

网络出版时间:
网络出版地址:

外加肌醇对制麦过程中游离态金属离子含量的影响

张善飞^{1,2}, 李欣¹, 董亮¹, 成建国¹, 赵长新¹

(1 大连工业大学 生物工程学院, 辽宁 大连 116034; 2 山东胜利生物工程有限公司, 山东 济宁 272000)

【摘要】 【目的】研究在大麦发芽过程中添加外源肌醇对游离态金属离子含量的影响, 为制定更加合理的制麦工艺提供依据。【方法】以大麦“schooner”为供试材料, 运用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES), 考察外源添加肌醇大麦发芽过程中游离态 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 含量的变化。【结果】添加外源肌醇能提高发芽过程中游离态金属离子的含量, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 含量最大值与对照相比分别可提高 7.5%, 4.2%, 30.3%, 9.8% 和 7.9%。【结论】肌醇能促进大麦发芽过程中金属离子的释放, 提高游离态金属离子含量。

【关键词】 肌醇; 大麦; 金属离子; 麦芽; 电感耦合等离子体原子发射光谱法

【中图分类号】 S512.3⁺1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2012)11-0202-05

Effects of added exogenous inositol on the content of dissociative metal ion in malting barley

ZHANG Shan-fei^{1,2}, LI Xin¹, DONG Liang¹, CHENG Jian-guo¹, ZHAO Chang-xin¹

(1 School of Biological Engineering, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China;

2 Shandong Victory Biological Engineering Co., Ltd., Jining, Shandong 272000, China)

Abstract: 【Objective】Effects of adding inositol in the germination process on the content of dissociative metal were investigated to provide information for developing a more reasonable malting process. 【Method】Using barley“schooner”as the experimental medium, Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry(ICP-AES)was adopted for studying the content changes of dissociative metal ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , K^{+} , and Na^{+} under the influence of inositol additives in the barley sprout process. 【Result】We found that adding exogenous inositol could improve the contents of the dissociative metal ions in the germination process. Compared to the control group, the largest content of Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , K^{+} , and Na^{+} could be increased by 7.5%, 4.2%, 30.3%, 9.8% and 7.9%, respectively. 【Conclusion】The inositol can promote the release of metal ions in barley germination process and improve the content of free metal ions.

Key words: inositol; barley; metal ions; malt; Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry(ICP-AES)

肌醇, 学名环己六醇, 广泛存在于各种天然动物、植物及微生物组织中, 是维持生命活动的必需物质, 现已在医疗保健、生物医药及食品化工等行业中得到广泛应用。在大麦种子中, 肌醇以植酸的形式存在, 而且植酸含量丰富, 并且植酸是磷元素、肌醇

和金属离子的主要储存形式^[1]。植酸在植酸酶的作用下释放出肌醇、金属离子和磷酸, 为种子的萌发提供不可缺少的物质条件。由继红等^[2]研究发现, 低温胁迫下肌醇可提高玉米种子的过氧化物酶、抗坏血酸过氧化物酶、过氧化氢酶活性; 于明艳等^[3]研究

【收稿日期】 2012-03-23

【作者简介】 张善飞(1988—), 男, 山东济宁人, 在读硕士, 主要从事大麦发芽机理研究。E-mail: zhangshanfei1988@126.com

【通信作者】 赵长新(1955—), 男, 辽宁大连人, 教授, 主要从事酿造大麦蛋白质组学及酵母代谢机理研究。

E-mail: zhaochangxin@126.com

发现,低温胁迫下肌醇能提高玉米种子的发芽率、发芽指数和活力指数,进而提高玉米的抗寒能力;Sebastián Cerdán 等^[4]发现,肌醇能促进肝和脂肪的代谢,可治疗各种维生素缺乏症;孙超等^[5]研究发现,肌醇对奶牛的产奶量、采食量和乳成分均有改善作用;季冉等^[6]发现,外加肌醇和 NaCl 能提高嗜鞣管囊酵母的产酒精能力,对酵母生长有一定的促进作用。但综观现有研究,有关肌醇作为营养促进剂在制麦行业的研究还比较少。

