

两种光合细菌生物转化槲寄生培养液菌体中 几种同工酶的变化

牛红军^{1,2} 李建文¹ 张栋³ 王芃² 杨官娥^{1*}

(1. 山西医科大学 药学院 山西 太原 030001)

(2. 天津现代职业技术学院 天津 300350)

(3. 山西医科大学 生物化学与分子生物学教研室 山西 太原 030001)

摘要: 采用聚丙烯酰胺凝胶电泳法对两种光合细菌的生物转化槲寄生培养液中菌体的蛋白质和几种同工酶进行研究,并以纯光合细菌培养液中菌体作对照。结果表明,光合细菌生物转化槲寄生过程中,两种光合细菌的蛋白质、酯酶同工酶和过氧化物酶同工酶均发生改变,某些蛋白质、酯酶和过氧化物酶的合成受到抑制,并有新的蛋白质、酯酶和过氧化物酶生成;超氧化物歧化酶的表达未明显改变。由此可见,槲寄生能诱导光合细菌合成新的酯酶和过氧化物酶,这些诱导酶可能参与了槲寄生的生物转化。为光合细菌生物转化槲寄生转化机理的研究及槲寄生在抗肿瘤领域的进一步应用奠定了基础。

关键词: 光合细菌,生物转化,聚丙烯酰胺凝胶电泳,同工酶

Changes of several isoenzymes of biomass in two kinds of photosynthetic bacteria biotransformation mistletoe culture fluid

NIU Hong-Jun^{1,2} LI Jian-Wen¹ ZHANG Dong³ WANG Peng² YANG Guan-E^{1*}

(1. School of Pharmaceutical Science, Shanxi Medical University, Taiyuan, Shanxi 030001, China)

(2. Tianjin Modern Vocational Technology College, Tianjin 300350, China)

(3. Department of Biochemistry and Molecular Biology, Shanxi Medical University, Taiyuan, Shanxi 030001, China)

Abstract: Polyacrylamide gel electrophoresis was used for studying the protein and several isoenzymes of biomass in two kinds of photosynthetic bacteria (PSB) transforming mistletoe culture fluid (PSBT), pure PSB culture fluid as control. The proteinogram and the zymograms demonstrated that proteins, es-

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 30672621); 山西省自然科学基金项目(No. 2006011099); 山西省自然科学基金项目(No. 2010011048-2); 山西医科大学博士启动基金项目; 山西医科大学学生创新项目基金项目

* 通讯作者: Tel: 86-351-4690143; 邮箱: yangguane@hotmail.com

收稿日期: 2010-11-15; 接受日期: 2011-02-16

© 中国科学院微生物研究所期刊联合编辑部 <http://journals.im.ac.cn>

terase isoenzyme (EST) and peroxidase isoenzyme (POD) of PSB in PSBT changed, i.e. the expression of some proteins, EST and POD of PSB were inhibited, while some new proteins, EST and POD of PSB in PSBT appeared. The expression of superoxide dismutase (SOD) of PSB in PSBT did not alter evidently. The results showed that PSB could be induced to generate new proteins, EST and POD by mistletoe, and which might take part in biotransformation of mistletoe. The research provided basis for studying the biotransformation mechanism of mistletoe by PSB and the further application of mistletoe to tumor therapy.

Keywords: Photosynthetic bacteria, Biotransformation, Polyacrylamide gel electrophoresis, Isoenzyme

光合细菌是地球上最古老的生物之一,在自然界的碳素循环和物质转化中起着重要作用,已有光合细菌生物转化木瓜、人参和六味地黄汤等中药的报道^[1-3]。槲寄生为桑寄生科槲寄生属植物槲寄生的带叶茎枝,其有效成分生物碱、五环三萜和凝集素等通过抑制肿瘤细胞生长及诱导肿瘤细胞凋亡^[4-7]等方式发挥抗肿瘤作用。槲寄生制剂已被应用于肿瘤的临床治疗^[8-9],但槲寄生中含有对人体有害的毒肽等物质,限制了其应用^[10]。本课题组前期研究表明:槲寄生经光合细菌生物转化后,毒性降低的同时抗肿瘤活性得到增强,实体瘤的浸润也受到抑制^[11],这对于槲寄生在抗肿瘤领域的进一步应用很有意义。本实验对两种 PSB 生物转化槲寄生过程中菌体的蛋白质及酯酶(EST)、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)同工酶所发生的变化进行了研究,探讨了诱导酶与生物转化反应的关系。

1 材料与方法

1.1 菌株与培养基

本文两种光合细菌分别系紫色非硫菌群红假单胞菌属沼泽红假单胞菌(*Rhodospseudomonas palustris*)和红细菌属球形红细菌(*Rhodobacter sphaeroides*),由山西大学光合细菌研究室分离、鉴定、保藏。

常规培养基:乙酸钠 1 640 mg、酵母膏 1 000 mg、CaCl₂·2H₂O 75 mg、EDTA 20 mg、K₂HPO₄ 900 mg、KH₂PO₄ 600 mg、MgSO₄·7H₂O 200 mg、FeSO₄·7H₂O 11.8 mg、(NH₄)₂SO₄ 1 320 mg、微量元素 1 mL、去离子水定容至 1 L, pH 7.0。分装, 1×10⁵ Pa 灭菌 25 min。

