

水杨酸对霍山石斛类原球茎细胞生长及多糖合成的影响

王博, 潘利华, 罗建平, 查学强

合肥工业大学生物与食品工程学院, 合肥 230009

摘要: 本研究考察了水杨酸对霍山石斛类原球茎悬浮培养细胞生长、多糖合成、碳代谢的影响, 并研究了细胞生长、多糖合成以及蔗糖消耗的动力学。结果表明, 水杨酸对霍山石斛类原球茎细胞生长有轻微的抑制作用, 但能够显著改善类原球茎对碳源的利用, 提高胞内可溶性糖的含量, 从而促进多糖的合成, 其中以添加 100 $\mu\text{mol/L}$ 浓度的水杨酸效果最好, 培养 18 d 时, 多糖产量达到 3.129 g/L, 为对照的 1.63 倍。建立的培养动力学模型能较好地反映水杨酸调控霍山石斛类原球茎悬浮培养过程中细胞生长、多糖合成和蔗糖消耗特性。

关键词: 霍山石斛, 类原球茎, 水杨酸, 多糖, 动力学

Effect of salicylic acid on cell growth and polysaccharide production in suspension cultures of protocorm-like bodies from *Dendrobium huoshanense*

Bo Wang, Lihua Pan, Jianping Luo, and Xueqiang Zha

School of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

Abstract: Polysaccharides from *Dendrobium huoshanense* possess immunostimulating activity, antioxidant activity and anticataract activity. In order to produce the active polysaccharides from *Dendrobium huoshanense* through cell culture, we investigated the effects of salicylic acid on cell growth, accumulation of polysaccharides and utilization of carbon source in suspension cultures of protocorm-like bodies from *Dendrobium huoshanense*. Although salicylic acid slightly inhibited the cell growth, it was beneficial to the utilization of carbon source, thus leading to significant increase in the contents of polysaccharides. The highest polysaccharide production occurred on the medium supplied with 100 $\mu\text{mol/L}$ salicylic acid. After 18 days of culture the production of polysaccharides reached 3.129 g/L, which was 1.63 times that of the control. Further, we established the kinetic models describing cell growth, polysaccharide production and carbon source utilization based on Logistic equation, Luedeking-Piret equation and Luedeking-Piret-Like equation. The calculated values from the kinetic models showed a good fit to the experimental values, suggesting that salicylic acid could be an effective compound to enhance the production of active polysaccharides from protocorm-like bodies from *Dendrobium huoshanense*.

Keywords: *Dendrobium huoshanense*, protocorm-like bodies, salicylic acid, polysaccharides, kinetics

霍山石斛(*Dendrobium huoshanense* C. Z. Tang et S. J. Cheng)为兰科石斛属多年生草本植物, 产于

Received: February 17, 2009; **Accepted:** April 22, 2009

Supported by: National Natural Science Foundation of China (No. 20872024).

Corresponding author: Jianping Luo. Tel: +86-551-2901506-8420; E-mail: jianpingluo1966@yahoo.com.cn

国家自然科学基金项目(No. 20872024)资助。

大别山安徽霍山及邻近地区, 是名贵中药材^[1], 具有滋阴清热、生津益胃、润肺止渴、清音明目等功效。现代药理研究证明, 多糖是霍山石斛的主要活性成分, 具有抗氧化、提高免疫功能以及显著的抗白内障活性^[2-4]。但是, 霍山石斛对生长条件要求十分苛刻, 繁殖能力低, 生长周期长, 加之生态环境破坏和人工过度采掘, 野生资源已濒临灭绝^[5], 因此, 发掘霍山石斛资源成为当前植物资源学研究的热点之一。霍山石斛类原球茎是霍山石斛的体细胞胚, 可由植株的不同部位诱导产生, 具有和植株同样的物质代谢和形态发育潜能^[6], 可用来代替原药材生产相关的活性物质。

水杨酸(Salicylic acid, SA)是一种重要的能够激活植物过敏反应和系统获得性抗性的内源信号分子, 能够促进与植物防卫反应有关的次级代谢产物的高水平合成^[7]。也有实验表明, SA 对离子吸收、膜的通透性以及一些重要代谢过程起调控作用^[8], 可以促进玉米胞内可溶性糖向多糖的转化, 增加胞内多糖的含量^[9]。虽然 SA 已经被用于提高红豆杉等许多植物培养细胞生产药用次生代谢产物^[10], 但在药用植物培养细胞合成活性多糖方面尚未见报道。本研究就 SA 对霍山石斛类原球茎悬浮培养细胞生长、多糖合成、碳代谢的影响以及其动力学进行研究, 以期对霍山石斛类原球茎大量培养代替野生药材生产活性多糖提供理论方法。

