

# 一株高产木聚糖酶的枝链霉菌的分离鉴定及产酶

李秀婷\* 孙宝国 宋焕禄 吕跃钢 余元莉 宋红霞

(北京工商大学化学与环境工程学院 北京 100048)

**摘要:** 对 1 株高产木聚糖酶的链霉菌进行了鉴定并研究其木聚糖酶的生产过程及水解产物特点。分离得到 1 株产木聚糖酶的链霉菌 *Streptomyces* sp. L2001, 从形态学特征、培养特征和生理生化特征等方面对该菌株进行了鉴定。PCR 扩增得到 16S rDNA 序列全长为 1429 bp, 分析结果表明, 菌株与 *Streptomyces rameus* NBRC3782 同源性达 99.16%。结合传统生理生化实验结果鉴定为枝链霉菌。菌株液体发酵 6 d 能产生 842.0 U/mL 木聚糖酶活力。经 HPLC 分析酶解产物, 结果显示木二糖、木三糖及木四糖含量之和高达 93.5%, 该酶适用于工业化生产低聚木糖。

**关键词:** 枝链霉菌, 16S rRNA, 鉴定, 木聚糖酶

## Isolation, Identification of a *Streptomyces rameus* Strain with High Level Xylanase Activity and Its Enzyme Production

LI Xiu-Ting\* SUN Bao-Guo SONG Huan-Lu LV Yue-Gang  
SHE Yuan-Li SONG Hong-Xia

(School of Chemical and Environmental Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

**Abstract:** A *Streptomyces rameus* strain with high yield in xylanase activity was identified. Its capacity to produce xylanase and the characteristics of its hydrolysates were also investigated. A new strain of *Streptomyces* sp. L2001 was isolated from soil samples and was identified using morphological, cultural, physiological and biochemical characteristics. The total length of 16S rDNA fragment was 1429 bp through PCR amplification. Our results showed that 16S rRNA sequence of *Streptomyces* sp. L2001 homologed up to 99.16% with that of *Streptomyces rameus* NBRC3782. Combining the traditional characteristics from physiological and biochemical tests, the strain L2001 was identified as *Streptomyces rameus*. As the firstly-reported strain to be capable of producing xylanase, its maximal yield could reach to 842.0 U/mL within 6 days' cultivation under submerged fermentation condition. Using HPLC analysis, the total contents of xylobiose, xylotriose and xylotetraose constituted 93.5% of the hydrolysates of the xylanase from *Streptomyces* sp. L2001. Our results suggested that the xylanase is applicable to industrial production of functional xylo-oligosaccharides.

**Keywords:** *Streptomyces rameus*, 16S rRNA, Identification, Xylanase

木聚糖是自然界中仅次于纤维素的丰富的可再生资源,它由  $\beta$ -D-吡喃型木糖单元经  $\beta$ -1,4-糖苷键连接构成主链,主链上带有乙酰基、阿拉伯糖残基和葡萄糖残基等多种不同的取代基,来源或分支程度不同的主侧链与不同的取代基共同构成结构复杂而多样的木聚糖分子,需多种水解酶的共同参与才能完全降解<sup>[1]</sup>。内切型木聚糖酶以内切方式作用于木聚糖主链,能够产生不同长度的木寡糖和少量的木糖,是木聚糖降解酶系中最关键的酶,同时也是目前研究较多、应用较广泛的木聚糖降解酶。木聚糖酶在纸浆助漂、面包烘烤、饲料工业等方面的应用都起到重要的作用<sup>[2-3]</sup>,在利用酶法生产功能性低聚木糖工业中的作用尤其不容忽视。功能性低聚木糖是木聚糖在水解过程中产生的低聚物,是一种典型的不消化性糖类,具有显著的双歧杆菌增殖能力,促进人体对钙的吸收等优点,可满足患有诸如糖尿病、肥胖症和高血脂症等特殊人群的需要;同时,功能性低聚木糖还具有温和的甜味、较好的 pH 值及温度稳定性等优良的理化性质,非常适合应用于食品加工过程,业已成为食品行业的研究热点<sup>[4]</sup>。在低聚木糖的多种生产方法中,酶水解法具有反应专一性强,易于控制其水解速度及程度,且所得产物分离及精制较为容易等优点,因此逐渐成为生产高品质低聚木糖的主要方法,已广泛应用于工业化生产<sup>[5]</sup>。然而,迄今为止酶水解法生产所使用的木聚糖酶存在特异性差、产品品质差、生产效率低、成本高等弱点,研究特异性好、效率高、适合工业化生产的木聚糖酶是解决此问题的关键。作者从自然界中筛选出一株链霉菌菌株,此菌株不仅能够高产木聚糖酶,而且所产木聚糖酶水解木聚糖产物组分以木二糖、木三糖、木四糖为主,3种低聚糖含量高达90%以上,非常适合应用于制备功能性低聚木糖,具有潜在的工业应用价值,本研究对该菌株进行了鉴定,并对其产酶情况及水解产物进行探讨,为功能性低聚木糖的工业化生产提供基础数据及参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 菌株

