

高节竹笋加工废料的纤维素酶 水解及饲料开发

刘力 周建钟 余世袁 单谷

(浙江林学院基础部, 临安 311300)

(南京林业大学)

摘要 高节竹笋加工废料笋壳蛋白质含量高达 20.6%, 而木素含量仅为 2.7%; 笋壳的蛋白质含量为 12.3%, 纤维素、戊聚糖和木素含量分别为 32.8%, 25.0% 和 13.2%。笋壳经稀硫酸预处理后, 用里氏木霉作产酶菌, 5d 后可得到滤纸酶活为 $1.9 \text{ IU} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的酶液, 产酶渣蛋白质含量提高 1 倍, 达 25.4%。用自产酶液酶解预处理后的废料, 酶用量为 $12 \text{ IU} \cdot \text{g}^{-1}$ 绝干原料时, 笋壳和笋壳的酶解得率分别为 80.1% 和 82.0%。酶水解液和预处理液可培养酵母, 产酶渣和酶解渣饲用价值提高。

关键词 笋加工废料; 高节竹; 纤维素酶; 饲料

中图分类号 S816

高节竹 (*Phyllostachys prominens*) 主要分布于浙江省的临安、余杭、富阳、建德、桐庐等县(市), 安徽省的宁国、歙县、广德等县(市)有少量分布。高节竹耐瘠薄, 发笋能力强, 造林成林快, 笋味好、产量高, 深受产区竹农的喜爱。一般经营管理, 竹笋产量即可达 $15 \sim 20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 高者可达 $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 产量比毛竹 (*Ph. pubescens*) 笋、雷竹 (*Ph. praecox*) 笋都要高。高节竹鲜笋市场价与毛竹笋相当, 因而适合用做笋加工原料。经加工后的竹笋味道鲜美, 销路很好。高节竹出笋期比毛竹笋期稍晚。竹笋加工厂加工完毛笋后, 可利用加工设备继续加工高节竹笋, 既延长了生产季节, 提高设备利用率, 还可增加经济效益。因此, 高节竹笋加工大有发展前途。但竹笋加工厂在加工过程中, 只能利用 30% ~ 40% 的原料, 有大量的废弃物产生。对这些废弃物不进行利用, 随处堆放于路旁地边, 既浪费了宝贵的资源, 还造成环境的污染。因此, 如何处理竹笋加工废料是急需解决的问题之一。目前对毛竹笋(材)加工废料处理和利用已有了一些研究^[1], 但对高节竹笋加工废料的利用研究还未见报道。我们用纤维素酶技术对高节竹笋加工废料进行处理, 提高废料的蛋白质含量, 降低粗纤维, 开发营养价值高的饲料, 为高节竹笋(材)加工废料的生物利用提供理论依据。

收稿日期: 1997-03-17

第 1 作者简介: 刘力, 女, 1958 年生, 讲师, 硕士

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

1 材料与方 法

1.1 试样

高节竹笋加工剩余物取自浙江省临安市杨岭乡一笋罐头加工厂。人工剥除的鲜笋笋壳部分为笋壳试样。除去笋壳的光笋经蒸汽高温蒸煮后,再经人工筛选,切除基部较老的不可食部分为笋菹试样。收集来的试样晾干粉碎后供实验用。

1.2 稀硫酸预处理

用 0.75% 的稀硫酸,按 1: 8~ 1: 10 固液比浸泡原料 8~ 12 h,于 121℃~ 125℃ 下预处理 80~ 100 min,经过滤,洗涤,滤渣用作产酶和酶解底物,滤液用于酵母繁殖。

1.3 纤维素酶生产

采用里氏木霉 (*Trichoderma reesei* Rut C30) 为纤维素酶生产菌,用经预处理后的笋壳废料为底物,加入 Mandels 营养盐^[2],装入 250 mL 锥形瓶中,加水至笋壳含量为 5%,接入菌丝体细胞于 26℃~ 28℃,pH 值为 4.5~ 4.8,进行产酶。

1.4 纤维素酶水解

采用实验室自产纤维素酶,在 250 mL 锥形瓶中加入一定量的酶解底物 and 自产纤维素酶液,控制 pH 值 4.5~ 4.8,50℃,80~ 120 r·min⁻¹,在 SHZ-22 恒温水浴振荡器中恒温酶解 48 h,再将水解产物移入塑料离心管中,于 2 000 r·min⁻¹ 下离心分离,所得上清液即为水解液。用 DNS 法测定其还原糖含量后,按下式计算水解得率:

$$\text{酶解得率 } \% = \text{生成还原糖量 } / \text{g} \times 0.9 \times \frac{100}{\text{底物中纤维素量 } / \text{g}}$$

1.5 分析方法

纤维素酶活力测定,按国际理论和化学协会 (IUPAC) 推荐方法进行^[3]。还原糖浓度测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法,即 DNS 法^[3]测定。用凯氏定氮法测定蛋白质含量。原料组成按造纸工艺分析标准 GB2677.3-81 测定灰分;GB2677.7-81 测定苯醇抽提物;硝酸乙醇法测定纤维素;GB745-78 二溴化法测定戊聚糖;GB2677.8-81 硫酸法测木素。