1 材料与方法

1.1 实验材料

霍山石斛类原球茎由本实验室诱导, 并在无激素固体 MS 培养基中于 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 黑暗中继代保存, 继代周期为 30 d^[11]。

1.2 类原球茎的悬浮培养

悬浮培养用培养基为改良的 MS 培养基, 其中微量元素、有机元素减半, 大量元素包括 30 mmol/L KNO_3 、1.5 mmol/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、4.5 mmol/L $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、2.5 mmol/L KH_2PO_4 和 35 g/L 蔗糖, pH 5.8。取继代培养 30 d 的类原球茎接种于装有 60 mL 培养基的 250 mL 三角瓶中, 分别添加终浓度为 0、50、100、150 $\mu\text{mol/L}$ 由 0.1% 乙醇助溶的 SA, 置于摇床上 (110 ± 5) r/min, $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 避光培养。接种量为 100 g/L(鲜重)。每 6 d 随机取样进行分析, 培养 30 d。

1.3 细胞生长的测定

取样后, 真空抽滤分别收集类原球茎和培养液。类原球茎用蒸馏水冲洗 2 次, 滤纸吸干其表面的水分后, 称重为鲜重; 取一定量鲜重类原球茎置于 60°C 烘箱中烘至衡重, 在干燥器中冷却后称取干重。细胞生长量以单位体积类原球茎的鲜重或干重(g/L)表示。

1.4 多糖、蔗糖、葡萄糖和果糖提取及测定

胞内糖提取时, 取 10 g 新鲜类原球茎研碎后, 用蒸馏水在 $50^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 水浴浸提 6 h 后再超声波助提 10 min, 提取 3 次, 收集并合并水提液, $5000 \times g$ 离心 15 min, 取上清液。量取 50 mL 上清液并加入 95% 乙醇至 80% 浓度后于 4°C 沉淀 5 d, $5000 \times g$ 离心 15 min, 分别收集沉淀和上清液。沉淀重新溶于蒸馏水中, 用 Savage 法脱蛋白得到胞内多糖。上清液经减压蒸馏除乙醇后, 用于胞内葡萄糖、果糖、蔗糖含量的测定。胞外糖提取时, 取一定量的细胞培养液, $5000 \times g$ 离心 15 min, 取上清液, 按上法分别获得胞外多糖和胞外葡萄糖、果糖、蔗糖测定液。

胞内和胞外多糖含量的测定采用苯酚-硫酸法^[12], 以 g/L 表示。胞内和胞外蔗糖、葡萄糖、果糖含量的测定采用 Halhoul 等^[13]和张友杰^[14]建立的方法。提取液在室温下用蒽酮试剂测定果糖含量, 在稀碱条件下用蒽酮试剂测定蔗糖含量, 用葡萄糖氧化酶法测定葡萄糖含量^[15]。胞内蔗糖、葡萄糖、果糖含量以 mg/g 鲜重表示, 胞外蔗糖、葡萄糖、果糖含量以 g/L 表示。

所有细胞培养实验重复 3~5 次, 每个重复检测 2~3 次, 实验结果以平均值附标准差表示。

2 结果与分析

2.1 SA 对类原球茎悬浮培养细胞生长和多糖合成的影响

SA 对类原球茎悬浮培养细胞生长的影响见图 1。结果表明, 类原球茎细胞鲜重随着培养时间的延长而增加; 培养初期(0~6 d)生长缓慢, 第 6 天至第 24 天加速生长, 继续培养则增长缓慢进入稳定期。类原球茎细胞干重亦随着培养时间的延长而增加, 第 24 天时 SA 终浓度分别为 50、100、150 $\mu\text{mol/L}$ 的处理样分别达到最大值 22.6、21.9 和 20.8 g DW/L (分别为对照组干重的 96.58%、93.59%和 88.89%),

继续培养则干重减少。图 1 结果还表明, 类原球茎细胞鲜重与干重在培养 24 d 前的变化趋势基本一致; 随 SA 浓度的增加, 细胞的生长量出现下降趋势, 但差异不显著($P > 0.05$)。