放线菌 L2001,从新疆天山的土壤中分离得到,接种于 PDA 斜面培养基,在 38°C–40°C 培养 3–4 d 后保存菌种。

### 1.2 试剂

玉米芯木聚糖提取方法<sup>[6]</sup>: 1.5 kg 玉米芯粉加 0.5% (以有效氯计) NaClO 浸泡 2 h,然后与质量百分比浓度为 10% 的氢氧化钠溶液以固液比 1:10 混合,充分搅拌润湿后,加热至 100°C 保持 90 min,趁热过滤,用盐酸调节滤液 pH 至中性,加入等体积的去离子水,静置沉淀得到不溶性木聚糖;上清液脱盐后加 2 倍体积乙醇沉淀,离心即得水溶性木聚糖。沉淀在 50°C 下烘干,粉碎后过筛备用。甘蔗渣木聚糖提取方法同上。桦木木聚糖、桦木木聚糖糖、燕麦木聚糖、低粘度羧甲基纤维素等购于 Sigma 公司;酵母提取物购自 Oxoid 公司;酵母浸膏、牛肉浸膏、蛋白胨等购自北京双旋微生物培养基制品厂;低分子量标准蛋白样品(上海生物化学研究所): 14.4–97.4 kD;其他试剂均为国产分析纯。

### 1.3 菌种鉴定

**1.3.1 培养特征:** 在察氏培养基、葡萄糖天冬素培养基、甘油天冬素培养基、无机盐淀粉培养基、ISP-2 培养基、燕麦粉培养基、高氏一号培养基、桑塔氏培养基 8 种培养基上 38°C–40°C 培养 7–10 d 后观察结果。

**1.3.2 生理生化特性:** 参照文献[7–8]对菌株进行生理生化鉴定。

**1.3.3 16S rRNA 基因序列的测定:** PCR 扩增引物: Primer A: 5'-GGTTACCTTGTTACGACTT-3'; Primer B: 5'-AGAGTTGACCCTGGCTCAG-3'。反应条件: 94°C 4 min; 94°C 30 s, 52°C 80 s, 72°C 90 s, 30 个循环; 72°C 8 min。PCR 产物测序经天根生化科技(北京)有限公司完成。

**1.3.4 系统发育分析:** 根据测序结果,在 NCBI 上使用 BLAST 程序从 GenBank 数据库中搜索有关种的公认 16S rRNA 标准序列数据,用 ClustalX 1.8 进行多序列对比分析,利用 MEGA 3.1 的 Neighbor-joining 法构建系统发育树。

### 1.4 液体发酵培养

**1.4.1 培养基:** 平板培养基: 玉米芯木聚糖 10 g, 酵母浸膏 2 g, 蛋白胨 3 g, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 7.5 g, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 1.5 g, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.5 g, 琼脂 20 g。加水定容至 1 L, 1 × 10<sup>5</sup> Pa 灭菌 20 min 备用。

液体发酵培养基: 木聚糖 15 g, 酵母浸膏 5 g, 蛋白胨 10 g, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 7.5 g, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 1.5 g, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.5 g, 加水定容至 1 L, 1 × 10<sup>5</sup> Pa 灭菌