2 结果与讨论

2.1 高节竹笋加工废料的成分分析

笋壳和笋菹样品的成分分析结果见表 1 (百分数据以干重计算)。可以看出,竹笋加工废料中笋菹样品中蛋白质含量很高,达 20.6%,约为玉米秸和稻草秆的 5 倍;纤维素含量

表 1 高节竹笋加工废料成分

Table 1 Composition of bamboo shoot residues

%

| 成 分 | 笋 壳 | 笋 菹 | 玉米秆 |
|-------|------|------|--------------------|
| 蛋 白 质 | 12.3 | 20.6 | 5.1 ^[4] |
| 纤 维 素 | 32.8 | 30.8 | 33.9 |
| 戊 聚 糖 | 25.0 | 18.9 | 22.4 |
| 木 素 | 13.9 | 2.7 | 17.0 |
| 苯醇抽出物 | 2.5 | 4.8 | 5.5 |
| 粗 灰 分 | 5.1 | 6.0 | 7.6 |

为 30.8%，略低于玉米秆；戊聚糖含量 18.9%，也比玉米秆要稍低；而木素含量为 2.7%，比玉米秆低 5 倍；苯醇抽出物含 4.8%，与玉米秆相差不大。笋壳蛋白质含量与毛竹笋加工废料 (12.76%)^[4] 比，高 1.6 倍。据分析高节竹笋壳含 15 种氨基酸，还含糖分、脂肪及磷、铁、钙等营养成分和无机盐^[5]，而木质素含量低，因而易被动物消化吸收，可直接饲用。

笋壳试样的蛋白质含量为 12.3%，高于玉米秆 2 倍，比手册中查得的早稻秆 (4.15%) 和麦秸 (3.15%) 高 3 倍，与毛竹笋加工废料相近。细胞壁成分中纤维素为 32.8%，戊聚糖为 25.0%，木素含量为 13.9%，与玉米秆相当，比喂牛试验用的毛竹笋加工废料中细胞壁成分为 65.2%，纤维素 28.1%，木素 3.57% 要高，特别是家畜难以消化利用的木素比毛笋废料高 3 倍。由于木质化程度较高，纤维素、半纤维素与木素相互联结，阻碍了微生物对纤维素类碳水化合物的酶解，牛、羊等反刍动物也难以将这些碳水化合物降解成挥发性脂肪酸吸收利用，因此不适宜直接用作饲料。目前这些废料被丢弃，浪费了宝贵的资源。

2.2 纤维素酶制备

笋壳废料经稀硫酸预处理后，作为产酶的底物，在 250 mL 锥形瓶中产酶。产酶试验的反应历程见图 1。

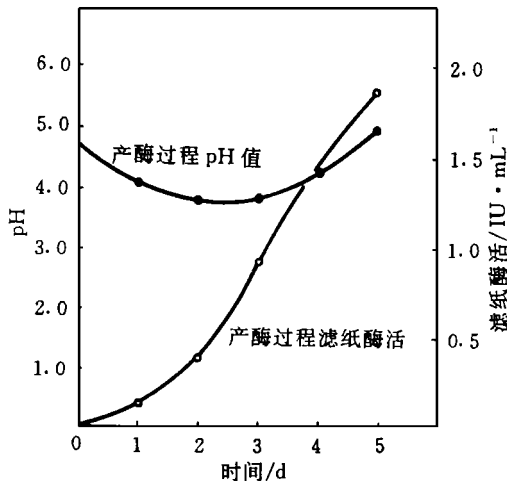


图 1 经稀硫酸预处理笋壳废料产酶历程

Fig. 1 Cellulase production process of dilute H₂SO₄ prehydrolysed shoot sheath

如图 1 所示，产酶第 1 天 pH 值降至 4.05，第 2 天降至 3.80，第 3 天仍稳定在 3.80，第 4 天上升至 4.30，第 5 天升至 5.00。酶活力在前几天内缓慢提高，到第 4~5 天，随着 pH 值快速上升，酶活力也迅速提高，至产酶第 5 天，滤纸酶活达 1.9 IU · mL⁻¹。此时分离产酶液和产酶渣。经测定产酶渣蛋白质含量为 25.4%，比笋壳废料提高了 1 倍。

笔者对笋壳废料生产纤维素酶仅做了初步的探索，产酶条件还未优化，产酶底物浓度较低，所得酶液酶活不高，酶液的滤纸酶活为 1.9 IU · mL⁻¹，通过进一步的研究，纤维素酶产率还会有所提高。

2.3 纤维素酶水解

高节竹笋加工废料经稀硫酸预处理后, 用自产纤维素酶液进行酶水解, 控制废料体积分数为 10%。不同酶用量的酶水解结果见表 2 由表 2 可见, 当酶用量为 $6 \text{ IU} \cdot \text{g}^{-1}$ 绝干原料时,