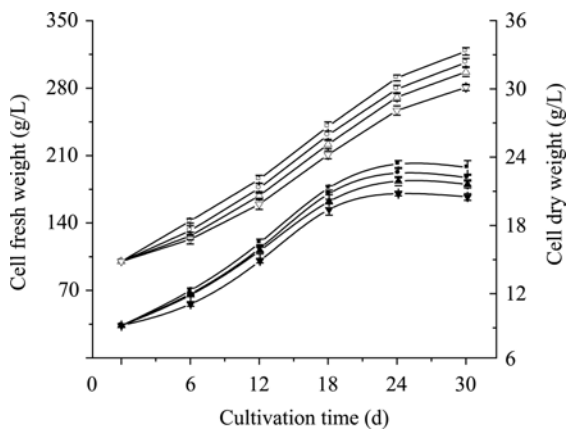


图 1 水杨酸对类原球茎悬浮培养细胞生长的影响

Fig. 1 Effects of salicylic acid on cell growth in suspension cultures of protocorm-like bodies from *D. huoshanense*. —□—, —■—: 0 $\mu\text{mol/L}$; —○—, —●—: 50 $\mu\text{mol/L}$; —△—, —▲—: 100 $\mu\text{mol/L}$; —▽—, —▼—: 150 $\mu\text{mol/L}$; blank symbols stand for cell fresh weight; black symbols stand for cell dry weight.

SA 对霍山石斛类原球茎悬浮培养细胞的胞内多糖以及总多糖的影响如图 2 所示。SA 处理样与对照样的胞内多糖以及总多糖的变化趋势相同。培养初期, 各处理样胞内多糖含量增加较慢, 第 6 天后随着细胞的加速增长, 胞内多糖快速合成, 第 18 天时胞内多糖含量达到最高值, 之后开始下降。SA 对霍山石斛类原球茎悬浮培养细胞总多糖合成量具有显著影响($P < 0.05$); SA 浓度为 0~100 $\mu\text{mol/L}$ 时, 多糖合成量随着 SA 浓度增大而显著增加; 与 SA 终浓度分别为 50 $\mu\text{mol/L}$ 和 100 $\mu\text{mol/L}$ 的处理样相比, 150 $\mu\text{mol/L}$ 的 SA 处理样多糖的含量出现下降趋势; 浓度为 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 SA 对促进多糖合成最显著, 培养至 18 d 时多糖总产量达到最大值 3.129 g/L, 是对照组的 1.63 倍。图 2 结果还显示, 有少量胞内多糖分泌到培养基中, 分泌至胞外的多糖含量为相应胞内多糖的 2.5%~3.5%。

2.2 SA 对细胞内外蔗糖、葡萄糖和果糖利用与转化的影响

2.2.1 SA 对胞外蔗糖、葡萄糖和果糖利用与转化的影响

图 3 结果显示, SA 对培养基中蔗糖、葡萄糖和果糖生物转化变化影响趋势同对照组基本一致, 类原球茎转入新培养基培养至第 12 天期间, 表现出随

着蔗糖的消耗, 葡萄糖和果糖得到了一定的积累, 第 12 天后培养基中葡萄糖和果糖含量则随着蔗糖的继续消耗而快速降低。图 3A 表明, 因细胞生长和产物合成的需要, 培养前 18 d 蔗糖被迅速消耗, 培养至第 30 天培养基中蔗糖基本消耗殆尽, 此时, 对照组和 SA 终浓度分别为 50、100、150 $\mu\text{mol/L}$ 的处理组蔗糖含量从 35 g/L 分别下降到 1.3、0.6、0 和 0.8 g/L; SA 处理能够提高类原球茎对蔗糖的利用速率, 100 $\mu\text{mol/L}$ SA 处理样的蔗糖消耗速率最大。

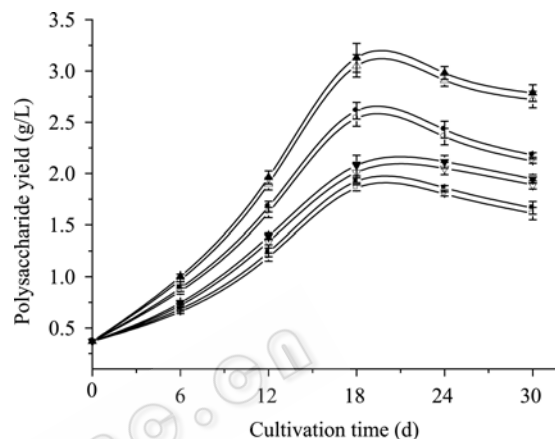


图 2 水杨酸对类原球茎悬浮培养细胞多糖合成的影响

Fig. 2 Effects of salicylic acid on polysaccharide production in suspension cultures of protocorm-like bodies from *D. huoshanense*. —□—, —■—: 0 $\mu\text{mol/L}$; —○—, —●—: 50 $\mu\text{mol/L}$; —△—, —▲—: 100 $\mu\text{mol/L}$; —▽—, —▼—: 150 $\mu\text{mol/L}$; blank symbols stand for intracellular polysaccharide; black symbols stand for total polysaccharide.