20 min 备用。

**1.4.2 培养条件:** 250 mL 三角瓶装液量 50 mL, 接入 0.5 cm<sup>2</sup> 平板培养基上生长 3–4 d 的菌丝体, 培养温度 38°C, 转速 140 r/min, 培养 8 d, 8000 r/min 离心 10 min, 取上清液测定木聚糖酶活力。

### 1.5 木聚糖酶活力的测定

木聚糖酶活力的测定参照 DNS 法<sup>[9]</sup>: 0.1 mL 适当稀释的酶溶液, 加入到 0.9 mL 浓度为 0.05 mol/L、pH 6.5 柠檬酸钠缓冲液配制的质量分数为 1% 的桦木木聚糖底物溶液中, 55°C 反应 5 min, 用 DNS 法测定释放的还原糖量, 同时以木糖作标准物。木聚糖酶活力单位 U 定义为: 在上述条件下, 每分钟水解木聚糖生成 1 μmol 木糖所需要的酶量。

### 1.6 聚丙烯酰胺凝胶电泳与酶谱

SDS-PAGE 按照 Laemmli<sup>[10]</sup>的方法进行。分离胶浓度 12.5%, 浓缩胶浓度 4.5%, 低分子量标准蛋白与样品在同一条件下进行电泳, 考马斯亮兰 R-250 染色。酶谱分析是在分离胶中添加 0.1% 的桦木木聚糖, 采用标准 SDS-PAGE 方法电泳后, 用含 25% 异丙醇的 50 mmol, pH 7.0 磷酸缓冲溶液在 4°C 浸洗凝胶使蛋白复性, 40°C 保温酶反应后经 0.5% 刚果红染色显现透明带。

### 1.7 酶解及产物分析方法

酶解条件: 50 mmol/L、pH 5.3 柠檬酸缓冲体系下, 底物为质量分数 2% 的桦木木聚糖, 加入酶液使酶活力达到 10 U/mL, 50°C 水解 8 h, 定时取样。采用 HPLC 进行酶解产物分析, 低聚木糖样品液经 0.22 μm 微滤膜过滤后, 取 20 μL 进样分析。色谱分离条件为: 高效液相色谱仪(Waters HPLC); 色

谱柱为 Sugar KS-802; 流动相为高纯水; 流量, 1.0 mL/min, 柱温, 80°C; 示差折光检测器。同时以木糖–木五糖作标准物。

## 2 结果与分析

### 2.1 菌株分离

实验室采用透明圈法, 从来自新疆天山的土壤中筛选出一株透明圈较大的链霉菌菌株 *Streptomyces* sp. L2001, 接种斜面培养基在 38°C–40°C 培养 3–4 d 后保存菌种。该菌株在摇瓶发酵条件下经玉米芯水不溶木聚糖诱导产生木聚糖酶活性较高, 稳定在 800 U/mL 以上, 作为实验菌株对其进一步研究鉴定及产酶情况分析。

### 2.2 形态特征

菌株 *Streptomyces* sp. L2001 基内菌丝发育良好, 气生菌丝丰茂, 孢子丝不完全螺旋形, 成全环或钩状; 孢子长圆柱形、柱形。菌丝及孢子形态如图 1 所示。

### 2.3 培养特征

菌株 *Streptomyces* sp. L2001 在 8 种培养基上的生长结果见表 1。该菌在大多数培养基上生长良好, 多数培养基上无可溶性色素产生, 仅在桑塔氏培养基上生长时产生褐色的可溶性色素。菌株在不同培养基上生长时气生菌丝主要呈现白色, 如在察氏培养基、葡萄糖天冬素培养基、甘油天冬素培养基、高氏一号培养基、桑塔氏培养基上均呈白色; 基内菌丝则呈现出咖啡色、榴萼黄色、浅枯绿色等各种不同的颜色。