有研究发现,在制麦过程中金属离子对制麦酶系的酶活力有明显的激活或抑制作用,而酶的活性对麦芽质量和制麦周期均有很大的影响^[7-10],所以可以利用外加肌醇来影响金属离子含量的变化,进而调节大麦发芽过程中水解酶的活力,改善麦芽质量。鉴于以上原因,本研究通过电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES),检测外源肌醇对大麦发芽过程中游离态金属离子含量的影响,以期进一步明确大麦的发芽机理以及肌醇对麦芽的影响,从而为制定更加合理的制麦工艺提供参考。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试大麦品种为“schooner”,由中粮麦芽(大连)有限公司提供;钾、钠、钙、镁、锌标准储备液,来自国家钢铁材料测试中心,质量浓度均为 1 000 μg/mL,分析纯。

1.2 仪器及其工作参数

TJA IRIS Advantage 全谱电感耦合等离子体发射光谱仪,美国热电公司产品。其功率:1.25 kW;冷却气:14 L/min;辅助气:0.5 L/min;观测高度:15 mm;雾化气压力:165 kPa;蠕动泵转速:120 r/min;积分时间:Low WL range 20 s, High WL range 10 s^[11]。

1.3 游离态金属离子含量测定方法的建立

1.3.1 金属离子混合标准溶液的制备 分别准确吸取 10 mL 钙、镁离子,2 mL 锌离子和 20 mL 钾、钠离子标准储备液于 100 mL 容量瓶中,配制成

100,100,20,200,200 μg/mL 的金属离子混合标准储备溶液。以硝酸(体积分数为 10%)为介质,将混合标准储备液逐级稀释 2,5,8,10,20 倍,配制标准工作溶液。然后以离子发射强度为纵坐标,离子质量浓度为横坐标绘制标准曲线,并进行线性回归。

1.3.2 精密度试验 选定 1 份样品分别进行 9 次连续测定,计算各相对标准偏差(RSD)。

1.3.3 回收率试验 将 0.25 mg 标准金属离子加入复合试样中,进行加标回收试验,以验证试验方法的准确性。

1.4 外加肌醇对大麦发芽过程中金属离子的影响

1.4.1 麦芽的制备 挑选大小一致的大麦种子 600 g,按照浸麦 30 h(湿浸 6 h,干浸 16 h,湿浸 5 h,干浸 3 h)、发芽 96 h 的工艺,在发芽温度为 16 ℃、湿度为 100%的条件下进行发芽,培养时间共计 126 h。样品大麦在浸麦期间添加 6 mg 肌醇,并设置不添加任何试剂且保持相同工艺条件的对照样。大麦种子记为发芽 0 h,浸麦结束后,每隔 24 h 取样,用滤纸吸干表皮水分,液氮研磨备用。

1.4.2 游离态金属离子样品的制备 称取 3 g 备用粉碎麦芽,放入糖化杯内,加入 50 mL 去离子水,常温浸泡 2 h,然后于 40 ℃下水浴保温 1 h,4 000 r/min 离心 30 min,上清即为游离态金属离子粗提液。

1.4.3 游离态金属离子含量的测定 按照 1.2 和 1.3 的条件对粗提液中的游离态 Ca²⁺、Mg²⁺、Zn²⁺、K⁺、Na⁺ 含量进行测定。

1.5 数据处理与分析

采用 Excel 和 Origin 软件对试验数据进行处理与分析。

2 结果与分析

2.1 游离态金属离子含量测定方法的建立

2.1.1 标准曲线回归 5 种金属离子混合标准储备溶液的标准曲线方程回归结果见表 1。由表 1 可见,各金属离子混合标准储备溶液的标准曲线方程的相关系数为 0.992 1~0.999 8。

表 1 不同金属离子的标准曲线方程、相关系数及线性范围

Table 1 Linear equation, correlation coefficient and linear range of different metal ions			
金属离子 Metal ion	线性方程 Linear equation	相关系数 Correlation coefficient	线性范围/(μg · mL ⁻¹) Linear range
Ca ²⁺	Y=35.315X+13.262	0.999 8	0~20
Mg ²⁺	Y=44.578X+18.582	0.999 8	0~50
Zn ²⁺	Y=239.08X+15.476	0.999 3	0~4
K ⁺	Y=6.245 5X+30.9	0.992 1	0~200
Na ⁺	Y=72.947X+258.17	0.999 2	0~25