2.2.2 SA 对胞内蔗糖、葡萄糖和果糖利用与转化的影响

胞内蔗糖、葡萄糖和果糖是供给细胞生长代谢最主要的碳源。SA 对胞内蔗糖、葡萄糖和果糖主要碳源的变化曲线(图 4)显示, SA 对胞内蔗糖、葡萄糖和果糖含量变化影响趋势与对照组相同; 表现为随着蔗糖的积累, 葡萄糖和果糖也得到了相应的积累; 与对照组相比, SA 对胞内蔗糖、葡萄糖和果糖的终浓度没有显著影响($P > 0.05$)。图 4A 表明, 类原球茎细胞悬浮培养前期胞内蔗糖含量迅速升高, 12 d 时达到最高值, 继续培养则迅速下降。图 4B 和图 4C 表明, 胞内葡萄糖和胞内果糖含量随着培养时间的延长逐渐增加, 第 18 天时均达到最大, 继续培养则开始下降。

2.3 类原球茎悬浮培养动力学模型的建立与验证

根据图 1~4 的曲线变化规律可知, 蔗糖的消耗主要用于类原球茎细胞生长、细胞维持和多糖合

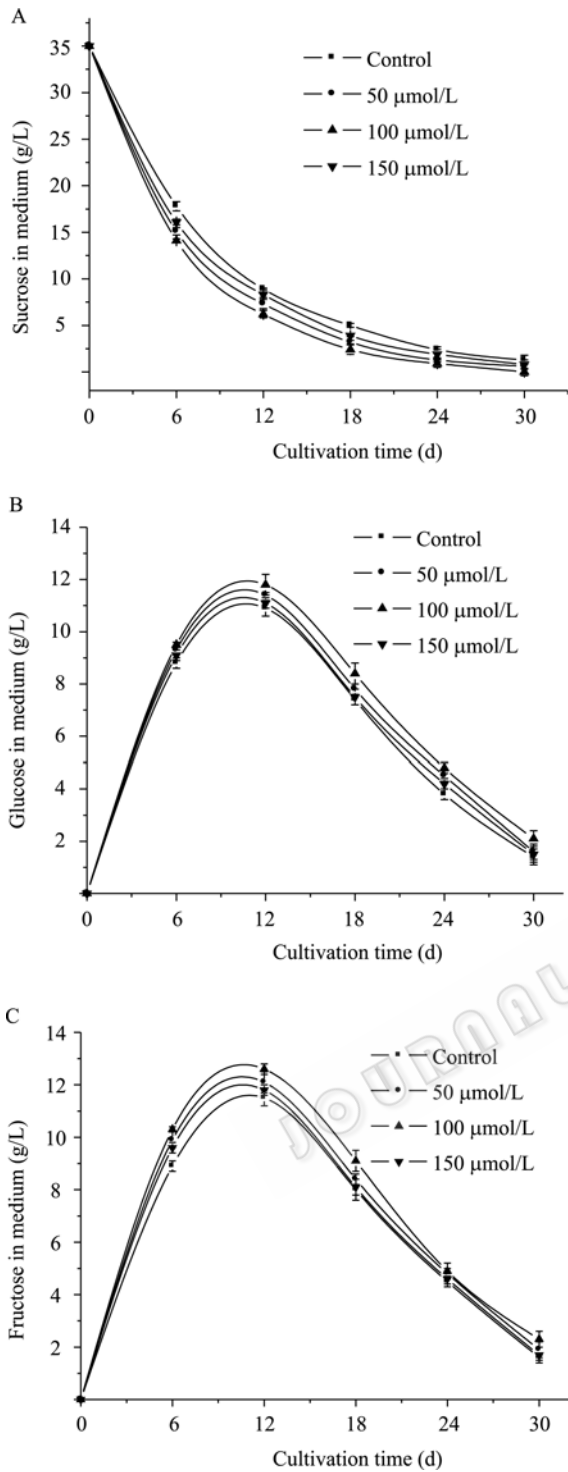


图3 水杨酸对培养基中糖转化的影响
Fig. 3 Effects of salicylic acid on contents of sugars in medium in suspension of protocorm-like bodies from *D. huoshanense*. (A) Sucrose. (B) Glucose. (C) Fructose.