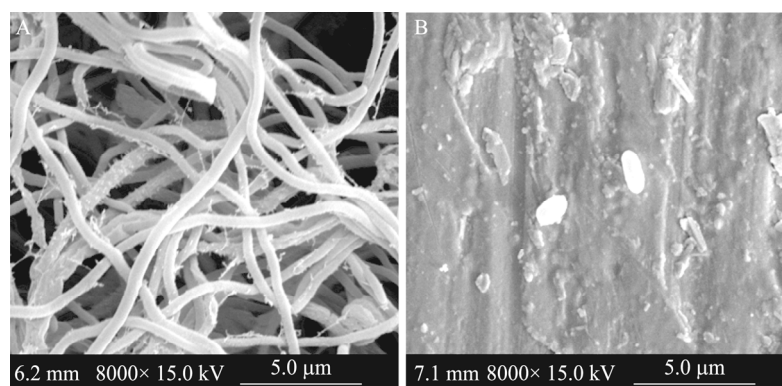


图 1 菌株 *Streptomyces* sp. L2001 菌丝(A)及孢子形态(B) (× 8000)

Fig. 1 Morphological (A) and sporotrichial (B) characteristics of *Streptomyces* sp. L2001 (× 8000)

表1 菌株 *Streptomyces* sp. L2001 的培养特征  
Table 1 The culture characteristic of *Streptomyces* sp. L2001

培养基 Medium	气生菌丝 Aerial mycelium	基内菌丝 Substrate mycelium	可溶性色素 Soluble pigment
察氏培养基 Czapek's medium	白色	咖啡色	无
葡萄糖天冬素培养基 Glucose asparagine agar	白色	榴萼黄色	无
甘油天冬素培养基 Glycerol asparagine agar (ISP5)	白色	榴萼黄色	无
无机盐淀粉培养基 Mineral salt starch agar	淡铁锈色	浅桔绿色	无
ISP-2 培养基 Yeast extract-malt agar (ISP2)	落英淡粉色	浅芒果棕色	无
燕麦粉培养基 Oat agar (ISP3)	浅铁锈色	淡桂皮棕色	无
高氏一号培养基 Gause's synthetic agar	白色	软木黄色	无
桑塔氏培养基 Santa's agar	白色	笋皮棕色	褐色

## 2.4 生理生化特征

菌株 *Streptomyces* sp. L2001 生理生化特征的实验结果见表2。菌株 *Streptomyces* sp. L2001 牛奶酪化、淀粉水解、纤维素上生长和酪氨酸酶产生反应等均为阳性, 明胶液化及硝酸盐还原反应为阴性; 能利用葡萄糖、蔗糖、蜜二糖、纤维二糖、甘油、果糖、麦芽糖、木糖、乳糖、松三糖、半乳糖、甘露糖、鼠李糖、棉子糖、肌醇、甘露醇、水杨素、淀粉、柠檬酸钠、琥珀酸钠、苹果酸钠、乙酸钠和丙酸钠等, 不能利用菊糖、丙二酸钠、苦杏仁苷、马尿酸钠、阿拉伯糖、卫矛醇、赤藓醇、山梨醇等。

综合以上培养特征及生理生化特征, 依据《链霉菌鉴定手册》进行分析, 该菌株与枝链霉菌 *Streptomyces rameus* 基本相符。

## 2.5 16S rRNA 序列分析

菌株 *Streptomyces* sp. L2001 的 PCR 扩增产物电泳结果如图2所示。

菌株 *Streptomyces* sp. L2001 的 16S rRNA 基因核苷酸序列全长为 1429 bp, 登录号为 GU143806, 与 GenBank 数据库中相关链霉菌菌株的 16S rRNA 基因序列进行比较, 利用 ClustalX 1.8 和 MEGA 3.1 软件进行分析, Neighbor-joining 法构建系统发育树,

表2 菌株 *Streptomyces* sp. L2001 的生理生化特征  
Table 2 Physiological and biochemical characteristic of *Streptomyces* sp. L2001