槲寄生培养基:槲寄生饮片称重后加入 5 倍量去离子水,煎煮,过滤,减压浓缩至槲寄生原药材浓度 200 g/L,加入 0.5 倍量常规培养基各组分,调节 pH 至 7.0,分装, 1×10⁵ Pa 灭菌 20 min。

1.2 试剂与仪器

槲寄生饮片(产地:吉林)购自中国药材集团承德药材有限责任公司,经山西医科大学药学院高建平教授鉴定为桑寄生科槲寄生属植物槲寄生 *Viscum coloratum* (Kom.) Nakai 的干燥茎叶;丙烯酰胺、甲叉双丙烯酰胺、过硫酸铵、甘氨酸、核黄素, AMRESCO 公司进口分装; Tris、TEMED、Triton X-100、 α -醋酸萘酯、 β -醋酸萘酯、坚牢蓝 RR, Sigma 公司产品; β -丙氨酸、联苯胺等为国产分析纯试剂。Y92-IID 超声波细胞粉碎机,宁波新芝生物科技公司;MR23i 高速冷冻离心机, THERMO 公司; DYY-6C 电泳仪和 DYCZ-24DN 垂直板电泳槽,北京六一仪器厂。

1.3 培养液的制备

取槲寄生培养基和常规培养基,无菌条件下分别接入 1/10 体积的 PSB 菌种,光照厌氧培养即得球形红细菌生物转化槲寄生培养液、沼泽红假单胞菌生物转化槲寄生培养液和纯球形红细菌培养液、纯沼泽红假单胞菌培养液。培养温度 30 °C,光照强度 2 500 Lux。

1.4 碱性聚丙烯酰胺凝胶电泳

1.4.1 样品制备:分别收集培养 2、4、6、8、10、12、14、16、18、20 d 的各种培养液, 5 000 r/min 离心 30 min,收集菌体,洗涤 2 次,重悬于 0.02 mol/L pH 7.0 磷酸盐缓冲液。取菌体悬液,反复冻融 3 次后冰浴中超声破碎 15 min (200 W, 间隔 6 s, 工作

5 s), 4 °C 离心 10 min (12 000 r/min), 上清液即为各培养液中菌体的蛋白提取液, 4 °C 保存, 备用。

1.4.2 电泳: 蛋白质、酯酶和超氧化物歧化酶同工酶电泳均采用非变性不连续碱性聚丙烯酰胺凝胶电泳法。分离胶浓度 8.00%, pH 8.9; 浓缩胶浓度 3.75%, pH 6.7; 电极缓冲液为 Tris-甘氨酸系统, pH 8.3。将各菌体蛋白提取液与 40%蔗糖溶液 1:1 混合, 上样, 每孔加样 25 μ L。4 °C 电泳, 起始电流为 25 mA, 样品从浓缩胶进入分离胶后电流改为 50 mA, 以溴酚蓝为指示剂, 待指示剂泳动至距凝胶板下端 0.5 cm 时停止电泳。

1.4.3 染色及图谱分析: 蛋白质染色采用含 20% 碘基水杨酸的 0.05% 考马斯亮蓝 R-250 溶液; 酯酶染色采用坚牢蓝 RR 溶液; 超氧化物歧化酶染色采用氮蓝四唑溶液^[12]。染色后, 脱色, 固定, 拍照, 测量比移值(R_f)。 R_f =电泳条带迁移距离/指示剂迁移距离。

1.5 酸性聚丙烯酰胺凝胶电泳

分别收集培养 2、4、6、8、10、12、14、16、18、20 d 的各种培养液制备样品, 采用非变性不连续酸性聚丙烯酰胺凝胶电泳法^[13]分析过氧化物酶。

2 结果与分析

2.1 光合细菌生物转化槲寄生过程中蛋白质的变化

光合细菌生物转化槲寄生过程中, 槲寄生诱导 PSB 合成新的蛋白质(包括酶), 其中的诱导酶可能参与了槲寄生的生物转化, 另外, PSBT 中菌体不再表达某些蛋白质, 即 PSB 受到槲寄生中某些成分的抑制而未表达某些蛋白质。各泳道中球形红细菌均表达 R_f 0.04、 R_f 0.09、 R_f 0.16、 R_f 0.20 和 R_f 0.30 的蛋白质, 且表达量无明显差别; 参与生物转化槲寄生的球形红细菌不再表达 R_f 0.07 和 R_f 0.33 的蛋白质, 但是新合成 R_f 0.43、 R_f 0.47、 R_f 0.55 和 R_f 0.58 的蛋白质, 且随着培养时间增加, 表达量逐渐加大(图 1)。各泳道中沼泽红假单胞菌均表达 R_f 0.04、 R_f 0.09、 R_f 0.16、 R_f 0.30、 R_f 0.40 和 R_f 0.47 的蛋白质, 且表达量差别不明显; 纯沼泽红假单胞菌培养液及 PSBT 中菌体均表达 R_f 0.19、 R_f 0.22 的蛋白质至 4 d; 参与生物转化槲寄生的沼泽红假单胞菌不再表达 R_f 0.45 的蛋白质, 但是从 8 d 和 12 d 起分别开始合成 R_f 0.25 和 R_f 0.55 的新蛋白质(图 2)。