成, 类原球茎的细胞生长与多糖合成呈部分偶联。因此, 选用 Logistic 方程、Luedeking-Piret 方程和 Luedeking-Piret-Like 方程分别描述类原球茎细胞生长、多糖合成以及碳源的消耗过程^[16]:

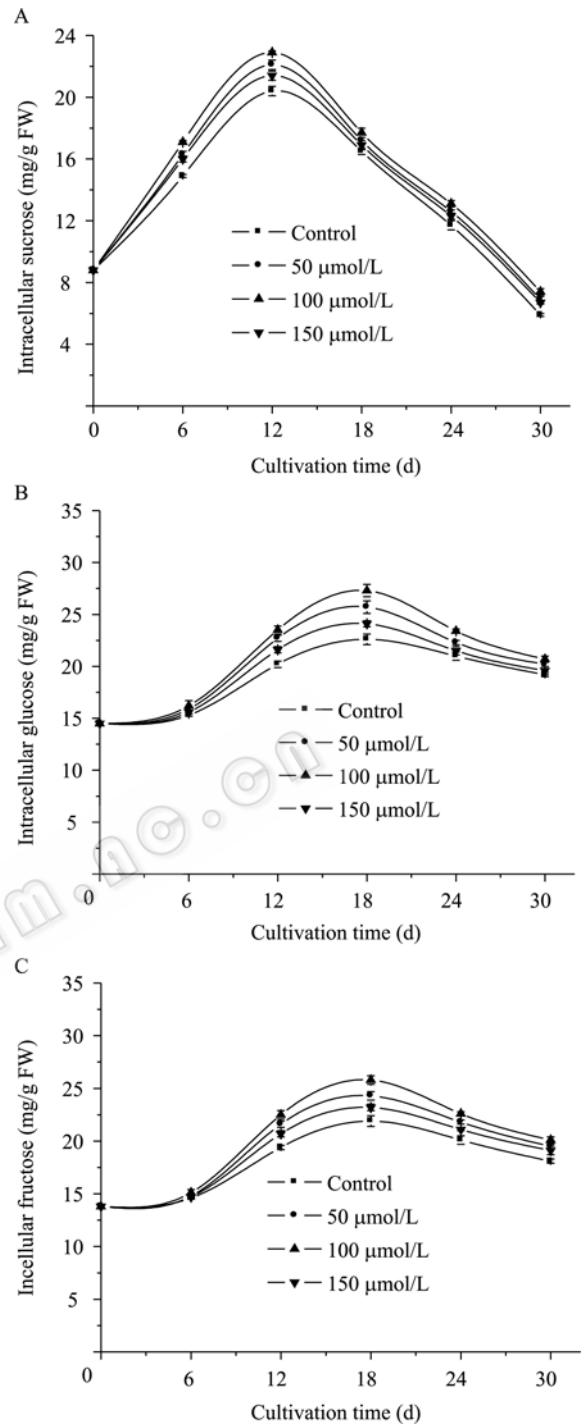


图4 水杨酸对胞内糖转化的影响
Fig. 4 Effects of salicylic acid on contents of intracellular sugars in suspension of protocorm-like bodies from *D. huoshanense*. (A) Sucrose. (B) Glucose. (C) Fructose.

$$\frac{dC_X}{dt} = \mu_m \left(1 - \frac{C_X}{C_{Xm}} \right) C_X \quad (1)$$

$$\frac{dC_P}{dt} = Y_{(P/X)} \frac{dC_X}{dt} - m_P C_X \quad (2)$$

$$\frac{dC_S}{dt} = \frac{1}{Y_{(X/S)}} \frac{dC_X}{dt} - \frac{1}{Y_{(P/S)}} \frac{dC_P}{dt} - m_s C_X \quad (3)$$