2.1.2 精密度试验 如表 2 所示,精密度试验的 RSD 为 0.17%~0.76%,符合试验精度要求。

表 2 不同金属离子含量测定方法的精密度试验

Table 2 Precision test of different methods of metal ions detection

金属离子 Metal ion	试验次数 Experiment No.	平均值/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) Average value	标准偏差/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) Standard deviation	相对标准偏差/% Relative standard deviation
Ca^{2+}	9	4.21	0.023	0.54
Mg^{2+}	9	3.98	0.011	0.28
Zn^{2+}	9	1.58	0.012	0.76
K^{+}	9	8.56	0.015	0.17
Na^{+}	9	2.57	0.016	0.62

2.1.3 回收率试验 回收率试验结果(表 3)表明, 定值与标准值吻合。
各金属离子的回收率为 95.1%~102.3%,表明测

表 3 不同金属离子的回收率测定

Table 3 Detection of recovery rate of different metal ions

金属离子 Metal ion	测定值/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) Measured value	加入量/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) Adding volume	测定总量/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) Total measured volume	回收率/% Recovery
Ca^{2+}	0.87	0.25	1.08	96.4
Mg^{2+}	1.03	0.25	1.31	102.3
Zn^{2+}	0.17	0.25	0.40	95.2
K^{+}	1.48	0.25	1.75	101.1
Na^{+}	0.36	0.25	0.58	95.1

2.2 外加肌醇对游离态钙离子含量的影响

钙离子是 α -淀粉酶活性中心的组成部分,对酶的催化起着重要的作用。大麦发芽过程中游离态钙离子含量的变化如图 1 所示。由图 1 可见,对照大麦发芽过程中游离态钙离子的含量呈现先升高后降低的趋势,在发芽 30 和 102 h 时分别达到最大值(359 $\mu\text{g/g}$)和最小值(296 $\mu\text{g/g}$)。添加肌醇大麦发芽过程中钙离子含量呈波动变化,其升高速率较快,且在整个发芽过程中钙离子含量一直高于对照大麦;添加肌醇的大麦在发芽 30 h 时钙离子含量达最大值,为 386 $\mu\text{g/g}$,比未添加肌醇的对照大麦提高了 7.5%。可见,肌醇可以促进大麦发芽过程中游离态钙离子的释放,提高淀粉酶活力,加快麦芽溶解。

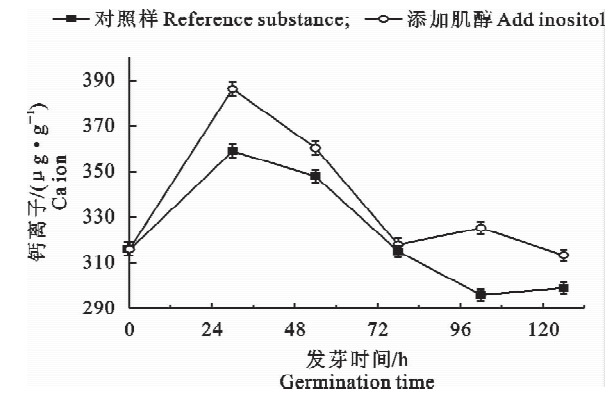


图 1 大麦发芽过程中游离态钙离子含量的变化
Fig.1 Change of dissociative Ca ion in malting barley

2.3 外加肌醇对游离态镁离子含量的影响

镁离子在大麦发芽过程中起着重要的生物化学作用,且是蛋白酶的激活剂。大麦发芽过程中游离态镁离子含量的变化如图 2 所示。由图 2 可见,添加肌醇大麦中游离态镁离子含量的变化与对照基本一致,均呈现先降低后升高的趋势。但是添加肌醇的大麦在发芽 54 h 前降低速率更快,54 h 后增长速率也明显高于对照大麦,且在发芽 70 h 后游离态镁离子含量一直比对照大麦高。在发芽 126 h 时,添加肌醇大麦中的镁离子含量达到 868.7 $\mu\text{g/g}$,较对照提高了 4.2%。由此可见,肌醇加快了镁离子在大麦体内的结合和释放,并且可以促进镁离子含量的增加,对麦芽的产生具有重要作用。