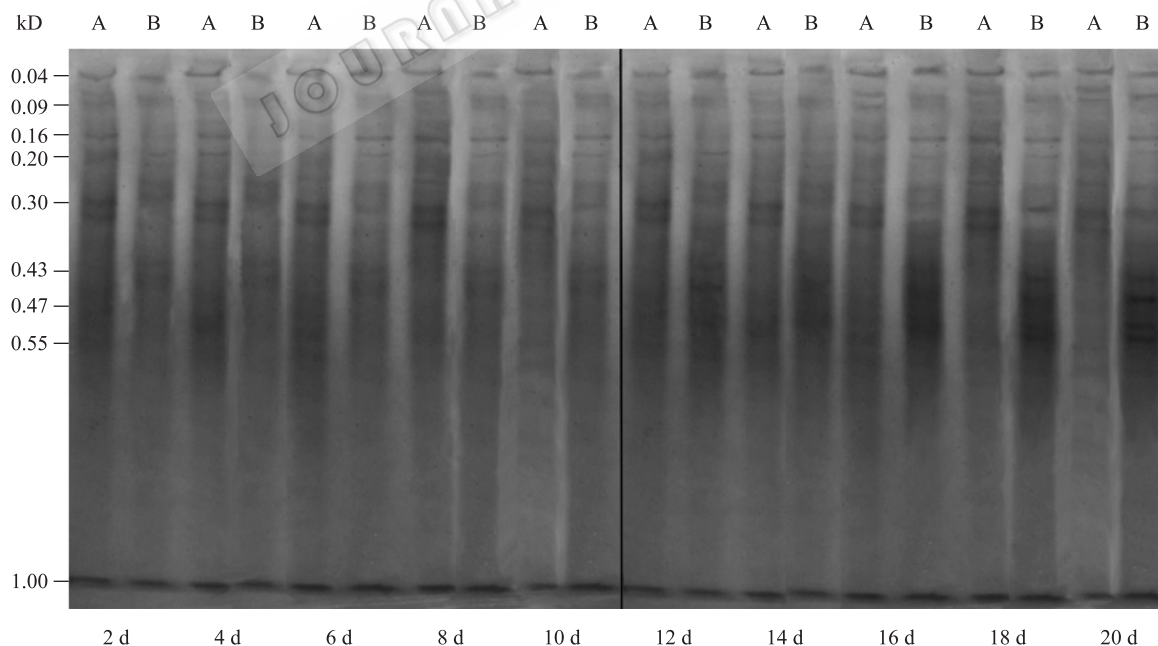


图 1 球形红细菌蛋白质电泳图谱

Fig. 1 The protein zymograms of *R. sphaeroides* by anionic PAGE

注: A: 纯球形红细菌培养液中菌体; B: 球形红细菌生物转化槲寄生培养液中菌体; 2–20 d: 培养 2 d 至 20 d。

Note: A: *R. sphaeroides* of pure PSB culture fluid; B: *R. sphaeroides* of PSBT; 2–20 d: Cultivation time of PSB from 2 d to 20 d.