式中 C_X - 干重, g DW/L
 C_{Xm} - 最大干重量, g DW/L
 μ_m - 最大比生长速率, d^{-1}
 C_P - 多糖产量, g/L
 C_S - 蔗糖浓度, g/L
 $Y_{(P/X)}$ - 多糖对类原球茎的得率系数, g/g
 $Y_{(X/S)}$ - 类原球茎对碳源的得率系数, g/g
 $Y_{(P/S)}$ - 多糖对碳源的得率系数, g/g
 m_s - 细胞维持系数, g/(g·d)

m_p - 经验系数, g/(g·d)

t - 培养时间, d

根据最小二乘法原理, 用 Matlab 软件处理图 1、图 2 和图 3 的实验数据, 得出添加不同浓度 SA 时的模型参数(表 1)。从表 1 可以看出, μ_m 随 SA 浓度的增大而减少, 但 SA 的添加对 μ_m 的影响不显著 ($P>0.05$); SA 的添加对 $Y_{(P/X)}$ 、 $Y_{(X/S)}$ 和 $Y_{(P/S)}$ 的影响显著 ($P<0.05$), 提高了 $Y_{(P/X)}$ 和 $Y_{(P/S)}$ 而降低了 $Y_{(X/S)}$ 。由此可见, 添加的 SA 调节了霍山石斛类原球茎的细胞生长和代谢途径, 促进了碳源向多糖的转化, 增加了多糖的合成量。

表 1 水杨酸对霍山石斛类原球茎悬浮培养动力学模型参数的影响

Table 1 Effects of salicylic acid on kinetic model parameters of suspension of protocorm-like bodies from *D. huoshanense*

Salicylic acid ($\mu\text{mol/L}$)	μ_m (d^{-1})	$Y_{(P/X)}$ (g/g)	$Y_{(X/S)}$ (g/g)	$Y_{(P/S)}$ (g/g)	m_p [g/(g·d)]	m_s [g/(g·d)]
0	0.1294	0.1271	0.7612	0.0812	0.0007	0.009
50	0.1276	0.2117	0.7225	0.1106	0.0012	0.008
100	0.1260	0.2525	0.6951	0.1426	0.0010	0.006
150	0.1240	0.1685	0.6648	0.1089	0.0008	0.004

表 2 实验值与模型值的对比

Table 2 Comparison between the experimental value and calculated value

Salicylic acid ($\mu\text{mol/L}$)	Experimental value of C_X /Calculated value of C_X		Experimental value of C_P /Calculated value of C_P		Experimental value of C_S /Calculated value of C_S	
	Mathematical expected value	Standard variance	Mathematical expected value	Standard variance	Mathematical expected value	Standard variance
0	1.018	0.0051	0.988	0.0061	0.982	0.0041
50	0.986	0.0061	1.036	0.0078	0.989	0.0069
100	0.991	0.0039	1.022	0.0029	1.008	0.0058
150	1.026	0.0049	1.019	0.0059	1.031	0.0072

随机选取霍山石斛类原球茎悬浮培养过程中测定的 C_X 、 C_P 、 C_S 与对应模型值比值的数学期望和标准偏差进行模型验证, 结果见表 2。由表 2 可知, C_X 、 C_P 、 C_S 的实验值与模型值吻合较好。因此, 建立的模型组能够较好地描述 SA 对霍山石斛类原球茎悬浮培养过程中细胞生长、多糖合成和碳源利用的特性。

3 讨论

类原球茎转入新培养基, 培养至第 6 天期间, 细胞生长量增加很少, 这一时期被认为是细胞分裂的准备期。因此, 细胞生长所需的营养物质在这段时间得到快速积累, 同时培养基中碳源等营养物质

被快速消耗。在植物细胞的培养过程中, 通过调节 SA 的水平可以激活细胞内 SA 信号蛋白, 从而改变细胞生长和代谢合成^[17]。SA 对紫杉醇生物合成诱导作用的研究表明, 一方面, 适量的 SA 可提高紫杉醇合成代谢中某些酶的活力, 进而提高紫杉醇的合成速率; 另一方面, 过量的 SA 可导致细胞活力下降, 甚至细胞死亡, 细胞活力过低导致紫杉醇合成速率下降^[18]。在霍山石斛类原球茎培养过程中, 随着 SA 浓度的增加, 类原球茎生长受到一定程度的抑制, 多糖的合成也表现出先增加后降低的现象, 说明 SA 促进多糖的合成有一个适合的作用浓度。