试验项目 Test item	结果 Result
肌醇 Inositol	+
甘露醇 Mannitol	+
水杨素 Salicin	+
棉子糖 Raffinose	+
鼠李糖 Rhamnose	+
淀粉 Starch	+
山梨醇 Sorbitol	-
蔗糖 Sucrose	+
蜜二糖 Melibiose	+
果糖 Fructose	+
甘露糖 Mannose	+
麦芽糖 Maltose	+
菊糖 Inulin	-
甘油 Glycerin	+
葡萄糖酸钠 Sodium gluconic	+
半乳糖 Galactose	+
柠檬酸钠 Sodium citrate	+
琥珀酸钠 Sodium succinate	+
苹果酸钠 Sodium malate	+
纤维二糖 Cellobiose	+
丙二酸钠 Sodium malonate	-
L-天冬酰胺 L-Asparagine	+
苦杏仁苷 Laetrile	-
酒石酸钠 Sodium tartrate	-
D-葡萄糖 D-glucose	+
马尿酸钠 Sodium hippurate	-
木糖 Xylose	+
乳糖 Lactose	+
松三糖 Melezitose	+
L-阿拉伯糖 L-arabinose	-
卫矛醇 Melampyrit	-
赤藓醇 Erythritol	-
乙酸钠 Sodium acetate	+
丙酸钠 Sodium propionate	+
酪氨酸酶 Tyrosinase	+
淀粉酶 Amylase	+
牛奶酪化 Milk peptonization	+
明胶液化 Gelatine liquefaction	-
硝酸盐还原 Nitrate reduction	-

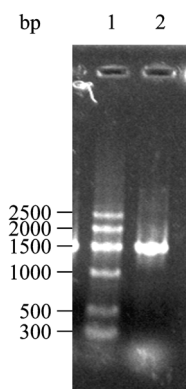


图2 菌株 *Streptomyces* sp. L2001 的 PCR 产物电泳图

Fig. 2 Electrophoresis pattern PCR product of *Streptomyces* sp. L2001

注: 1: DNA ladder marker; 2: PCR 扩增产物。

Note: 1: DNA ladder marker; 2: PCR product.

1000次随机抽样计算 Bootstrap 值, 构建系统发育树如图3所示。

该菌株与枝链霉菌(*Streptomyces rameus*)在进化树中位于同一个分支上, 且与登录号为 AB184798 菌株的同源性达 99.16%。结合形态学特征、培养特征和生理生化特征综合比较, 鉴定菌株 *Streptomyces* sp. L2001 为枝链霉菌。

## 2.6 菌株产酶情况

图4是菌株 *Streptomyces rameus* L2001 利用不同来源的木聚糖作为单一碳源, 在摇瓶培养条件下发酵 7 d 的产酶过程曲线。该菌株能够利用多种木聚糖作为碳源, 实验中涉及的不同来源的木聚糖均能诱导菌株产生木聚糖酶, 并且菌株利用木聚糖产酶过程较为类似, 从 3 d 起, 发酵液中木聚糖酶活性开始大幅增加, 6 d 达到峰值, 然后略有下降, 说明菌株在液体发酵条件下, 木聚糖酶的大量产生并累积均在发酵后期。另外, 不同种类木聚糖诱导产生的酶量差异很大: 玉米芯水不溶性木聚糖的诱导效果最为显著, 酶活力最高达 842.0 U/mL; 桦木木聚糖稍次之, 酶活力为 781.1 U/mL; 甘蔗渣木聚糖能够诱导菌株产生 757.8 U/mL 的木聚糖酶活力; 玉米芯水溶性木聚糖诱导效果最差, 产生的酶活力仅为 17.2%。微生物木聚糖酶是一种诱导酶, 其合成及细胞外分泌需在合适的诱导物存在的情况下才会发生, 而不同来源的木聚糖均能诱导微生物细胞产生并胞外分泌木聚糖酶<sup>[11]</sup>。