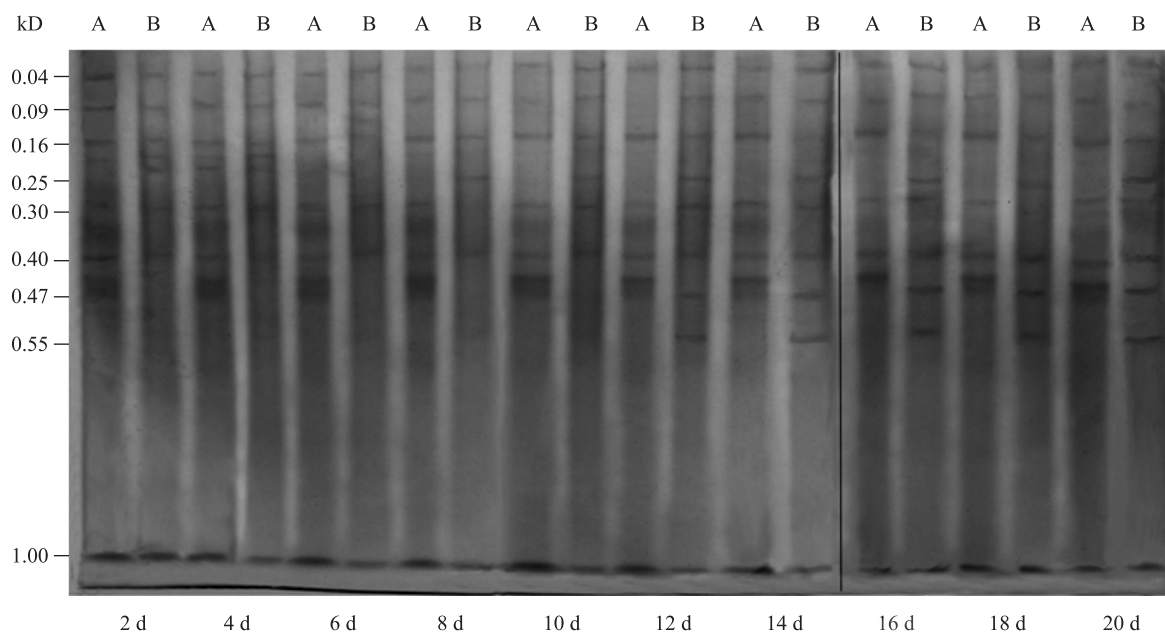


图2 沼泽红假单胞菌蛋白质电泳图谱

Fig. 2 The protein zymograms of *R. palustris* by anionic PAGE

注: A: 纯沼泽红假单胞菌培养液中菌体; B: 沼泽红假单胞菌生物转化槲寄生培养液中菌体; 2~20 d: 培养 2 d 至 20 d.

Note: A: *R. palustris* of pure PSB culture fluid; B: *R. palustris* of PSBT; 2~20 d: Cultivation time of *R. palustris* from 2 d to 20 d.

2.2 光合细菌生物转化槲寄生过程中 EST 的变化

PSBT 中菌体的酯酶条带数和活性随着培养时间的增加而增多、增强,一方面可能是初期槲寄生抑制了某些 EST 表达,随着培养的进行,PSB 逐渐对酶抑制物产生了耐受,或者是酶抑制物逐渐被代谢消除,酶的表达逐渐得到恢复;另一方面,槲寄生诱导 PSB 生成了新的 EST。球形红细菌 R_f 0.10、 R_f 0.20 和 R_f 0.96 的 EST 不受培养时间和培养基影响而稳定表达,是该菌生存所需的特征性 EST 谱带; R_f 0.28、 R_f 0.33、 R_f 0.40、 R_f 0.50 和 R_f 0.80 的 EST 在各泳道中均表达,它们在常规培养基中的活性随培养时间的延长逐渐变小,但是在槲寄生培养基中却随着培养时间增加而酶量增大,逐渐超过常规培养基中的酶量; R_f 0.60 的 EST 在常规培养基中表达至 10 d 后不再表达,18 d 开始恢复表达,同时槲寄生培养基中菌体也开始合成此酶;PSBT 中球形红细菌逐渐生成数条介于 R_f 0.33~0.50 的新 EST 酶带(图 3)。沼泽红假单胞菌 R_f 0.19、 R_f 0.23、 R_f 0.34 和 R_f 0.38 的酯酶为该菌生存所需的特征性 EST 谱带; R_f 0.91 酶带仅出现在常规培养基的菌体内,此酶受到槲寄生抑制而未在槲寄生培养基中表达;

培养初期,常规培养液中菌体的 R_f 0.38~0.76 的 EST 条带较多,但是随着培养时间的增加,多数酶带减弱或消失,而 PSBT 中菌体的这些 EST 却随着培养的继续而条带明显增多、变强,达到或超过常规培养基中菌的酶量。从第 6 天起,PSBT 中菌体开始表达 R_f 0.21 的新 EST(图 4)。PSBT 中 PSB 新合成的及表达得到加强的 EST 可能参与了生物转化槲寄生。

2.3 光合细菌转化槲寄生过程中 SOD 的变化

各泳道中均无超氧化物歧化酶酶带,说明常规培养液和 PSBT 中两种 PSB 的 SOD 含量都很低。该结果符合微生物类群中 SOD 含量的基本规律,即真核微生物中含量一般高于原核微生物,好氧微生物中含量显著高于厌氧微生物,严格的厌氧细菌中含量几乎为零^[14]。另外,SOD 是抗逆性酶,能够防御过量的氧自由基等对生命活动的破坏^[15],对菌体有保护作用,在不利环境中生长的微生物会大量表达 SOD,在适宜环境中生长的微生物表达较少。PSBT 中 PSB 的 SOD 含量未明显改变,仍然很低,该结果与槲寄生提取物适宜光合细菌生长的结论一致^[16]。