蔗糖是植物细胞“库”代谢的主要基质^[19], 通常也是大多数植物细胞生长的最适碳源, 它的吸收

和利用直接影响细胞生长和产物合成。外源蔗糖吸附于细胞表面,一方面在细胞壁结合蔗糖酶的作用下水解成葡萄糖和果糖,通过主动运输转运至细胞质供给细胞生长^[20];另一方面在渗透扩散作用下,蔗糖经过胞间连丝通过被动运输进入细胞,经可溶性蔗糖酶等作用转化成葡萄糖和果糖,满足产物合成所需^[21];同时,部分蔗糖可通过蔗糖转运蛋白主动运输至胞内,进一步代谢供细胞生长和产物合成所需^[22]。研究表明,多糖的合成不仅取决于细胞对外源蔗糖的吸收利用,也取决于多糖降解速率。在玉米中,SA不仅加速还原糖向多糖的转化,而且可以抑制多糖水解酶系活性,从而提高细胞内多糖含量^[9]。霍山石斛多糖主要由葡萄糖、甘露糖和半乳糖组成^[2,3],在霍山石斛类原球茎悬浮培养过程中,多糖的合成与细胞内的葡萄糖和果糖等还原糖浓度呈正相关^[23],说明SA促进的多糖合成与其促进的蔗糖吸收与分解作用有关。

细胞培养动力学研究能提供细胞生长、营养物质利用、产物积累状况等相关信息,对于培养过程控制、优化与放大必不可少。本研究建立的霍山石斛类原球茎悬浮培养过程中细胞生长、多糖合成以及蔗糖利用的动力学模型能较好地反映SA对类原球茎细胞生长、多糖合成和碳源消耗的过程,为SA调控类原球茎生长、代谢的过程和扩大培养提供了基础。

REFERENCES

- [1] Bao XS, Shun QS, Chen LZ. Medical Dendrobii in China. Shanghai: Fudan University Press, 2001: 1-75.
包雪声, 顺庆生, 陈立钻. 中国药用石斛. 上海: 复旦大学出版社, 2001: 1-75.
- [2] Hsieh YSY, Chien C, Liao SKS, et al. Structure and bioactivity of the polysaccharides in medicinal plant *Dendrobium huoshanense*. *Bioorg Med Chem*, 2008, **16**(11): 6054-6068.
- [3] Zha XQ, Luo JP, Luo SZ, et al. Structure identification of a new immunostimulating polysaccharide from the stems of *Dendrobium huoshanense*. *Carbohydr Polym*, 2007, **69**(1): 86-93.
- [4] Luo JP, Deng YY, Zha XQ. Mechanism of polysaccharides from *Dendrobium huoshanense* on streptozotocin-induced diabetic cataract. *Pharm Biol*, 2008, **46**(4): 243-249.
- [5] Zha XQ, Luo JP, Jiang ST, et al. Enhancement of polysaccharide production in suspension cultures of protocorm-like bodies from *Dendrobium huoshanense* by optimization of medium compositions and feeding of sucrose. *Process Biochem*, 2007, **42**(3): 344-351.
- [6] Gao JP, Jin RM, Wu YP, et al. Comparative study of tissue cultured *Dendrobium* protocorm with natural *Dendrobium candidum* on immunological function. *J Chin Med Matr*, 2002, **25**(7): 487-489.
高建平, 金若敏, 吴耀平, 等. 铁皮石斛原球茎与原药材免疫调节作用的比较研究. *中药材*, 2002, **25**(7): 487-489.
- [7] Raskin I. Role of salicylic acid in plants. *Ann Rev Plant Physiol Mol Biol*, 1992, **43**(1): 439-463.
- [8] Glass ADM, Dunlop J. Influence of phenolic acids on ion uptake: IV. depolarization of membrane potentials. *Plant Physiol*, 1974, **54**(6): 855-858.
- [9] Khodary SEA. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. *Int J Agri Biol*, 2004, **6**(1): 5-8.
- [10] Wang YD, Wu JC, Yuan YJ, et al. Salicylic acid-induced taxol production and isopentenyl pyrophosphate biosynthesis in suspension cultures of *Taxus chinensis* var. *mairei*. *Cell Biol Int*, 2007, **31**(10): 1179-1183.
- [11] Zha XQ, Luo JP. Production stability of active polysaccharides of *Dendrobium huoshanense* using long term cultures of protocorm-like bodies. *Planta Med*, 2008, **74**(1): 90-93.
- [12] Zhong JJ, Wang DJ. Improvement of cell growth and production of ginseng saponin and polysaccharide in suspension cultures of *Panax notoginseng*: Cu²⁺ effect. *J Biotechnol*, 1996, **46**(1): 69-72.
- [13] Halhoul MN, Kleinberg I. Differential determination of glucose and fructose, and glucose- and fructose-yielding substances with anthrone. *Anal Biochem*, 1972, **50**(2): 337-343.
- [14] Zhang YJ. Determination of glucose, fructose, sucrose and starch in fruit and vegetable with anthrone colorimetric method. *Chin J Anal Chem*, 1977, **5**(3): 167-171.
张友杰. 以蒽酮分光光度法测定果蔬中的葡萄糖、果糖、蔗糖和淀粉. *分析化学*, 1977, **5**(3): 167-171.
- [15] Bergmeyer HU. Methods of Enzymatic Analysis. New York: Academic Press, 1974: 1200-1209.
- [16] Bailey JE, Ollis DF. Biochemical Engineering Fundamentals. New York: McGraw-Hill Book Company Press, 1986: 421-440.
- [17] Thulke O, Conrath U. Salicylic acid has a dual role in the activation of defence-related genes in parsley. *Plant J*, 1998, **14**(1): 35-42.
- [18] Miao ZQ, Wei ZJ, Yuan YJ. Study on the effects of salicylic acid on taxol biosynthesis. *Chin J Biotech*, 2000, **16**(4): 509-513.
苗志奇, 未作君, 元英进. 水杨酸在紫杉醇生物合成

