

# 膳食纤维结肠微生物酵解微粒特性研究

张 宁, 李爱军, 谭艳来, 欧仕益

(暨南大学理工学院食品科学与工程系, 广东 广州 510632)

**摘 要:** 利用人体结肠微生物, 分别以水溶性膳食纤维卡拉胶和水不溶性膳食纤维蔗渣作为唯一碳源, 在离体条件下厌氧发酵, 采用 Zeta 电位仪研究了发酵液上清液中的微粒特性。结果发现, 卡拉胶酵解后的平均粒径为 465.1nm,  $\zeta$  (Zeta) 电位为  $-34.29 \pm 1.73$  mV; 蔗渣酵解后的平均粒径为 801.7nm,  $\zeta$  (Zeta) 电位  $-21.77 \pm 0.57$  mV; 表明膳食纤维被结肠微生物酵解后能产生基本特性较一致的微粒, 但不同膳食纤维间存在差异。

**关键词:** 膳食纤维; 结肠微生物; 粒度分布; Zeta 电位

## *In vitro* Study on Dietary Fiber Particles after Fermented with Human Faecal Flora

ZHANG Ning, LI Ai-jun, TAN Yan-lai, OU Shi-Yi

(Department of Food Science and Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

**Abstract:** The characteristics of particles released from dietary fiber carrageenan and sugarcane bagasse after incubation with human faecal flora *in vitro* were studied. A Zeta potential analyzer was used to determine the particle size distribution and  $\zeta$  (Zeta) potential in the filtrate of the culture broth. Results showed that average diameter of fermented carrageenan particles was 465.1 nm, zeta potential was  $-34.29 \pm 1.73$  mV, and those of fermented sugarcane bagasse were 801.7 nm (diameter) and  $-21.77 \pm 0.57$  mV (Zeta potential). It was indicated that particles after fermentation have narrow size distribution. However there are differences in particle size and Zeta potential between the two dietary fibers.

**Key words** dietary fiber; faecal flora; particle distribution; Zeta potential

中图分类号: 0636.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2007)12-0251-03

膳食纤维能防治冠心病、高血压、糖尿病、痔疮、结肠炎等。目前对它们的间接作用强调较多, 包括促进肠道蠕动、束缚致癌物质、缩短肠内物质排空时间等<sup>[1]</sup>。膳食纤维从摄入到排出体外的过程中发生的最大变化是其在结肠中被微生物酵解。以往在这方面的研究大多侧重于膳食纤维的降解率、对结肠 pH、粪便体积和丁酸产生量的影响等<sup>[2-6]</sup>。材料科学研究表明, 当物质粒度达到超微粉级 ( $< 10 \mu\text{m}$ ) 和纳米级时, 其基本物理性能和力学性能会发生一些变化, 物质的表面积、孔隙率和表面能大大增加, 并表现出高溶解性和多方面活性, 如吸附性、吸收性、流动性和生物活性等显著增加<sup>[7-9]</sup>。本实验从微粒特性的角度出发, 以水溶性膳食纤维卡拉胶和水不溶性膳食纤维蔗渣为材料, 研究了它们经结肠微生物体外酵解后的微粒特性, 包括微粒大小和  $\zeta$  (Zeta) 电位。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

卡拉胶、蔗渣, 100℃烘干, 粉碎, 过 80 目筛。

培养基: 蛋白胨 2g/L, 酵母膏 2g/L, 半胱氨酸盐酸 0.5g/L, NaCl 0.1g/L,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.04g/L,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.04g/L,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.01g/L,  $\text{CaCl}_2$  (BDH) 0.01g/L,  $\text{NaHCO}_2$  2g/L, Tween 80 2ml/L, 血红素 5mg/L, 维生素 K3 10ml/L。在以上培养基中加膳食纤维 1% 作为唯一碳源, 121℃, 20min 灭菌, 备用。

PBS 缓冲液: 0.16mol/L NaCl, 0.003mol/L KCl, 0.008mol/L  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , 0.001mol/L  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ , pH7.3。