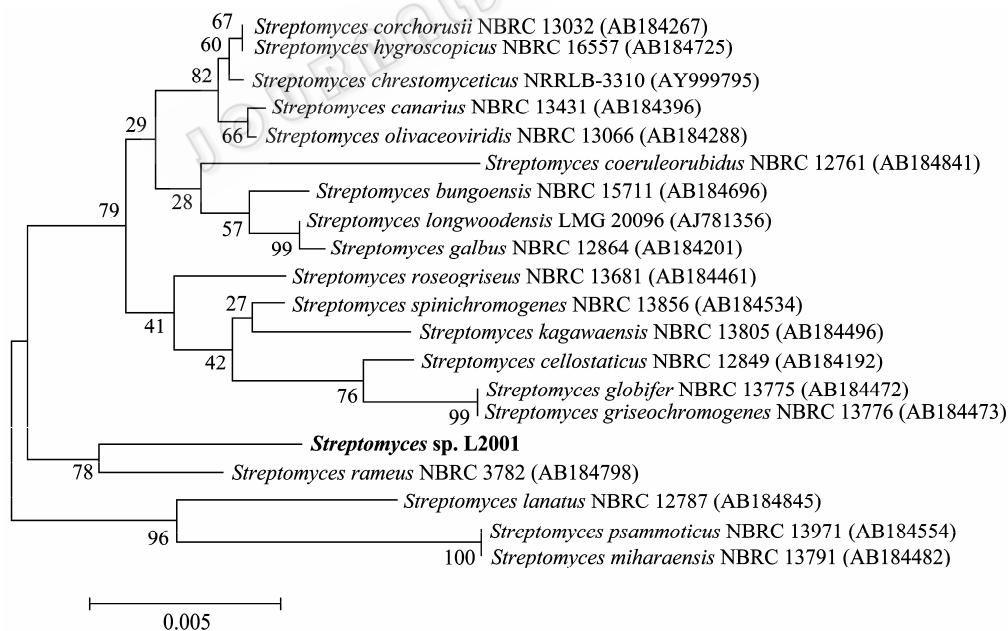


图3 基于 16S rRNA 构建的菌株 *Streptomyces* sp. L2001 系统发育树

Fig. 3 Phylogenetic tree based on the polygenetic analysis of 16S rRNA sequences showing the position of strain *Streptomyces* sp. L2001

Note: The tree was evaluated by bootstrap analysis of the neighbor-joining method based on 1000 resamplings. Numbers in brackets are GenBank/EMBL/DBJ accession numbers for the 16S rRNA gene sequence of the type strains. Numbers in banches are the length of a branch denotes the genetic distance between the two taxa it connects. 0.005 is the length of scale bar.

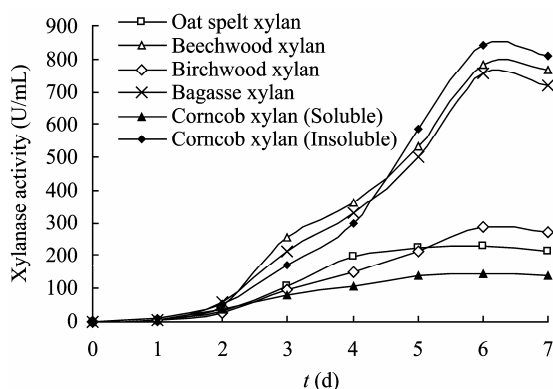


图4 菌株 L2001 利用不同来源木聚糖发酵产酶过程  
Fig. 4 Fermentation time-course for xylanase by strain L2001 with different xylans under submerged fermentation

菌株 *Streptomyces rameus* L2001 以玉米芯水不溶性木聚糖为诱导物进行液体发酵的产酶过程 SDS-PAGE 及酶谱分析如图 5 所示。从 SDS-PAGE 和酶谱分析可以很明显地看出, 玉米芯水不溶性木聚糖作为诱导底物时, 菌株分泌的木聚糖酶蛋白量及活力都随着发酵时间的延长呈现出逐步增加的态势。酶谱分析(图 5B)结果显示, 菌株 L2001 以玉米芯水不溶性木聚糖为诱导物的粗酶液中主要有两条木聚糖酶活性带。对比 SDS-PAGE (图 5A)可知形成这两条活性带的酶蛋白相对分子质量约为 39.4 kD 和 21.1 kD。