表 2 笋加工废料纤维素酶水解结果

Table 2 Results of enzymatic hydrolysis of bamboo shoot residues

| 底 物 | 酶用量 / $\text{IU} \cdot \text{g}^{-1}$ | 还原糖浓度 / $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ | 得 率 /% |
|-----|---------------------------------------|--|--------|
| 笋 壳 | 6 | 25.33 | 74.6 |
| 笋 壳 | 8 | 26.55 | 78.3 |
| 笋 壳 | 12 | 27.15 | 80.1 |
| 笋 莩 | 6 | 25.53 | 76.8 |
| 笋 莩 | 8 | 26.08 | 78.4 |
| 笋 莩 | 12 | 27.28 | 82.0 |

说明: 酶用量以绝干原料计算

2种笋加工废料的酶解得率都在 70.0% 以上, 笋壳为 74.6%, 笋莩为 76.8%。随着酶用量的增大, 笋加工废料的酶解得率也随之增大。当酶用量为 $12 \text{ IU} \cdot \text{g}^{-1}$ 绝干原料时, 2种废料的酶水解得率均超过 80.0%, 笋壳为 80.1%, 笋莩达 82.0%。酶水解效率较高, 酶水解所用纤维素酶可自己生产, 因而成本也大大降低。

酶水解得到的糖液和预处理液混合可用于培养酵母。经初步试验证明, 在糖液中只需补加磷酸盐即可用于培养酵母。酶水解渣中大部分纤维素被降解, 粗纤维含量大大降低, 饲用价值提高。

3 小结

3.1 高节竹笋壳废料经稀硫酸预处理后, 可用于生产纤维素酶。用预处理后的废料为产酶底物, 在试验条件下, 5 d后可得到滤活国际单位为 $1.9 \text{ IU} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的酶液。产酶渣蛋白质含量比原料提高了 1倍, 达 25.4%。饲用的营养价值大为提高。

3.2 经预处理后的废料用自产纤维素酶液酶解的效率很高。当酶用量为 $6 \text{ IU} \cdot \text{g}^{-1}$ 绝干原料时, 酶解得率超过 70.0%, 笋壳为 74.6%, 笋莩为 76.8%; 当酶用量提高到 $12 \text{ IU} \cdot \text{g}^{-1}$ 绝干原料时, 酶解得率分别达 80.1% 和 82.0%。

3.3 经初步试验表明, 酶水解液和预水解液补加磷酸盐后, 可用于培养酵母。酶水解渣中的纤维素大部分被降解成单糖, 因而粗纤维含量降低, 饲用价值提高。

参 考 文 献

- 1 通口隆昌, 棚桥光彦. 竹材の饲料化 糖化パルペ化. *Bamboo J*, 1983, (1): 59~ 60
- 2 Mandels M. Enzymatic hydrolysis of cellulose. Evaluation of cellulase culture filtrates under use condition. *Biotech Bioeng*, 1981, 23: 2009~ 2026
- 3 Ghose T K. Analysis of cellulase activities. *Pure & Appl Chem*, 1987, 59: 257~ 268
- 4 周兆祥, 田荆祥, 赖椿根. 竹笋壳的化学成分. *浙江林学院学报*, 1991, 8 (1): 54~ 59
- 5 罐藏竹笋科研协作组. 竹笋的营养成分. *浙江林学院学报*, 1984, 1 (1): 1~ 13

Liu Li (Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, PRC), Zhou Jianzhong, Yu Shiyuan, and Shan Gu. **Enzymatic Hydrolysis and Feed Exploitation of Canned Bamboo Shoot Residues of *Phyllostachys prominens***. *J Zhejiang For Coll*, 1997, **14** (3): 262~ 266

Abstract Canned bamboo shoot residues of *Phyllostachys prominens* consists of bamboo shoot sheath (culm leaf) and bamboo shoot (culm). Bamboo shoot (culm) was rich in protein (20.6%) and poor in lignin (2.7%); bamboo shoot sheath (culm leaf) contains protein (12.3%), cellulose(32.8%), pentosan(25.0%) and lignin(13.9%). Dilute H₂SO₄ prehydrolysed bamboo shoot sheath was used as carbon source in cellulase production by *Trichoderma reesei* Rut C30. After 5 days, obtained enzyme solution had a FP active of 1.9 IU·mL⁻¹ and cellulase production residue was more proteinous (25.4% protein) than shoot sheath. Dilute H₂SO₄ prehydrolysed bamboo shoot residues used as substrate, enzyme-substrate ratio 12 IU·g⁻¹ dry residues. The yield of enzymatic hydrolysis could reach 80.1% (culm leaf) and 82.0% (culm). The sugar solution of prehydrolysis and enzymatic hydrolysis could be used to produce yeast. The residues of cellulase production and enzymatic hydrolysis increased in feed value.

Key words canned bamboo shoot residues; *Phyllostachys prominens*; cellulase; feeds