2.5L 厌氧盒、气体发生袋 日本三菱; Zeta Puls Zeta 电位仪 美国布鲁克海文公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 结肠混合菌悬液的制备

将健康人 (25~40 岁, 没有肠胃病史, 3 个月内没有服用抗生素) 的新鲜粪便, 按 1:3 比例与 PBS 缓冲液 (pH7.3) 混合, 过滤, 取上清液。

收稿日期: 2007-08-04

基金项目: 广东省自然科学基金博士启动项目 (5300455)

作者简介: 张宁 (1975-), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食品生物技术。

1.2.2 结肠微生物体外酵解膳食纤维

向制备好的发酵培养基中，加入 22ml/200ml 混合菌悬液，37℃厌氧培养 24h，加入 HgCl<sub>2</sub> 终止实验。

1.2.3 粒度分析和  $\zeta$  (Zeta) 电位分析

发酵液 12000 × g 离心，取上清液，超声处理 20s，粒度分析和  $\zeta$  (Zeta) 电位分析采用美国 BROOKHAVEN 公司生产的 Zeta plus 测量，测量方法为电泳光散射法，测量温度为 25℃，散射角度为 90 度下进行测量。

2 结果与分析

2.1 酵解后上清液中微粒的粒度分布

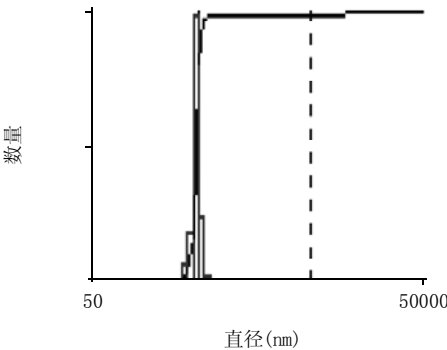


图 1 卡拉胶经结肠微生物酵解后上清液中微粒的粒度分布  
Fig.1 Carrageenan particle size distribution after fermented by colon bacteria

表 1 卡拉胶经结肠微生物酵解后上清液中微粒的粒度分布  
Table 1 Carrageenan particle size distribution after fermented by colon bacteria

d	G(d)	C(d)	d	G(d)	C(d)	d	G(d)	C(d)
239.76	0	0	864.43	0	100	3116.60	0	100
269.41	0	0	971.32	0	100	3501.97	0	100
302.72	0	0	1091.42	0	100	3935.00	0	100
340.15	0	0	1226.38	0	100	4421.57	1	100
382.21	11	6	1378.02	0	100	4968.31	0	100
429.47	52	36	1548.42	0	100	5582.65	0	100
482.58	100	94	1739.89	0	100	6272.96	0	100
542.25	8	99	1955.03	0	100	7048.62	0	100
609.30	2	100	2196.77	0	100	7920.20	0	100
684.64	0	100	2468.41	0	100	8899.55	0	100
769.30	0	100	2773.63	0	100	10000.00	0	100

表 1 是卡拉胶经结肠微生物酵解后上清液中微粒的粒度分布表。表中 d 为微粒的直径，G(d)，C(d) 分别表示粒度的区间分布和累计分布。区间分布又称为微分分布或频率分布，由于微粒通常是由大量的大小不同的颗粒组成的，因此进行粒度测试时须分成大小若干粒径区间。它每个粒径区间内颗粒的相对含量的一系列百分数就是区间分布。累计分布也叫积分分布，它表示小于或大于某粒径颗粒的百分含量。

卡拉胶经结肠微生物酵解后，上清液中微粒的平均粒径为 465.1nm。从表 1 我们可以看出上清液中的颗粒有粒径范围为 382.2~609.30nm 的亚微米微粒，其中 482.58nm 和 429.47nm 的微粒比例最大。但未产生小于 100nm 粒径的纳米粒子。从图 1 中我们也可看出微粒的粒径相对集中。

