

# 木薯渣微生物降解及再利用研究进展

李静<sup>1</sup>, 涂佳才<sup>2</sup>, 陈秀龙<sup>1</sup>, 宋付平<sup>1</sup>, 冯朝阳<sup>1</sup>, 覃新导<sup>1\*</sup>

1. 中国热带农业科学院广州实验站, 广东 广州 510140; 2. 聊城大学, 山东 聊城 252000

**摘要:** 木薯渣因其所含粗纤维经有效降解之后可以变废为宝, 节省资源又保护环境而受到国内外学者的广泛关注。对木薯渣再利用方面的研究已经成为近年来一大热点, 微生物降解是提高木薯渣利用率的一个有效途径。从木薯渣降解再利用角度出发, 综述了木薯渣的用途、降解机理以及温度、pH 值、含水量等重要影响因素。阐明了在合适的环境条件下, 筛选有效降解微生物是提高木薯渣利用率的关键因素。同时展望了调制复合酶系在降解木薯渣纤维素上的应用, 以及改造、合成以及重组降解酶以提高和推广木薯渣纤维素分解的必要性。

**关键词:** 木薯渣; 微生物; 纤维素降解; 再利用

中图分类号: S431.13

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 10-2506-05

木薯(*Manihot esculenta* Crantz)渣是生产木薯淀粉所剩下的废料, 主要由木薯外部褐色的皮, 内部的薄壁组织和大部分有毒的氰苷类物质组成<sup>[1-2]</sup>, 木质粗纤维素含量较高, 还含有少量的淀粉和粗蛋白<sup>[3-4]</sup>。粗纤维具有较强的稳定性, 分解率较低, 处理困难<sup>[5]</sup>。

随着木薯淀粉产品需求量、产出量的不断增加, 未及时处理的产品附属物—木薯渣也增加, 不仅会对环境造成较大污染; 所含废水还会对植被、土壤造成较大破坏, 腐烂过程中产生的毒气会污染大气, 进一步给人和动物带来健康隐患<sup>[6-7]</sup>, 造成经济损失。木薯渣降解及再利用已经成为固体废弃物管理的一个急需解决的难题。

有效降解及再利用木薯渣既可满足资源需求, 减轻环境压力, 又可创造市场价值<sup>[6]</sup>。近年来, 很多学者研究表明: 筛选微生物和酶制剂进行木薯渣废物降解是有效的处理方式, 利用微生物发酵降解木薯渣, 一方面可以做到无害化处理, 另一方面也是增加蛋白含量的一种廉价方法, 具有巨大发展潜力, 也是有效利用纤维素的一种途径。

## 1 木薯渣的用途

木薯渣缺乏淀粉和脂肪等营养物质, 一般被认为是质量低劣的物质<sup>[8-9]</sup>。但是, 如果通过生物技术手段合理利用, 木薯渣将成为一种有潜力资源<sup>[6,10]</sup>。近年来, 国内外相继研究将木薯渣作为饲料、肥料和工业原料及其所带来的经济价值和生态效益。

### 1.1 木薯渣作为饲料

木薯渣可以直接或与其他饲料混合进行禽畜养殖。将其添加在棕榈仁粉以及玉米粉中喂猪, 在

保证猪肉产量和质量的同时可以降低粮食用量和饲养费用, 增加效益<sup>[11]</sup>; 在牛饲料中添加木薯渣也不会对牛奶产量和质量造成影响<sup>[12]</sup>, 作为饲料资源有很好的利用价值。

但木薯渣含水量较高, 容易滋生微生物, 不易保存, 变质后含有较高的氢氰酸, 容易引起动物中毒或者发病; 新鲜木薯渣直接喂饲, 粗纤维会降低动物肠胃内食物消化, 影响代谢, 动物适口性差。这也是木薯渣利用率一直偏低的原因<sup>[13-14]</sup>。