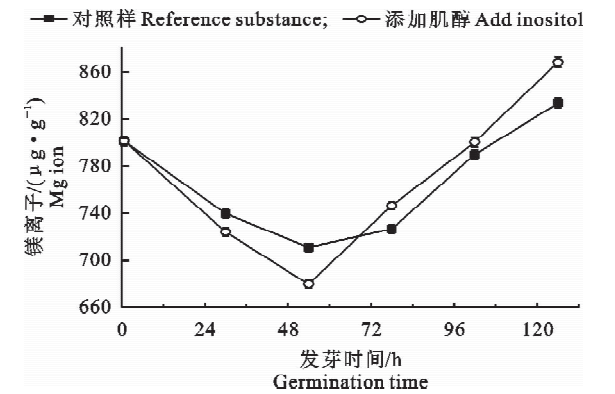


图 2 大麦发芽过程中游离态镁离子含量的变化
Fig.2 Change of dissociative Mg ion in malting barley

2.4 外加肌醇对游离态锌离子含量的影响

锌离子对 α -淀粉酶有一定的激活作用^[12]。由图 3 可见,添加肌醇大麦发芽过程中锌离子含量的变化与对照大麦基本一致,二者均呈先升高后降低然后再升高的变化趋势。但是在前 30 h,添加肌醇大麦的锌离子含量上升速率明显高于对照大麦,并且整个发芽过程中锌离子含量一直在对照大麦之上,尤其在发芽 30 h 时,锌离子的含量达到 8.47 $\mu\text{g/g}$,较对照提高 30.3%。可见,外加肌醇可以提高大麦发芽过程中的锌离子含量,激活淀粉酶的活性,促进麦芽溶解。

2.5 外加肌醇对游离态钾离子含量的影响

大麦发芽过程中游离态钾离子含量的变化如图

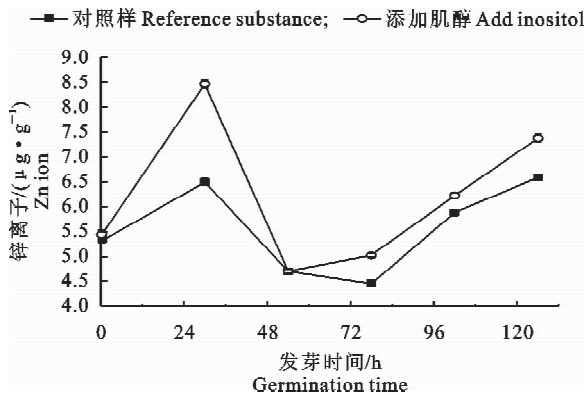


图 3 大麦发芽过程中游离态锌离子含量的变化

Fig. 3 Change of dissociative Zn ion in malting barley

2.6 外加肌醇对游离态钠离子含量的影响

钠离子对啤酒酵母的生理代谢、发酵周期以及发酵产物的种类都有重要影响,并最终决定啤酒的种类和风味^[13],大麦发芽过程中游离态钠离子含量的变化如图 5 所示。

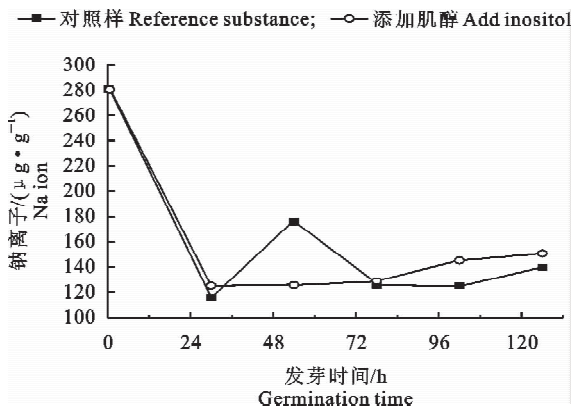


图 5 大麦发芽过程中游离态钠离子含量的变化

Fig. 5 Change of dissociative Na ion in malting barley

由图 5 可见,添加肌醇大麦和对照大麦发芽过

程中游离态钾离子含量的变化趋势基本一致,均表现为先骤降而后缓慢升高。添加肌醇大麦在发芽 126 h 时钾离子含量达到 2 933 $\mu\text{g/g}$,比对照大麦提高 7.9%。所以可以认为,在大麦发芽过程中,外加肌醇对游离态钠离子的释放有促进作用。