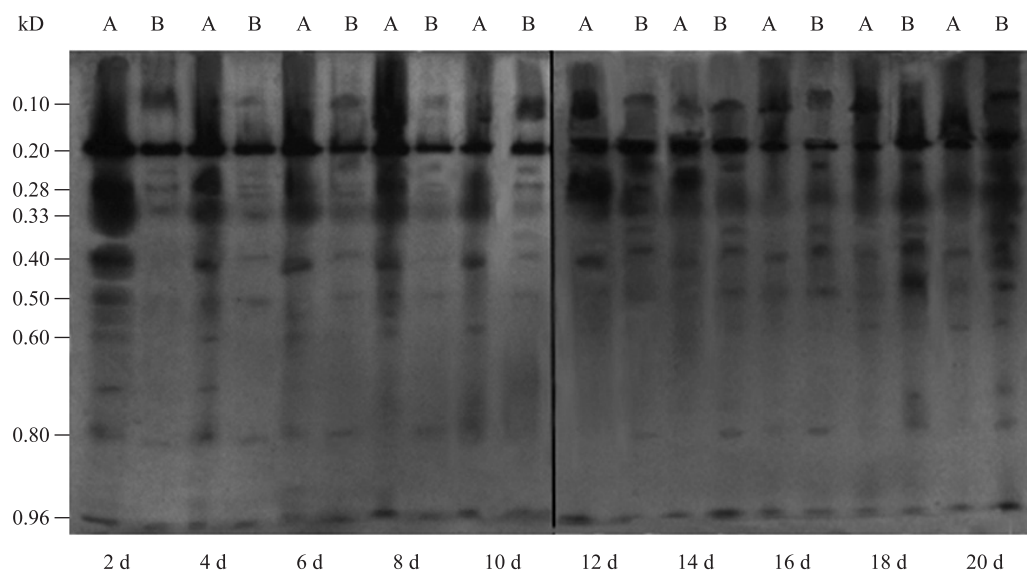


图3 球形红细菌酯酶同工酶电泳图谱

Fig. 3 The EST isoenzyme zymograms of *R. sphaeroides* by anionic PAGE

注: A: 纯球形红细菌培养液中菌体; B: 球形红细菌生物转化槲寄生培养液中菌体; 2-20 d: 培养 2 d 至 20 d.

Note: A: *R. sphaeroides* of pure PSB culture fluid; B: *R. sphaeroides* of PSBT; 2-20 d: Cultivation time of PSB from 2 d to 20 d.

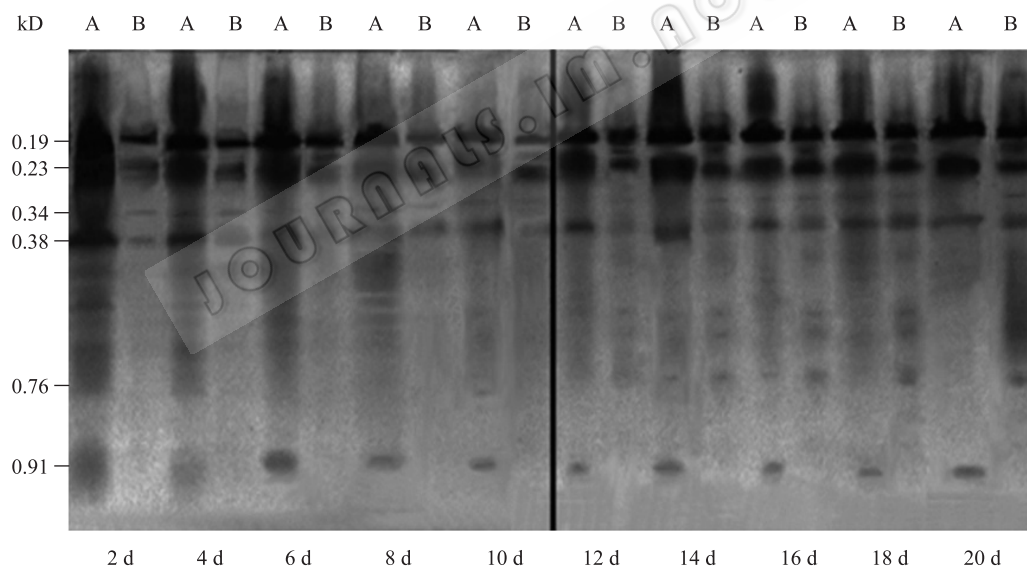


图4 沼泽红假单胞菌酯酶同工酶电泳图谱

Fig. 4 The EST isoenzyme zymograms of *R. palustris* by anionic PAGE

注: A: 纯沼泽红假单胞菌培养液中菌体; B: 沼泽红假单胞菌生物转化槲寄生培养液中菌体; 2-20 d: 培养 2 d 至 20 d.

Note: A: *R. palustris* of pure PSB culture fluid; B: *R. palustris* of PSBT; 2-20 d: Cultivation time of *R. palustris* from 2 d to 20 d.

2.4 光合细菌转化槲寄生过程中 POD 的变化

光合细菌生物转化槲寄生初期, 由于培养环境适宜或者受到槲寄生的抑制, PSB 未表达某些 POD。随着生物转化进行, 培养环境趋于恶化(促进光合细菌生长的槲寄生成分被 PSB 代谢消除)、PSB 对酶抑

制物产生耐受或者抑制物被代谢消除, 初期未表达的 POD 先后恢复合成。纯球形红细菌培养液中菌体一直表达 R_f 0.02、 R_f 0.50、 R_f 0.74 和 R_f 0.86 的 POD; 2 d 时, PSBT 中球形红细菌仅有 R_f 0.50 和 R_f 0.74 两条 POD, 4 d 时仅余 R_f 0.74 的 POD, 10 d、