木薯渣经发酵能够产生单细胞蛋白, 将粗纤维转化为更易消化的物质, 发酵既可以降低毒性, 同时又能增加蛋白质等营养的含量<sup>[15]</sup>。在西非, 利用木霉真菌发酵后的木薯渣喂饲西非矮山羊, 山羊的繁殖与对照没有显著差异<sup>[16]</sup>, 但食物摄取、消化及其生长速率提高<sup>[17]</sup>, 羊奶的质量和产量也都有了显著的提高<sup>[18]</sup>, 木薯渣经过微生物有效降解之后, 提高了饲料的利用率。

### 1.2 木薯渣作为肥料

木薯渣含有丰富的矿物质(包括氮、磷、钾、碳、钙、镁、硫、锌、锰、铜、铁和钠), 通过微生物菌株无氧发酵, 可以转化为无污染且富含微生物的物质, 用作农业肥料, 也可以喂饲动物之后再用作肥料<sup>[19]</sup>。另外, 木薯渣还含有生长素和赤霉素等植物生长调节剂, 能够刺激植物种子发芽及根茎叶器官发育<sup>[20]</sup>。将木薯渣做肥料能够减轻对无机肥的依赖, 符合植物有机生长的要求<sup>[21]</sup>。

### 1.3 木薯渣作为工业原料

木薯渣中含有高浓度的细菌和真菌, 是提取有益微生物生产工业用淀粉酶及纤维素酶的很好的

基金项目: 农业部木薯现代产业技术体系项目 (nycytx-17)

作者简介: 李静 (1981 年生), 女, 博士, 主要从事植物生理生态学等研究。E-mail: lijingjp@126.com

\*通讯作者: 覃新导 (1969 年生), 男, 副研究员, 硕士生导师, 中国热带农业科学院广州实验站站长。E-mail: Xdq888@126.com

收稿日期: 2010-09-30

资源<sup>[7,22-23]</sup>，其中  $\alpha$ -淀粉酶是最先在淀粉生产工业上开采其商业价值的产品<sup>[24-25]</sup>，纤维素酶用于果汁生产既可以增加产量又可以减少污染<sup>[26]</sup>，用于纺织工业可以增加染色亮度<sup>[27]</sup>。木薯渣用作培养基可以合成植酸酶等其它的酶或者栽培食用菌<sup>[28-29]</sup>，Marcia 等<sup>[30]</sup>（2006）研究在木薯渣培养基接种 *Bacillus subtilis* LB5a 菌株生产生物表面活性剂，还可用于生产谷氨酸<sup>[31]</sup>以及黄原胶<sup>[32]</sup>。有学者评价木薯渣废水用于除草剂<sup>[33]</sup>和杀虫剂<sup>[34]</sup>，制造微生物蛋白等带来的经济价值<sup>[35-36]</sup>。另外，木薯渣经过转化发酵之后的气体中含有 50% 以上的甲烷，是甲烷生产较好的原材料<sup>[6,37]</sup>。这些表明了木薯渣在工业应用上的潜力。

## 2 木薯渣纤维素降解机理

传统农业废弃物处理是利用厌氧发酵的方法，在无氧环境下 20~25 d，有机物通过自然分解达到降解的目的<sup>[6]</sup>，主要是自然界中的细菌和真菌性纤维素酶在降解过程中起作用<sup>[38]</sup>。当今微生物发酵是研究和利用木薯渣的热点和趋势，很多学者研究木薯渣的生物转换<sup>[39-41]</sup>。利用微生物技术转化碳水化合物为可利用的产品，带动了高效无氧发酵技术的发展，已经应用到木薯淀粉工业生产领域。

微生物降解再利用是实现纤维素有效利用和实现环境可持续发展的好方法，有关纤维素生物降解的机理是当前研究的热点问题。降解特性与纤维素本身的结构组成、水解性以及发酵特性关系密不可分<sup>[5]</sup>。纤维素基本结构包括非晶体的外部组织，塑胶物质及具有较大吸附能力的木纤维组织，由超吸附能力的聚合物将这些物质凝聚在一起<sup>[42]</sup>。目前与纤维素降解有关的理论主要有  $C_1$ - $C_x$  假说<sup>[43]</sup>、协同理论<sup>[44]</sup>、原初反应假说以及短纤维形成理论等<sup>[45]</sup>。协同理论被学者广泛接受，该理论认为，纤维素首先由内切葡聚糖酶分解非晶区，然后由外切纤维素酶进一步分解晶区<sup>[46-47]</sup>。纤维素降解系统中，纤维素降解细菌和真菌合成酶的作用是将不可溶的粗纤维基质转化成可溶性糖，主要包括葡萄糖和纤维二糖<sup>[47]</sup>。降解微生物中，白腐真菌、软腐真菌以及褐腐真菌会产生纤维二糖脱氢酶(CDH)，促进纤维素降解<sup>[48]</sup>。