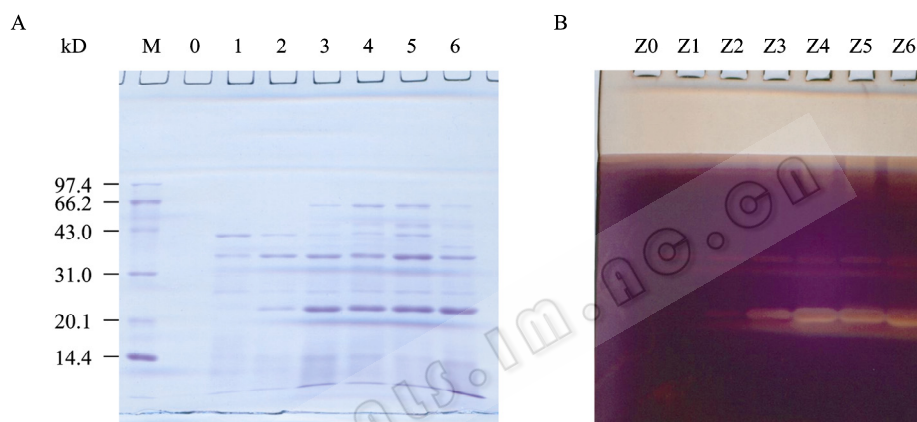


图5 玉米芯木聚糖诱导菌株产酶过程之 SDS-PAGE (A)和酶谱分析(B)

Fig. 5 Time course of xylanase production by *Streptomyces rameus* L2001 cultivated in medium containing water-insoluble corn cob xylan under submerged fermentation: SDS-PAGE (A) and zymogram analysis (B)

注: M: 低分子量标准蛋白; 0-6: 0-6 d 的发酵液; Z0-Z6: 0-6 对应的木聚糖酶谱分析。

Note: M: Low molecular weight calibration kit; 0-6: The culture supernatants after 0-6 days of fermentation, respectively; Z1-Z6: Xylanase zymogram of the culture supernatants after 0-6 days of fermentation.

## 2.7 木聚糖酶水解产物

枝链霉菌(*Streptomyces rameus*) L2001 在摇瓶发酵条件下, 可利用木聚糖高产木聚糖酶。迄今为止, 国内外均未见到枝链霉菌产生木聚糖酶的相关报道。目前, 国内报道链霉菌产生木聚糖酶活力大多较低, 如白色链霉菌(*Streptomyces albus*) 产生的木聚糖酶活力仅为 45.66 U/mL<sup>[12]</sup>, 而菌株 *Streptomyces* sp. L2001 不仅产酶能力强, 而且其酶具有较好的水解特性。利用菌株所产木聚糖酶在 50 mmol/L、pH 5.3 柠檬酸缓冲体系下, 水解质量分数 2% 的桦木木聚糖底物, 产物分析结果如图 6 所示。在整个水解过程中产物中几乎没有检测出木糖, 而木二糖至木五糖含量却占很大比例, 尤其是木二糖、木三糖含量和比例一直随水解时间延长而增加。

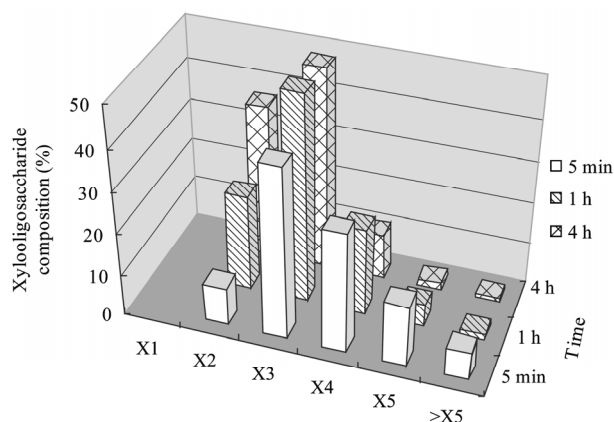


图6 菌株 L2001 木聚糖酶水解桦木木聚糖之产物组成  
Fig. 6 The xylooligosaccharides composition from birchwood xylan hydrolyzed by the xylanase from L2001

以水解时间 1 h 的产物经 HPLC 检测结果为例, 水解产物中木二糖(22.9%)、木三糖(49.7%)、木四糖(20.9%) 3 种低聚糖含量之和高达 93.5%, 而这 3 种低聚糖均为双歧杆菌增殖效果明显, 生理功效显著的低聚糖种类, 因此该酶十分适用于工业生产低聚木糖, 在生产高品质功能性低聚糖方面具有很高的应用价值。