12 d 和 14 d 时, R_f 0.86、 R_f 0.02 和 R_f 0.50 的 POD 先后恢复合成(图 5)。纯沼泽红假单胞菌培养液中菌体一直表达 R_f 0.04、 R_f 0.10、 R_f 0.20、 R_f 0.40、 R_f 0.73、 R_f 0.83、 R_f 0.87 的 POD; 培养 2 d 和 4 d 的 PSBT 中沼泽红假单胞菌仅合成 R_f 0.04、 R_f 0.50、 R_f 0.73 和 R_f 0.87 的 POD, 10 d 和 14 d 时, R_f 0.20 和 R_f 0.10 的 POD 分别恢复合成, 16 d 时, R_f 0.40 和 R_f 0.83

的 POD 恢复合成(图 6)。

沼泽红假单胞菌 R_f 0.50 的 POD 在常规培养基和槲寄生培养基中均表达至 6 d 后即不再表达, R_f 0.76 的 POD 在以上两种培养基中均是从 18 d 起开始合成。说明沼泽红假单胞菌 R_f 0.50、 R_f 0.76 的 POD 不受槲寄生抑制或诱导, 它们的表达受到菌龄控制, 可以根据这些酶初步推测沼泽红假单胞菌菌龄。

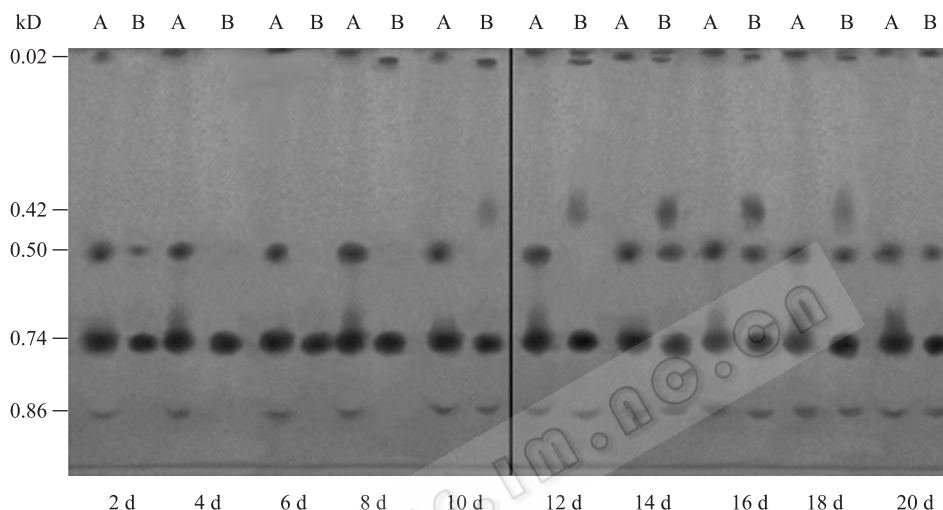


图 5 球形红细菌过氧化物酶同工酶电泳图谱

Fig. 5 The POD isoenzyme zymograms of *R. sphaeroides* by A-PAGE

注: A: 纯球形红细菌培养液中菌体; B: 球形红细菌生物转化槲寄生培养液中菌体; 2-20 d: 培养 2 d 至 20 d.

Note: A: *R. sphaeroides* of pure PSB culture fluid; B: *R. sphaeroides* of PSBT; 2-20 d: Cultivation time of PSB from 2 d to 20 d.

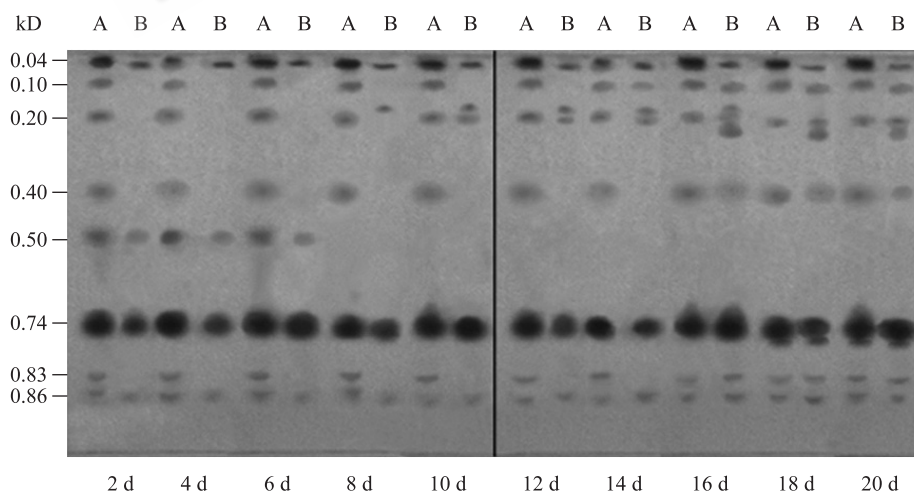


图 6 沼泽红假单胞菌过氧化物酶同工酶电泳图谱

Fig. 6 The POD isoenzyme zymograms of *R. palustris* by A-PAGE

注: A: 纯沼泽红假单胞菌培养液中菌体; B: 沼泽红假单胞菌生物转化槲寄生培养液中菌体; 2-20 d: 培养 2 d 至 20 d.