木薯渣发酵降解之后微生物量和蛋白质含量增加<sup>[49]</sup>，增加的蛋白质可能是淀粉酶和纤维素酶的一些细胞外分泌物<sup>[50]</sup>，或者是细菌/真菌复合形成的单细胞蛋白<sup>[39]</sup>；另外，降解使氰化物含量下降，达到有害物质氰化物质量分数在  $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  以下的安全标准，具有较好的去毒效果<sup>[6]</sup>。脂肪、粗纤维、灰分以及矿物质含量没有明显的变化趋势<sup>[51]</sup>，发酵过程还会杀死大部分有害微生物(如肠道寄生虫

等)，提高物质化学和生物性质<sup>[6]</sup>。因此，微生物有效降解木薯渣会增加营养成分，降低毒害，进一步提高木薯渣利用率。

## 3 影响木薯渣纤维素降解的因素

微生物降解过程是木薯渣降解，提高利用价值的关键环节<sup>[6]</sup>。木薯渣降解一般被认为是一种简单的化学反应，实际上降解过程是非常复杂的物质间相互作用。影响纤维素降解的条件主要包括微生物种类和环境因子(包括温度、湿度、pH 值以及添加物的种类和含量)。其中微生物种类是生物降解的核心，是所有影响因素中最基础、最重要、最有力的。而环境条件对微生物的种类数量有较大影响<sup>[41,50]</sup>。

### 3.1 降解微生物

微生物可以转化木薯渣纤维素，增加蛋白含量，主要是因为有以下特点：第一，微生物具有较快的生长和繁殖速率；第二，微生物在特定的环境条件下能够快速的修复生长基因<sup>[6]</sup>；第三，微生物蛋白含量高达 35%~60%，是具有高蛋白营养价值的物质。

微生物种类不同对木薯渣纤维素降解程度、转化效率以及降解产品都有很大差异。众多影响因素中，种类的筛选是最受关注的，选择合适的微生物种类是发酵过程的关键。例如，*Saccharomyces cerevisiae* 菌株进行木薯渣发酵纯培养可以将木薯渣产品蛋白质量分数从 2.4% 增加到 14.1%<sup>[39]</sup>，脂肪质量分数增加 3.0%<sup>[52]</sup>，氢氰酸质量分数下降<sup>[53]</sup>，此菌株还能忍受较高浓度的乙醇<sup>[49]</sup>；*Acidothermus cellulolyticus* 菌株降解酶由于具有热稳定性以及低 pH 值适应性使其在生物燃料工业上具有较大的应用潜力<sup>[54]</sup>；*Zymomonas mobilis* 菌株能够忍受高糖浓度被用于乙醇生产<sup>[49]</sup>；将产朊假丝酵母接入木薯渣进行固态发酵，蛋白质提高 2.5 倍，烟酸提高 3.4 倍，泛酸增加 10 倍，VB<sub>2</sub> 增加 1.5 倍，VB<sub>1</sub> 增加 1.2 倍<sup>[55]</sup>；*Rhizopus stolonifer* 菌株可以将木薯渣有效转换成真菌蛋白<sup>[56]</sup>；很多学者<sup>[57-59]</sup>研究观察 *Trichoderma* 属真菌细胞外纤维素酶的分解效果。这些微生物能够以各自的代谢方式降解纤维素，最后的代谢产物也相应不同。要达到有效降解木薯渣纤维素，获得所需产品的目的，筛选合适的微生物种类尤为关键。