- 中诱导作用的研究. 生物工程学报, 2000, **16**(4): 509–513.
- [19] Buchanan BB, Gruissem W, Jones RL. *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. Maryland: American Society of Plant Physiologists Press, 2000: 630–675.
- [20] Ashihara H, Horikosi T, Li XN, *et al.* Profiles of enzymes involved in glycolysis in *Catharanthus roseus* cells in batch suspension culture. *J Plant Physiol*, 1988, **133**(1): 38–45.
- [21] Iraqi D, Tremblay FM. Analysis of carbohydrate metabolism enzymes and cellular contents of sugars and proteins during spruce somatic embryogenesis suggests a regulatory role of exogenous sucrose in embryo development. *J Exp Bot*, 2001, **52**(365): 2301–2311.
- [22] Williams LE, Lemoine R, Sauer N. Sugar transporters in higher plants – a diversity of roles and complex regulation. *Trends Plant Sci*, 2000, **5**(7): 283–290.
- [23] Jiang ST, Wei M, Luo JP. Effect of phosphate on cell growth and polysaccharide production by suspension cultures of protocorm-like bodies of *Dendrobium huoshanense*. *Chin J Biotech*, 2006, **22**(4): 613–618.
- 姜绍通, 魏明, 罗建平. 磷对霍山石斛类原球茎悬浮培养细胞生长和多糖合成的影响. 生物工程学报, 2006, **22**(4): 613–618.

科学出版社科学出版中心生命科学分社新书推介

2009 工业生物技术发展报告

中国科学院生命科学与生物技术局 编著

978-7-0-024397-3 ¥ 28.00 2009年6月 出版

内容简介

本书是基于工业生物技术知识环境出版的信息产品之一, 主要报道工业生物技术领域内的重大规划与政策、技术和产品的研发进展、产业发展等。本书在前两年《工业生物技术发展报告》的基础上, 结合工业生物技术新进展以及读者的反馈信息, 在内容和形式上都进行了新的尝试, 展示了新的特点: 新增了国际工业生物技术部分重大会议和研究机构介绍; 突出了各领域的技术进展, 采用专题的形式组织稿件, 新增了英文摘要以及英文作者简介, 并邀请海外华人科学家撰写文章; 拓展了工业生物技术产业的报道领域, 系统地为大家展现了国内工业生物技术企业发展的现状、面临的问题和挑战; 此外, 我们通过对 2008 年国内外工业生物技术领域重要事件的回顾, 与读者一起梳理过去一年本领域发展的整体脉络。

本书可供相关科研院所、高等院校和企业等从事工业生物技术研究 and 开发工作的科研管理人员、科研工作者和研发生产人员借鉴与参考。



欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书 (免邮费)

邮购地址: 北京东黄城根北街 16 号 科学出版社 科学出版中心 生命科学分社 邮编: 100717

联系人: 周文宇 联系电话: 010-64031535

更多精彩图书请登陆网站 <http://www.lifescience.com.cn>, 欢迎致电索要书目