Note: A: *R. palustris* of pure PSB culture fluid; B: *R. palustris* of PSBT; 2-20 d: Cultivation time of *R. palustris* from 2 d to 20 d.

光合细菌生物转化瘤寄生过程中, 瘤寄生诱导 PSB 生成新的 POD。PSBT 中球形红细菌从 8 d 和 10 d 起分别开始合成 R_f 0.04 和 R_f 0.42 的新 POD, 至 20 d 时不再表达; PSBT 中沼泽红假单胞菌在 8 d 至 16 d 间表达 R_f 0.17 的新 POD, 在 16 d 至 20 d 间表达 R_f 0.23 的新 POD, 并且该 POD 在 20 d 时的酶量明显较 18 d 时少。20 d 时, PSB 中新合成 POD 的酶量减少或消失, 说明这些 POD 参与的酶促反应已经基本完成, 该结果与本课题组前期研究得出的经 PSB 生物转化 20 d 后 PSBT 中某些转化液成分达到稳定的结论一致, 据此推测, PSBT 中 PSB 新合成的 POD 参与了生物转化瘤寄生。

3 讨论

细胞在生长环境中诱导物的诱导下生成的一类能够催化该诱导物发生反应的酶被称为诱导酶。诱导酶在微生物需要时合成, 不需要时停止合成, 它的合成除取决于遗传物质外, 还受环境中诱导物的影响, 根据诱导酶类型可以初步推断诱导物所发生的生物转化反应类型。采用聚丙烯酰胺凝胶电泳法对菌体可溶性蛋白质及同工酶进行分析是现代生物化学技术中的一种重要方法, 电泳图谱可以反映出菌体中蛋白质和酶的组成。

POD 不仅是抗逆性酶, 还是生物转化反应中重要的参与酶。POD 能高效合成青蒿素, 生物转化木质素、芳香胺类、酚类和阿魏酸类等物质^[17-19], PSBT 中 PSB 表达的新 POD 可能参与了瘤寄生的生物转化。EST 是能催化酯类化合物水解的酶, 它可以催化不对称合成、酯合成和酯交换等反应^[20], PSBT 中 PSB 合成的新 EST 可能参与了瘤寄生的生物转化。总之, 电泳结果显示, 在光合细菌生物转化瘤寄生过程中, 菌体的蛋白质(包括酶)组成发生了改变, 部分蛋白质和酶的表达被抑制, 同时, 有新的蛋白质和酶被诱导生成。研究表明瘤寄生的生物转化与光合细菌中诱导酶存在一定的关系。

肽质量指纹谱(Peptide mass fingerprinting, PMF)是蛋白质组学研究中较为常用的鉴定方法^[21], 根据待分析蛋白质的肽质量指纹谱, 利用 Mascot Distiller

或 MS-Fit 等软件搜索 NCBI nr、SWISS-PROT 和 TrEMBL 等蛋白质数据库即可识别该蛋白质。本研究拟进一步对生物转化过程中发生变化的酶进行肽指纹鉴定, 如果是已知酶, 可以根据蛋白质序列数据库所提供的功能描述、序列特征的注解、二级和三级结构的预测、关键参考文献及其它数据库的链接等额外信息了解该酶。将该酶的信息与生物转化瘤寄生过程中抗肿瘤有效成分的检测相结合, 通过优化 PSB 培养条件和添加诱导物等方式来调控酶活性, 提高 PSB 增强瘤寄生抗肿瘤活性和降低瘤寄生毒性的效率; 如果是未知酶, 则需要参考肽序列的信息对酶进一步进行研究。但肽指纹图谱法只能对达到一定浓度的酶(而非酶活性)进行鉴定, PSBT 中 PSB 的诱导酶浓度可能较低, 本课题组暂时未能得到其肽指纹鉴定图谱。目前, 本课题组正在摸索提高酶浓度的方法。

研究表明, 光合细菌的诱导酶在生物转化瘤寄生过程中发挥了重要作用。本研究为光合细菌生物转化瘤寄生转化机理的深入研究和光合细菌生物转化瘤寄生效率的调控奠定了理论基础, 有利于瘤寄生在抗肿瘤领域的进一步应用。

参考文献

- [1] Aruoma OI, Deiana M, Rosa A, et al. Assessment of the ability of the antioxidant cocktail-derived from fermentation of plants with effective microorganisms (EM-X) to modulate oxidative damage in the kidney and liver of rats *in vivo*: studies upon the profile of poly- and mono-unsaturated fatty acids[J]. Toxicol Lett, 2002, 135(3): 209-217.
- [2] 刘桂敏, 赵秀梅, 张肖洪. HPLC 法测定康强胶囊中人参皂苷 Rg1 的含量[J]. 中草药, 2001, 32(9): 800-801.
- [3] 胡旭光, 臧建伟, 唐春萍, 等. 六味地黄汤生物制剂对肾阴虚小鼠脾 T 淋巴细胞亚群的影响[J]. 时珍国医国药, 2008, 19(5): 1033-1034.
- [4] 彭海燕, 章永红, 韩英, 等. 瘤寄生碱抗肿瘤作用的研究[J]. 中国中药杂志, 2005, 30(5): 381-382.
- [5] Li J, Guo WJ, Yang QY. Effects of ursolic acid and oleanolic acid on human colon carcinoma cell line HCT15[J]. World J Gastroenterol, 2002, 8(3): 493-495.
- [6] Kim MS, Lee J, Lee KM, et al. Involvement of hydrogen