### 3.2 环境条件

近年来对于影响纤维素降解的环境因素的研究主要包括温度、pH 值、含水量、降解时间以及添加物等。不同的环境条件下，纤维素降解速率和程度不同，降解所得产品也存在差异。

研究认为温度对微生物降解纤维素具有很大影响，微生物对温度的敏感性和适应性决定其本身

的种类以及转化效率。从黄石国家公园温泉中提取出的菌株 *Acidothermus cellulolyticus* 在高温下具有较高的纤维素分解率<sup>[60]</sup>, 适温范围为 37~70 °C, 其中最佳温度为 55 °C, 这类菌株组成具有热稳定性的纤维素降解酶<sup>[61-63]</sup>。

pH 值会影响微生物种类和活性, 进一步影响纤维素分解率。研究表明用木薯淀粉渣降解生产一种含有地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*)噬菌体的碱性蛋白酶, pH 值的最佳范围是 5.5~6.0<sup>[64-65]</sup>, 但也有研究认为, 4.8~9.2 的 pH 值会达到更好的效果<sup>[66]</sup>。当然, 不同的研究体系因素复杂, 要针对具体降解微生物的特性才能定出最佳 pH 值。

纤维素含水量、堆肥发酵时间长短以及添加物(包括缓冲液)以及金属催化剂都会影响纤维素的降解<sup>[67]</sup>。由此可见, 纤维素发酵的环境条件涉及的因素较多, 选择搭配合适的环境条件, 可加速微生物降解纤维素, 提高纤维素降解利用率。另外, 微生物种类与环境因素共同作用的机理还有待于进一步探讨。

#### 4 研究展望

通过有效筛选降解微生物种类并配以适合的微生物发酵所需的条件, 将木薯渣合理降解, 降低农业废弃物对环境的污染, 满足资源需求, 增加经济价值, 具有很大的发展潜力。

从食物安全和营养的角度考虑, 筛选高效蛋白转化率的微生物是非常必要的, 木薯渣经过微生物发酵, 提高其利用价值, 将会在饲料、肥料以及工业方面等有更好的利用。另外, 循环重复利用成为当今资源利用的目标, 例如木薯渣发酵→饲用→沼气→肥料流程式可以较大提高木薯渣的利用率, 符合当代农业系统自然资源可持续发展尤其是植物资源循环再利用的要求。因此, 木薯渣发酵转化与利用过程还有待于进一步研究。另外, 兼顾经济效益分析, 在提高资源利用的同时使经济效益达到最大化。

研究木薯渣纤维素的超分子结构, 包括高聚化合物以及组成的细胞结构, 分析其结构的稳定性和水解性。筛选最佳木薯渣纤维素酶系的组成和比例, 为降解木薯渣纤维素调制出低成本且高效的复合酶系, 并通过研究酶系之间的相互作用模式, 提高纤维素酶各组分酶协同水解效率。

基因技术和生物信息技术已经成为当今生物降解领域研究的新方法, 人工诱变选育优良的突变微生物菌株, 改造、合成和重组降解酶以提高木薯渣纤维素的分解利用率。由于木薯渣量大不易保存, 以往筛选出的微生物菌株很难推广使用, 但通过基因重组技术合成新的降解酶就可以克服这些问题, 从而能够提高木薯渣的利用率。