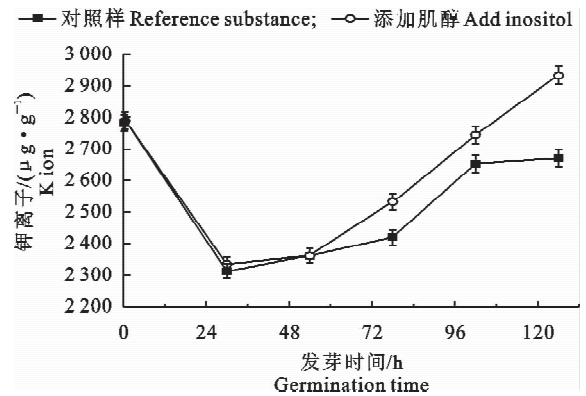


图 4 大麦发芽过程中游离态钾离子含量的变化

Fig. 4 Change of dissociative K ion in malting barley

程中游离态钠离子含量的变化趋势基本一致,均表现为先骤降而后缓慢升高。添加肌醇大麦在发芽 126 h 时钠离子含量达到 151 $\mu\text{g/g}$,比对照大麦提高 7.9%。所以可以认为,在大麦发芽过程中,外加肌醇对游离态钠离子的释放有促进作用。

3 讨论与结论

肌醇作为营养促进剂在植物方面的应用越来越为人们所关注。有研究表明,肌醇对霍霍巴多芽苗、瓜尔豆和大田香蕉等植物的萌发和活力具有促进作用^[14-15]。也有研究表明,在低温逆境下肌醇包衣处理对玉米种子萌发和幼苗生长有一定的促进作用,主要表现为种子的发芽率、发芽指数、活力指数、超氧化物歧化酶活性、叶绿素含量等明显升高^[3]。同样,由继红等^[2]研究发现,低温胁迫下肌醇能加大玉米种子过氧化物酶、抗坏血酸过氧化物酶、过氧化氢酶活性的提高幅度。这与本研究结果基本一致。本研究表明,在大麦发芽过程中,通过在浸麦过程中添加肌醇能诱导金属离子的释放,提高游离态金属离

子的含量,从而激活水解酶的活性,加快麦芽溶解,缩短制麦周期。在大麦生长过程中,植酸酶也可以降解植酸盐产生金属离子,但关于肌醇和植酸酶的协同性以及肌醇诱导金属离子释放的机制,还需进行深入研究。

