙烯利处理对节间 ATP 酶和转化酶活性的影响. 热带作物学报. 2002, 23 (2): 66~71
- [38] 李志刚, 李杨瑞, 林炎坤, 林鉴钊, 李素丽, 周维永. 生长前期叶面喷施乙烯利对甘蔗茎细胞几种酶活性的影

- 响. 广西植物. 2002, 22 (2): 177~180
- [39] 潘有强, 李杨瑞, 林炎坤. 较高浓度乙烯利对甘蔗叶片生长和若干生理生化特性的影响. 中国糖料. 2003, (1): 10~13
- [40] 周琼, 李杨瑞, 林鉴钊, 叶燕萍, 杨丽涛. 喷施乙烯利对甘蔗生长前期甘蔗叶片维管束结构及硅镁锌含量的影响. 中国农学通报. 2005, 21 (2): 147~149, 174
- [41] 李志刚, 林鉴钊, 杨丽涛, 李杨瑞, 李素丽. 乙烯利处理对甘蔗茎形态解剖结构的影响. 西南农业学报. 2001, 14 (3): 48~51
- [42] 叶燕萍, 李杨瑞, 罗霆, 庞国雁, 杨丽涛. 乙烯利浸种对甘蔗抗旱性的影响. 中国农学通报. 2005, 21 (6): 387~389
- [43] 姚瑞亮, 关雄, 李杨瑞, 陈如凯. 植物激素乙烯分子生物学研究进展. 广西农业生物科学. 1999, 18 (2): 153~156
- [44] 王爱勤, 王自章, 杨丽涛, 韦宇拓, 李杨瑞. 乙烯生物合成途径中的两个关键酶基因的研究进展. 广西农业生物科学. 2004, 23 (2): 164~169
- [45] Wang ZZ (王自章), Zhang SZ (张树珍), Li YR (李杨瑞). *Saccharum officinarum* 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase (ACO) gene, partial cds. GenBank, Accession number: AF442821. December 13, 2001
- [46] Wang AQ (王爱勤), Wang ZZ (王自章), Wei YT (韦宇拓), Li YR (李杨瑞), Yang LT (杨丽涛). *Saccharum officinarum* 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase (aco) mRNA. GenBank, Accession number: AY521566, January 8, 2004
- [47] Wang AQ (王爱勤), Yang LT (杨丽涛), Wang ZZ (王自章), He LF (何龙飞), Wei YT (韦宇拓), Li YR (李杨瑞). *Saccharum officinarum* 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase (acs2) gene, partial cds. GenBank, Accession number AY620986. Jun 29, 2004
- [48] Wang AQ (王爱勤), Yang LT (杨丽涛), Wang ZZ (王自章), He LF (何龙飞), Wei YT (韦宇拓), Li YR (李杨瑞). *Saccharum officinarum* 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase (acs3) gene, partial cds. GenBank, Accession number AY788919. October 25, 2004
- [49] 王自章, 李杨瑞, 张树珍, 林俊芳, 郭丽琼. 甘蔗 1-氨基环丙烷-1-羧酸 (ACC) 氧化酶基因片段的克隆和序列分析. 遗传学报. 2003, 30 (1): 62~69
- [50] Wang AQ (王爱勤), Yang LT (杨丽涛), Wang ZZ (王自章), Wei YT (韦宇拓), He LF (何龙飞), Li YR (李杨瑞). Cloning of a full-length cDNA encoding 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid oxidase gene from sugar cane. In Li YR and Solomon S. (Editors-in-Chief). Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology (Proceedings of the International Symposium on Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology, Nanning, Guangxi, China, Nov. 29 - Dec. 02, 2004). pp.515 ~ 520. China Agriculture Press, Beijing, China, November, 2004
- [51] Wang AQ, Yang LT, Wang ZZ, Wei YT, He LF, Li YR. Expression of ACC oxidase gene from sugarcane induced by hormones and environmental force. Agricultural Sciences in China. 2005, 4 (8): 609~613
- [52] 王爱勤, 杨丽涛, 王自章, 韦宇拓, 何龙飞, 李杨瑞. 甘蔗乙烯合成酶基因家族三个成员的克隆与序列分析. 热带亚热带植物学报. 2005, 13 (6): 485~492
- [53] 王爱勤, 杨丽涛, 王自章, 韦宇拓, 何龙飞, 李杨瑞. 环境胁迫和激素诱导甘蔗 ACC 合成酶基因家族三个成员的表达. 作物学报. 2006, 32 (5): 734~737
- [54] 姚瑞亮. 乙烯利调控甘蔗生长和糖分积累的激素和酶生理基础研究. 福建农业大学博士学位论文, 2000
- [55] 王爱勤. 甘蔗乙烯生物合成途径中两个关键酶基因的克隆与表达. 广西大学博士学位论文, 2005
- [56] 谢特立. 赤霉素、乙烯利对三个甘蔗品种一些生化特性、产量、品质的效应. 广西农学院硕士学位论文, 1990
- [57] 廖江雄. 三种催熟剂对甘蔗工艺成熟期的光合作用和糖分积累的生理生化特性的影响. 广西农业大学硕士学位论文, 1993
- [58] 梁和. 不同浓度乙烯利处理对甘蔗一些生理生化性状、产量及品质的效应. 广西农业大学硕士学位论文, 1994
- [59] 罗瑞怵 (鸿). 生长前期喷施乙烯利对甘蔗叶光合结构的影响. 广西农业大学硕士学位论文, 1995
- [60] 潘有强. 不同浓度乙烯利处理对两个甘蔗品种一些生理生化特性、产量、品质的影响. 广西农业大学硕士学位论文, 1996