#### 参考文献:

- [1] OKAFOR N, UMEH C, IBENEGBU C. Amelioration of garri, a fermented food derived from cassava, *Manihot esculenta* Crantz, by the inoculation into cassava mash, of microorganisms simultaneously producing amylase, linamarase, and lysine[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 1998, 14(6): 835-838.
- [2] RAY R C, WARD O P. Postharvest Microbial Biotechnology of Tropical Root and Tuber Crops. In: Microbial Biotechnology in Horticulture(Vol.1)[M]. New Hampshire: Eds.: R.C. Ray and O.P. Ward Science Publishers, 2006: 345-396.
- [3] 容元平, 廖兰, 伍时华, 等. 木薯渣残余淀粉提取与发酵酒精工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(6): 2793-2794, 2797. RONG Yuanping, LIAO Lan, WU Shihua, et al. Study on starch extraction from cassava residues and alcohol fermentation process[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2010, 38(6): 2793-2794, 2797.
- [4] 胡忠泽, 刘雪峰. 木薯渣饲用价值研究[J]. 安徽技术师范学院学报, 2002, 16(4): 4-6. HU Zhongze, LIU Xuefeng. Study on the feeding value of cassava residual[J]. Journal of Anhui Technical Teachers College, 2002, 16(4): 4-6.
- [5] RAUPP D D S, ROSAL D A, MARQUES S H D P, et al. Digestive and functional properties of a partially hydrolyzed cassava solid waste with high insoluble fiber concentration[J]. Scientia Agricola, 2004, 61(3): 286-291.
- [6] UBALUA A O. Cassava wastes: treatment options and value addition alternatives[J]. African Journal of Biotechnology, 2007, 6(18): 2065-2073.
- [7] AROTUPIN D J. Evaluation of microorganisms from cassava waste water for production of amylase and cellulase[J]. Research Journal of Microbiology, 2007, 2(5): 475-480.
- [8] TEWE O O. Cassava products for animal feeding[M/OL]. In: Integrated Cassava project. 2006: 1-3. [http://www.cassavabiz.org/postharvest/lvstock\\_1.htm](http://www.cassavabiz.org/postharvest/lvstock_1.htm) 10 Nov. 2006.
- [9] CERED A M P. Resíduos Da Industrialização Da Mandioca No Brasil[J]. São Paulo: Paulicéia, 1994: 100.
- [10] OBADINA A O, OYEWOLE O B, SANNI L O, et al. Fungal enrichment of cassava peels proteins[J]. African Journal of Biotechnology, 2006, 5(3): 302-304.
- [11] ADESEHINWA A O K. Energy and protein requirements of pigs and the utilization of fibrous feedstuffs in Nigeria: A review[J]. African Journal of Biotechnology, 2008, 7(25): 4798-4806.
- [12] NDUBUEZE A I, UKACHUKWU S N, AHAMEFULE F O. Milk Yield and Composition of Grazing White Fulani Cows Fed Poultry Waste-Cassava Peel Based Diets[J]. Pakistan Journal of Nutrition, 2006, 5(5): 436-440.
- [13] 郝静, 刘钢, 左福元. 木薯渣的饲用价值及应用[J]. 饲料研究, 2007, 11: 64-66. HAO Jing, LIU Gang, ZUO Fuyuan. The feeding value and application of cassava residue[J]. Feed Research, 2007, 11: 64-66.
- [14] BIRKETT A M, JONES G P, DE SILVA AM, et al. Dietary intake and faecal excretion of carbohydrate by Australians: importance of achieving stool weights greater than 150g to improve faecal markers relevant to colon cancer risk[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1997, 51: 625-632.
- [15] OFUYA C O, OBILOR S N. The suitability of fermented cassava peel as a poultry feed stuff[J]. Bioresource Technology, 1993, 44: 101-104.
- [16] BELEWU M A, BELEWU K Y, BELLO I O. Effects of *Trichoderma*-treated cassava waste in the diets of West African dwarf goat on blood, reproductive and urinary parameters[J]. African Journal of Bio-