- peroxide in mistletoe lectin-II-induced apoptosis of myeloleukemic U937 cells[J]. Life Sciences, 2003, 73(10): 1231-1243.
- [7] Kim WH, Park WB, Gao B, et al. Critical role of reactive oxygen species and mitochondrial membrane potential in Korean mistletoe lectin-induced apoptosis in human hepatocarcinoma cells[J]. Molecular pharmacology, 2004, 66(6): 1383-1396.
- [8] Li SS. Mistletoe lectins: telomerase inhibitors in alternative cancer therapy[J]. Drug Discovery Today, 2002, 7(17): 896-897.
- [9] Orange M, Fonseca M, Lacey A, et al. Durable tumour responses following primary high dose induction with mistletoe extracts: two case reports[J]. European Journal of Integrative Medicine, 2010, 2(2): 63-69.
- [10] 朱晓薇, 刘一兵. 桑寄生科植物的化学成分与抗肿瘤作用[J]. 国外医药: 植物药分册, 2001, 16(4): 142-145.
- [11] 杨官娥, 张肇铭. 光合细菌转化槲寄生制剂抗肿瘤活性初步研究[J]. 微生物学通报, 2006, 33(2): 40-43.
- [12] 胡能书, 万贤国. 同工酶技术及其应用[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1985: 60-105.
- [13] 牛红军, 李飞莹, 仇丽霞, 等. 基于遗传算法的光合细菌过氧化物酶电泳分析方法的建立[J]. 微生物学通报, 2010, 37(3): 465-471.
- [14] 吴江, 陈代杰. 微生物中超氧化物歧化酶含量及分布[J]. 中国医药工业杂志, 1997, 28(11): 495-498.
- [15] Valdez LB, Arnaiz SL, Bustamante J, et al. Free radical chemistry in biological systems[J]. Biol Res, 2000, 33(2): 65-70.
- [16] 杨官娥, 张肇铭, 王玉军, 等. 槲寄生对光合细菌生长的促进作用[J]. 中草药, 2006, 37(8): 1241-1244.
- [17] Zhang YS, Liu BY, Li ZQ, et al. Molecular cloning of a classical plant peroxidase from *Artemisia annua* and its effect on the biosynthesis of artemisinin *in vitro*[J]. Acta Botanica Sinica, 2004, 46(11): 1338-1346.
- [18] 刘海利, 孔令义. 苦瓜过氧化物酶对阿魏酸的生物转化及其产物的分离鉴定[J]. 中国天然药物, 2006, 4(2): 146-150.
- [19] Hamid M, Rehman KU. Potential applications of peroxidases[J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1177-1186.
- [20] Gilham D, Lehner R. Techniques to measure lipase and esterase activity *in vitro*[J]. Methods, 2005, 36(2): 139-147.
- [21] He ZY, Yang C, Yu WC. Peak bagging for peptide mass fingerprinting[J]. Bioinformatics, 2008, 24(10): 1293-1299.

编辑部公告

关于《微生物学通报》专题刊申请的通知

当前,随着生物技术的飞速发展,微生物学涵盖的领域越来越广,交叉学科的研究也越来越受到关注。除了已有的微生物学、病毒学、基因工程、细胞工程、酶工程、发酵工程之外,基因组学、代谢工程、纳米科学、生物炼制、生物质能等也逐步成为微生物学研究的热门领域。为了更加系统、集中地反映各个领域的研究成果,以及该领域学科的热点难点问题,充分发挥《微生物学通报》的学科引领和导向作用,促进学科发展,为某个领域的科研人员提供一个交流的平台,《微生物学通报》编委会决定自2008年起,每年出版一定数量的专题刊。专题刊将系统地反映微生物学相关领域或新学科生长点的最新进展,及时介绍国内外微生物相关前沿领域的突破性成果,以及面向国家和社会发展需要并具有重大应用前景的研究成果。真诚欢迎本领域各学科的学术带头人,申请并组织专题刊。申请得到编委会批准后,申请人将被邀请担任本专题刊的特邀编辑,负责组织稿件、确定审稿专家,并撰写专题刊序言。

根据专刊工作计划,现将有关事项通知如下:

1. 专刊申请的有关规定附在通知的下面,请申请者仔细阅读;
2. 提交形式:请到我刊主页(<http://journals.im.ac.cn/WSWXTBCN>)的“下载专区”下载专题刊申请表;填写好之后,以E-mail附件的形式发送到编辑部信箱: tongbao@im.ac.cn, 请在邮件主题中注明:“专题刊申请”字样;
3. 申请者如有疑问,请咨询编辑部,联系方式: Tel: 010-64807511; E-mail: tongbao@im.ac.cn