【参考文献】

- [1] 吴 澎,田纪春,王凤成. 谷物中植酸及其应用的研究进展 [J]. 中国粮油学报,2009,24(3):137-143.
Wu P, Tian J C, Wang F C. Present situation and application of phytic acid in cereal [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(3):137-143. (in Chinese)
- [2] 由继红,杨文杰,李晓玲. 肌醇对玉米幼苗抗寒性的影响 [J]. 东北师范大学学报:自然科学版,2000,32(3):44-46.
You J H, Yang W J, Li X L. Effects of inositol on chilling resistance of corn seedlings [J]. Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition, 2000, 32(3):44-46. (in Chinese)
- [3] 于明艳,王 玺,张葳葳,等. 低温逆境下肌醇包衣对玉米种子的萌发及幼苗生长的影响 [J]. 玉米科学,2009,17(3):80-82.
Yu M Y, Wang X, Zhang W W, et al. Effects of inositol seed-coating on seed germination and seedling growth in maize under low temperature stress [J]. Journal of Maize Science, 2009, 17(3):80-82. (in Chinese)
- [4] Sebastián Cerdán, Roberto Parrilla, Jorge Santoro, et al.¹ H NMR detection of cerebral myo-inositol [J]. Febs Letters, 1985, 18(1):167-172.
- [5] 孙 超,高景慧,张文晋. 不同水平肌醇对黑白花奶牛乳成分的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2001,29(1):100-102.
Sun C, Gao J H, Zhang W J. The effect of different levels of inositol on milk composition of black-white dairy cows [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2001, 29(1):100-102. (in Chinese)
- [6] 季 冉,袁兴中,曾光明. 外加肌醇和氯化钠对酵母生长和产酒精能力及耐酒精能力的影响 [J]. 农业环境科学学报,2008,27(5):2080-2085.
Ji R, Yuan X Z, Zeng G M. Effects of inositol addition and sodium chloride on cell viability, ethanol production and ethanol tolerance of *Pachysolen tannophilus* [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(5):2080-2085. (in Chinese)
- [7] 赵长新,窦少华,孙付保. 国产悬啤-2 号大麦制麦酶系的影响因素 [J]. 无锡轻工大学学报,2004,23(3):73-78.
Zhao C X, Dou S H, Sun F B. Factors and mechanism influencing the enzyme activity of chinese barley Kenpi No. 2 [J]. Journal of Wuxi University of Light Industry, 2004, 23(3):73-78. (in Chinese)
- [8] 张春玲,赵长新,董 亮. 关于添加金属离子对国产大麦芽酶系酶活力影响的研究 [J]. 食品科学,2006,27(11):195-199.
Zhang C L, Zhao C X, Dong L. Study on the adding metal ion to increase the activity of enzyme systems in homemade barley malt [J]. Food Science, 2006, 27(11):195-199. (in Chinese)
- [9] 李 珊,管 斌,苟 娟,等. 制麦过程中添加金属离子与赤霉素对大麦发芽过程淀粉酶系影响的研究 [J]. 食品与发酵工业,2009,35(1):81-86.
Li S, Guan B, Gou J, et al. Study on the effect of ions and GA₃ on the carbohydrases during barley malt production [J]. Food and Fermentation Industries, 2009, 35(1):81-86. (in Chinese)
- [10] 董 亮,赵长新,李 峰,等. 大麦发芽过程中添加金属离子对纤维素酶和蛋白酶活力影响研究 [J]. 食品科技,2006,31(2):18-21.
Dong L, Zhao C X, Li F, et al. Study on the effect of atom-metalion on the activity of cellulose and protease in the process of malting barley [J]. Food Science and Technology, 2006, 31(2):18-21. (in Chinese)
- [11] 黄大亮,胡晓静,欧阳昌俊,等. ICP-AES 法测定出口工业硅中 11 种杂质元素 [J]. 分析实验室,2005,24(11):61-65.
Huang D L, Hu X J, Ouyang C J, et al. Determination of 11 elements in industrial silicon by ICP-AES [J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2005, 24(11):61-65. (in Chinese)
- [12] 李兴革. 浅淡水中无机离子对啤酒酿造的影响 [J]. 酿酒,1999,134(5):51-52.
Li X G. Effect of inorganic ions to beer brewing [J]. Liquor Making, 1999, 134(5):51-52. (in Chinese)
- [13] 唐明官,唐是雯. 啤酒酿造 [M]. 北京:轻工业出版社,1996:47-49.
Tang M G, Tang S W. Beer brewing [M]. Beijing: Light Industry Press, 1996:47-49. (in Chinese)
- [14] 徐 进,王玉珍,罗景兰,等. 肌醇与硝酸银对霍霍巴多芽苗增殖的促进作用简报 [J]. 中国生态农业学报,2005,13(2):77-78.
Xu J, Wang Y Z, Luo J L, et al. Effects of inositol and silver nitrate on the shoots proliferation of jojoba cultured *in vitro* [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2005, 13(2):77-78. (in Chinese)
- [15] 李茂富,李绍鹏,黄绵佳. 几种外源物质对大田香蕉抗寒能力的调控效应 [J]. 农业现代化研究,2010,31(1):125-128.
Li M F, Li S P, Huang M J. Chemical regulating effects of several exogenous substances on cold resistance of field banana tree [J]. Research of Agricultural Modernization, 2010, 31(1):125-128. (in Chinese)