- technology, 2006, 5(21): 2037-2040.
- [17] BELEWU M A, ASIFAT A A, YOUSUF M B. Evaluation of *Trichoderma harzanium* treated cassava waste on the quality and quantity of milk of goat[J]. African Journal of Biotechnology, 2007, 6(18): 2193-2196.
- [18] BELEWU M A, FAGBCMI O O. Performance Characteristics of West African Dwarf Goat Fed *Aspergillus* Treated Cassava (*Manihot esculenta*) Waste Based Diets[J]. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 2007, 2(3): 268-270.
- [19] BARANA A C. Avaliacao de tratamento de manipueira em biodigestores fase acidogenica e metanogenica[M]. Botucatu: UNESP/FCA, 2000: 95.
- [20] GOMERO O L, VELASQUEZ A H. Manejo ecologico de suelos, experiencia y practicas para una agricultura sustentable. RAAA, Lima, Peru, 2000.
- [21] PRESTON T R, BOTERO R. Low-cost biodigester for production of fuel and fertilizer from manure (Spanish)[M]. California: Columbia: Manuscrito ineditado CIPAV, 1995: 1-20.
- [22] ALI S, MAHMOOD S, ALAN R, et al. Culture Conditions for Production of glucoamylase from rice bran by *Aspergillus terreu*[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 1998, 5: 525-532.
- [23] OYELEKE S B, ODUWOLE A A. Production of amylase by bacteria isolated from a cassava waste dumpsite in Minna, Niger State, Nigeria[J]. African Journal of Microbiology Research, 2009, 3(4): 143-146.
- [24] PANDEY A, SOCCOL C R, MITCHELL W. New development in solid state fermentation: I-Bioprocess and products[J]. Process Biochemistry, 2000, 35: 1153-1169.
- [25] HAKI G D, RAKSHIT S K. Developments in industrially important thermostable enzymes-Review[J]. Bioresource Technology, 2003, 89: 17-34.
- [26] BHAT M K. Cellulases and related enzymes in biotechnology[J]. Biotechnology Advance, 2003, 18: 355-383.
- [27] CSIZER E A, LOSONCZI G, SZAKACS I, et al. Enzymes and chelating agent in cotton pretreatment[J]. Journal of Biotechnology, 2001, 89: 271-279.
- [28] 韦仕岩, 吴国平. 木薯酒精渣栽培平菇, 姬菇, 茶树菇的试验[J]. 食用菌, 2007, 29(4): 31-32.  
WEI Shiyan, WU Guoping. Mushroom cultivation of cassava alcohol residue[J]. Edible Fungi, 2007, 29(4): 31-32.
- [29] 葛若梅, 李海燕, 张惠芬, 等. 固态发酵木薯酒精渣生产生物饲料菌种的筛选[J]. 生物技术, 2010, 20(2): 82-84.  
GE Ruomei, LI Haiyan, ZHANG Huifen, et al. Screening of the strains to produce prote in feeds by solid-state fermentation from cassava bagasse[J]. Biotechnology, 2010, 20(2): 82-84.
- [30] MARCIA N, GLAUCIA M P. Producton and properties of a surfactant obtained from *Bacillus subtilis* grown on cassava wastewater[J]. Bioresource Technology, 2006, 97(2): 336-341.
- [31] JYOTHI A N, SASIKIRAN K, NAMBISAN B, et al. Optimization of glutamic acid production from starch factory residue using *Brevibacterium divaricatum*[J]. Process Biochemistry, 2005, 40: 3576-3579.
- [32] WOICIECHOWSKI A L, SOCCOL C R, ROCHA S N, et al. Xanthan gum production from cassava bagasse hydrolysate with *Xanthomonas campestris* using alternative source of nitrogen[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2004, 118(1/3): 305-312.
- [33] FIORETTO R A. Efeito da manipueira aplicada em solo cultivado com mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz)[J]. Botucatu: UNESP/FCA, 1985: 112.
- [34] PONTE J J DA, FRANCO A, SANTOS J H R. Eficiencia da manipueira no controle de duas pragas da citricultura[C]//In: Congresso Brasileiro de mandioca, 7, Recife, Anais. Recife: Sociedade Brasileira de mandioca, 1992: 59.
- [35] MENEZES T J B de. Mandioca, residuas e subproducts para producao de biomassa proteica. In: CEREDA, M P. Residuos da industrializacao da mandioca[M]. Sao Paulo: Pauliceia, 1994: 101-108.
- [36] PHAM C B, LAT MRLY, RAMIREZ T J, et al. Enriching cassava protein using solid state fermentation[C]//In: International Scientific Meeting, BIOTECH, University of the Philippines at Los Banos, Philippines, 1995: 672-689.
- [37] SINGLETON P. In: Bacteria in Biology, Biotechnology and Medicine[M]. 4th ed. New York: John Wiley and sons, Ltd, 1999.
- [38] GHANBARY M A T, LOTFI A, ASGHARZADEH A, et al. Laboratory stimulation of cellulose degradation by soil *Aspergilli*[J]. American-Eurasian Journal of Environmental Science, 2010, 7(2): 146-148.
- [39] ANTAI S P, MBONGO P M. Utilization of cassava peels as substrate for crude prtein formation[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 1994, 46: 345-351.
- [40] OKAFOR N. An integrated Bio-system for the disposal of cassava wastes[J/OL]. Integrated Bio-system in Zero Emission Applications Proceedings of the Internet Conference on integrated Bio-system. 1998. <http://www.ias.unu.edu/proceedings/icibs>.
- [41] RAIMBAULT M. General and microbiology aspect of solid substrate fermentation[J/OL]. Electronic Journal of Biotechnology, 1998, 1. <http://www.ejb.org/content/voll/issue3/full/9/>.
- [42] SANNINO A, DEMITRI C, MADAGHIELE M. Biodegradable Cellulose-based Hydrogels: Design and Applications[J]. Materials, 2009, 2: 353-373.
- [43] 陈洪章. 纤维素生物技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 10-51.  
CHEN Hongzhang. Cellulose Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 10-51.
- [44] HENRISSAT B, DRIGUEZ H, VIET C, et al. Synergism of cellulases from *Trichoderma reesei* in the degradation of cellulose[J]. Biotechnology, 1985, 3: 722-726.
- [45] 文少白, 李勤奋, 侯宪文, 等. 微生物降解纤维素的研究概况[J]. 中国农学通报, 2010, 26(1): 231-236.  
WEN Shaobai, LI Qinfen, HOU Xianwen, et al. Recent advances in microbial degradation of cellulose[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(1): 231-236.
- [46] WOOD T M, MACRAE S I. The purification and properties of the C<sub>1</sub> component of *Trichoderma koningii* cellulase[J]. Biochemistry Journal, 1972, 128: 1183-1192.
- [47] YOSHIHIKO A, TAKAHISA K. New insights into cellulose degradation by cellulases and related enzymes[J]. Trends in Glycoscience and Glycotechnology, 2002, 14(75): 27-34.
- [48] HAI P Q, NOZAKI K, AMANO Y, et al. Synergistic effects of cellobiose dehydrogenase, cellulases, and beta-glucosidase from *Irpex lacteus* in the degradation of various type of cellulose[J]. Journal of Applied Glycoscience, 2002, 49(1): 9-17.
- [49] RAMAN N, POTHIRAJ C. Screening of *Zymomonas mobilis* and *Saccharomyces cerevisiae* strains for ethanol production from cassava waste[J]. Rasayan Journal of Chemistry, 2008, 1(3): 537-541.
- [50] OBOH G, AKINDAHUNSI A A. Biochemical changes in cassava products (flour and garri) subjected to *Saccharomyces cerevisiae* solid media fermentation[J]. Food Chemistry, 2003, 82(4): 599-602.
- [51] OBOH G. Nutrient enrichment of cassava peels using a mixed culture of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus* spp. Solid media fermentation techniques[J/OL]. Electronic Journal of Biotechnology, 2006, 9(1): 46-49. <http://www.ejbiotechnology.info/content/vol9/issue1/full/1/>