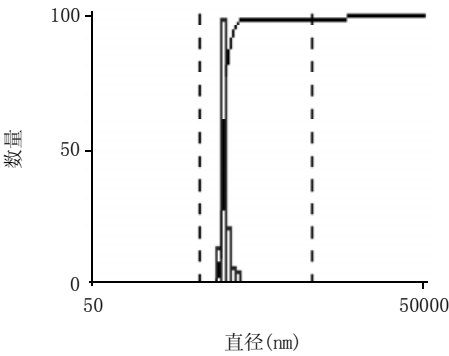


图 2 蔗渣经结肠微生物酵解后上清液中微粒的粒度分布  
Fig.2 Sugar cane bagasse particle size distribution after fermented by colon bacteria

表 2 蔗渣经结肠微生物酵解后上清液中微粒的粒度分布  
Table 2 Sugar cane bagasse particle size distribution after fermented by colon bacteria

d	G(d)	C(d)	d	G(d)	C(d)	d	G(d)	C(d)
488.68	0	0	1379.35	0	100	3893.33	0	100
537.03	0	0	1515.80	0	100	4278.48	0	100
590.15	0	0	1665.75	0	100	4701.72	0	100
648.53	1	1	1830.54	0	100	5166.84	0	100
712.69	15	11	2011.62	0	100	5677.97	0	100
783.19	100	78	2210.62	0	100	6239.66	0	100
860.67	21	92	2429.31	0	100	6856.91	0	100
945.81	6	97	2669.62	0	100	7535.23	0	100
1039.37	5	100	2933.71	0	100	8280.65	0	100
1142.19	0	100	3223.93	0	100	9099.81	0	100
1255.18	0	100	3542.86	0	100	10000.00	0	100

蔗渣经结肠微生物酵解后上清液中微粒的平均粒径为 801.7nm，从表 2 中可以看出上清液中有粒径范围为 783.19~1039.37nm，粒径为 783.19nm 的微粒最多，也未产生小于 100nm 粒径的纳米粒子。图 2 也直观地显示出微粒的粒径分布比较集中。

2.2 酵解后上清液中微粒的  $\zeta$  (Zeta) 电位

微粒可以通过吸附溶液中的带电离子或者本身电离而带电。膳食纤维主要是由多糖构成，多糖分子中的羧基、羟基等基团可能发生电离，使微粒呈电负性。 $\zeta$  (Zeta) 电位是分散体系中微粒表面由滑动面至溶液本体间的电势差。Zeta 电位是对颗粒之间相互排斥或吸引力的强度的度量。Zeta 电位受分散体系的浓度、pH 和电导率的影响。

从图 3 可以看出，卡拉胶经结肠微生物酵解后上清

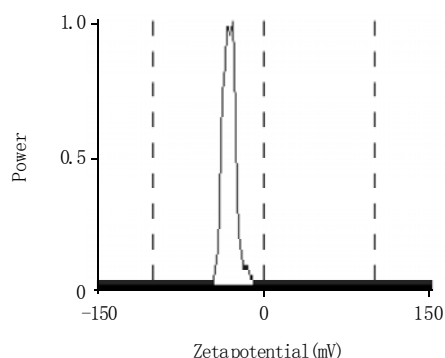


图3 卡拉胶经结肠微生物酵解后上清液中微粒的 $\zeta$ 电位

Fig.3  $\zeta$  potential of carrageenan particles after fermented by colon bacteria

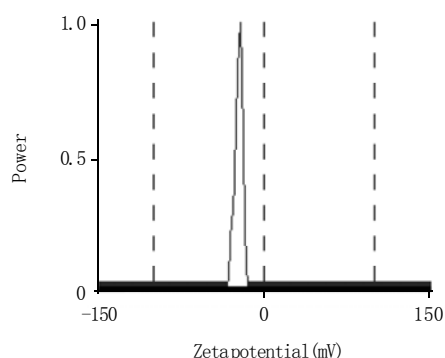


图4 蔗渣经结肠微生物酵解后上清液中微粒的 $\zeta$ 电位

Fig.4  $\zeta$  potential of sugar cane bagasse particles after fermented by colon bacteria