### 3 结论

经形态特征、培养特征、生理生化特征和序列分析, 新分离的高产木聚糖酶的菌株 L2001 初步鉴定为枝链霉菌(*Streptomyces rameus*)。菌株利用玉米芯水不溶木聚糖液体发酵主要产生相对分子质量约为 39.4 kD 和 21.1 kD 的木聚糖酶, 发酵 6 d 时酶活力可达 842.0 U/mL。菌株 L2001 所产木聚糖酶的水解特性较好, 其水解桦木木聚糖的产物中不仅没有木糖, 而且木二糖、木三糖及木四糖含量之和达 93.5%, 该酶十分适用于低聚木糖的工业化生产, 尤其是在高品质功能性低聚木糖的生产方面具有很高的应用价值。

### 参 考 文 献

- [1] Kulkarni N, Shendye A, Rao M. Molecular and biotechnological aspects of xylanase. *FEMS Microb Rev*, 1999, **23**(4): 411–456.
- [2] Dutta T, Sengupta R, Sahoo R, *et al.* A novel cellulase

free alkaliphilic xylanase from alkali tolerant *Penicillium citrinum*: production, purification and characterization. *Lett Appl Microbiol*, 2007, **44**(1): 206–211.

- [3] 李秀婷. 微生物木聚糖酶及在食品工业中的应用. 农业机械学报, 2008, **39**(2): 175–179.
- [4] Vázquez MJ, Alonso JL, Domínguez H, *et al.* Xylooligosaccharides: manufacture and applications. *Trends Food Sci Technol*, 2000, **11**(11): 387–393.
- [5] Akpinar O, Erdogan K, Bostanci S. Production of xylooligosaccharides by controlled acid hydrolysis of lignocellulosic materials. *Carbohydrate Research*, 2009, **344**(5): 660–666.
- [6] Kusakabe I, Yasui T, Kobayashi T. Enzymatic hydrolysis extraction of xylan containing natural materials. *J Agr Chem Soc Japan*, 1976(50): 199–208.
- [7] 阎逊初. 放线菌的分类和鉴定. 北京: 科学出版社, 1992.
- [8] 中国科学院微生物所放线菌的分类组. 链霉菌鉴定手册. 北京: 科学出版社, 1975.
- [9] Bailey MJ, Biely P, Poutanen K. Interlaboratory testing of methods for assay of xylanase activity. *J Biotechnol*, 1992, **23**(3): 257–270.
- [10] Laemmli UK. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 1970, **227**(5259): 680–685.
- [11] Beg QK, Kapoor M, Mahajan L, *et al.* Microbial xylanases and their industrial applications: a review. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2001, **56**(3/4): 326–338.
- [12] 孙晓霞, 谢响明, 吴玉英, 等. 白色链霉菌产木聚糖酶规律及其耐热耐碱性的初步研究. 北京林业大学学报, 2005, **27**(3): 72–75.

稿件书写规范

### 论文中计量单位的表示方法

为执行国务院发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》的规定, 计量单位和单位符号按国家技术监督局发布的《量和单位》GB3100-3102-93 执行。单位符号均用英文小写(正体), 不允许随便对单位符号进行修饰。现将本刊常用计量单位和符号介绍如下, 希望作者参照执行。

时间: 日用 d; 小时用 h; 分钟用 min; 秒用 s 等表示。

溶液浓度: 用 mol/L, 不用 M (克分子浓度)和 N (当量浓度)等非许用单位表示。

旋转速度: 用 r/min, 不用 rpm。

蒸汽压力: 用 Pa 或 kPa、MPa 表示。

光密度: 用 OD (斜体)表示。

生物大分子的分子量: 蛋白质用 D 或 kD, 核酸用 bp 或 kb 表示。

图表中数值的物理量和单位: 物理量符号采用斜体, 单位用正体并用括号括起, 例如:  $t$  (h) (表示时间, 单位是小时)。带数值的计量单位: 计量单位不能省略, 跟数字之间加一空格(%除外), 例如: 20 cm × 0.3 cm, 不能写成 20 × 0.3 cm; 3 °C–5 °C 不可写成 3–5 °C; 3%–6%不可写成 3–6%等。