- [52] BOONNOP K, WANAPAT M, NONTASO N, et al. Enriching nutritive value of cassava root by yeast fermentation[J]. *Science Agriculture*, 2009, 66(5): 629-633.
- [53] OBOH G, AKINDAHUNSI A A. Nutritional and toxicological evaluation of *Saccharomyces cerevisiae* fermented cassava flour[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2005, 18: 731-738.
- [54] RUBIN E M. Genomics of cellulosic biofuels[J]. *Nature*, 2008, 454: 841-845.
- [55] HANG Y D. Improvement of the nutritional value of cassava-residua by fermentation[J]. *Nutrition Reports International*, 1998, 38(1): 207-210.
- [56] POTHIRAJ C, BALAJI P, EYINI M. Enhanced production of cellulases by various fungal cultures in solid state fermentation of cassava waste[J]. *African Journal of Biotechnology*, 2006, 5(20): 1882-1885.
- [57] JABBAR A, ILAHI A. Evaluation of solid substrate for the biosynthesis of cellulase by *Trichoderma viride*[J]. *Agricultural Boilogy and Chemistry*, 1981, 45: 1719-1720.
- [58] ROSS A, SCHUGERL K, SCHEIDINGH W. Cellulase production from *Trichoderma reesei*[J]. *European Journal of applied Microbiology and Biotechnology*, 1983, 18: 29-37.
- [59] GHOSH A, GHOSH BK, VAZQUEZ H T, et al. Cellulase secretion from a hyper cellulolytic mutant of *Trichoderma reesei* Rut-C30[J]. *Archives of Microbiology*, 1984, 140: 126-133.
- [60] MOHAGHEGHI A, GROHMANN K, HIMMEL M, et al. Isolation and characterization of *Acidothermus cellulolyticus* gen. nov., sp. nov., a new genus of thermophilic, acidophilic, cellulolytic bacteria[J]. *International Journal of Systematic and Bacteriology*, 1986, 36: 435-443.
- [61] ADNEY W S, TUCKER M P, NIEVES R A, et al. Low molecular weight thermostable  $\beta$ -D-glucosidase from *Acidothermus cellulolyticus*[J]. *Biotechnology Letters*, 1995, 17: 49-54.
- [62] BAKER J O, ADNEY W S, NIEVES R A, et al. A new thermostable endoglucanase, *Acidothermus cellulolyticus* E1[J]. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 1994, 45-46: 245-256.
- [63] BARABOTE R D, XIE G, LEU D H, et al. Complete genome of the cellylyotic thermophile *Acidothermus cellulolyticus* 11B provides insights into its ecophysiological and evloutionary adaptatons [J/OL]. 2009. <http://escholarship.org/uc/item/5xg662d7>
- [64] AMUND O O, OGUNSINA O A. Extracellular amylase production by cassava fermenting bacteria[J]. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 1987, 2: 123-127.
- [65] ANTHRIN R L, SOLHEIM B A, SOLHEIM L, et al. A new *Bacillus licheniformis* alpha amylase capable of low pH liquefaction[J]. *Starch / Starke*, 1990, 43: 355-360.
- [66] OGUNTIMHIN G B. Growth of and amylase production by *Bacillus licheniformis* isolated from cassava processing waste[J]. *Nigerian Food Journal*, 1998, 11: 58-67.
- [67] NOZAKI K, SEKI T, MATSUI K, et al. Structure and Characteristic of an Endo- $\beta$ -1,4-glucanase, Isolated from *Trametes hirsuta*, with high degradation to crystalline cellulose[J]. *Bioscience, biotechnology and biochemistry*, 2007, 71(10): 2375-2382.