液中微粒的 $\zeta$  (Zeta) 电位为 $-34.29 \pm 1.73\text{mV}$ ，单峰，半峰宽为 $4.46 \pm 0.94\text{mV}$ 。结果表明酵解后微粒的电荷密度

较高。

从图4可以看出，蔗渣经结肠微生物酵解后上清液中微粒的 $\zeta$  (Zeta) 电位 $-21.77 \pm 0.57\text{mV}$ 。单峰，半峰宽为 $2.97 \pm 0.17\text{mV}$ 。结果也表明微粒有较高的电荷密度。

### 3 结 论

卡拉胶和蔗渣分别是水溶性的和水不溶性的膳食纤维。两种膳食纤维在体外被结肠微生物酵解后，都能产生基本特性较一致的微粒，表现在粒径分布相对集中。其中卡拉胶酵解后的微粒平均直径小于蔗渣，微粒的 $\zeta$  (Zeta) 电位低于蔗渣。

### 参考文献：

- [1] 徐仁应. 膳食纤维与癌肿[J]. 中国临床营养杂志, 2002, 10(1): 51-53.
- [2] ANDOH A, TSUJIKAWA T, FUJIYAMA Y, et al. Role of dietary fiber and short-chain fatty acids in the colon[J]. Curr Pharm Des, 2003, 9(4): 347-358.
- [3] TOBACMAN J K. Review of harmful gastrointestinal effects of carrageenan in animal experiments[J]. Environ Health Perspect, 2001, 109(10): 983-994.
- [4] 张宁, 欧仕益, 张璟, 等. 麦麸发酵副产品清除重金属离子汞的研究[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(12): 52-54.
- [5] LUPTON J R. Microbial degradation products influence colon cancer risk: the butyrate controversy[J]. J Nutr, 2004, 134(2): 479-482.
- [6] 欧仕益. 膳食纤维与癌肿发生的关系[J]. 中药材, 2001, 24(1): 67-69.
- [7] 高尧来, 温其标. 超微粉体的制备及其在食品中的应用前景[J]. 食品科学, 2002, 23(5): 157-160.
- [8] 陈军, 尤政. 激光散射理论及其在计量测试中的应用[J]. 激光技术, 1996, 20(6): 359.
- [9] 彭玉鸽, 黄耀熊, 陈光炜, 等. 激光散射研究絮凝剂的分子结构与性能[J]. 暨南大学学报: 自然科学版, 2002, 23(3): 84-88.

## 信息

## 美科学家发现热带白蚁可分泌用于生产生物燃料的酶

美国科学家近日发现，热带白蚁体内微生物分泌的酶可将植物纤维素转化为糖类，而这些糖类在发酵后能够成为生物燃料。这意味着人们在清洁、可再生燃料的探所上再进一步。

据法新社报道，美国一个研究小组日前在英国《Nature》杂志上发表论文说，中非一种白蚁的后肠中“可能藏有微生物金矿”，这些微生物能分泌出酶，使白蚁顺利分解食入的木材纤维，将木聚合物转化为糖类，从而获得营养。

研究人员表示，这种藏身于白蚁下半身的酶十分宝贵，可以用来制造新一代生物燃料，替代有污染、价格昂贵并带来地缘政治风险的化石燃料。

目前，研究小组正在将一部分微生物的遗传密码进行排序和分析，希望仿照白蚁的微型生物反应器进行工业生产。

据报道，目前人们所使用的生物燃料主要来自玉米和蔗糖等作物，原理是利用酶、发酵和蒸馏等方式使作物中的淀粉转化为乙醇。新一代生物燃料将使用粮食以外的植物纤维素材料，如木屑和稻草；但是，碍于成本和复杂性，这些新的加工方法很难实现大规模生产。