## Advances in reuse and microbiological degradation of cassava residue

LI Jing<sup>1</sup>, TU Jiakai<sup>2</sup>, CHEN Xiulong<sup>1</sup>, SONG Fuping<sup>1</sup>, FENG Chaoyang<sup>1</sup>, QIN Xindao<sup>1\*</sup>

1. Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences Guangzhou Experimental Station, Guangzhou 510140, China;

2. Liaocheng University, Liaocheng 252000, China

**Abstract:** Cassava residue, which brings serious harm to the environment due to its toxicity and stability, however, can be degraded to useful material. So nowadays it is greatly concerned all over the world and the research on reuse of cassava residue has been a hot issue in recent years. Microbial degradation is an effective way to improve its utilization. Focus on the degradation and reuse of cassava residue, the paper mainly summarized the application and degradation mechanism of cassava residue, and also the important environmental factors influencing its microbial degradation. The article elucidates that the screening of effective degradation microorganisms is the key factor that can improve the utilization of cassava residue. The environmental condition brings great influence on the degradation of cassava residue. Finally, the application of modulating compound enzyme to the degradation of cassava residue cellulose, as well as the necessity of transforming, synthesizing, and restructuring degradation enzyme is recommended.

**Key words:** cassava residue; microbiology; cellulose degradation; resuse