

几种消化抗性淀粉体外厌氧发酵前后的结构变化*

谢涛¹ 曾红华¹ 汪婕² 易翠萍²

(1. 湖南工程学院化学化工学院, 湘潭 411104; 2. 长沙理工大学化学与生物工程学院, 长沙 410015)

摘要: 制取了绿豆、马铃薯、锥栗和板栗消化抗性淀粉,并对它们体外厌氧发酵前、后肠道菌群及其结构的变化进行了研究。结果表明:4种消化抗性淀粉对双歧杆菌和乳酸杆菌都有明显的增殖作用,对大肠杆菌有显著抑制作用,对产气荚膜梭菌有较强抑制作用,对粪肠球菌、梭状杆菌、兼性细菌无明显影响。发酵液总酸度增大,说明4种消化抗性淀粉能被肠道微生物发酵利用。4种消化抗性淀粉经发酵后,平均聚合度降低较明显,但具有更大的比表面积和密度,这种结构变化可能会使其吸附能力增加,有利于其他益生作用的发生。发酵后4种消化抗性淀粉的晶型均变为A型,且微晶度降低。

关键词: 消化抗性淀粉 体外厌氧发酵 结构变化

中图分类号: TS235.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)08-0236-05

引言

抗性淀粉作为一种新型的益生元制剂,具有来源广泛、制备工艺简单、口感好等优点,在国外已被广泛研究^[1-3]。Morais等研究了抗性淀粉对猪肠道吸收钙、铁、锌离子的影响,结果表明抗性淀粉明显促进了猪肠道对钙离子和铁离子的吸收^[4]。Bird等证实抗性淀粉有助于短链脂肪酸的生成,影响肠道细菌的生长^[5]。Cummings等研究抗性淀粉在人体大肠的消化和生理特性,结果表明抗性淀粉增加了粪便湿重,促进了短链脂肪酸的生成,而且大部分抗性淀粉在大肠内被消化吸收^[6]。Yamada等研究富含抗性淀粉的面包对人体餐后血糖的影响,结果显示富含抗性淀粉的面包具有预防糖尿病,可以作为一个有效的食疗方法^[7]。但是,究竟是抗性淀粉还是消化抗性淀粉(经消化道酶作用后的产物)在其益生作用过程中发挥更为重要的作用,很少引起国内外学者的普遍关注^[8-10]。

本文采用体外厌氧发酵实验对绿豆、马铃薯、锥栗和板栗消化抗性淀粉的体外厌氧培养后的结构变化进行研究,以期探讨消化抗性淀粉在抗性淀粉益生作用过程中结构变化及功能。

1 材料与方法

1.1 材料

麦康凯琼脂培养基(大肠杆菌)、甘露醇氯化钠

琼脂培养基(双歧杆菌)、LAMVAB琼脂培养基(乳酸杆菌)、麦芽糖琼脂培养基(粪肠球菌)、亚硫酸盐-环丝氨酸琼脂培养基(梭状杆菌)、甘露醇琼脂培养基(产气荚膜梭菌)、需氧-厌氧菌琼脂培养基购自美国Life Tech公司;耐热 α -淀粉酶、糖化酶、胃蛋白酶、胰酶-5.0购自美国Sigma公司;其他试剂均为分析纯。

1.2 消化抗性淀粉制备

制备:用蒸馏水配制质量分数30%的淀粉乳液,调节pH值为6.0,沸水浴30 min后,121℃高温、高压处理40 min。冷却,4℃放置24 h。重复高温、高压和冷却步骤,80℃干燥,粉碎过100目筛得粗抗性淀粉。

纯化:取粗抗性淀粉用耐热 α -淀粉酶在70℃水解1 h,加入过量糖化酶,55℃水解2 h,离心(3 000 r/min,30 min),水洗离心多次,最后用体积分数95%乙醇清洗、干燥、粉碎,过200目筛,得纯抗性淀粉。

消化:纯抗性淀粉参照文献[11]的方法进行消化处理。消化后的残余沉淀干燥,粉碎过200目筛制得消化抗性淀粉。

1.3 培养基

MRS基础培养基:蛋白胨10 g,肉膏10 g,酵母膏5.0 g,柠檬酸二铵2.0 g,葡萄糖20.0 g,吐温-80 1.0 mL,乙酸钠5.0 g,磷酸氢二钾2.0 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.58 g, $MnSO_4 \cdot H_2O$ 0.189 g,蒸馏水1 000 mL,pH

收稿日期:2013-08-03 修回日期:2013-09-07

* 湖南省自然科学基金资助项目(11JJ6009)和国家级大学生创新创业训练计划资助项目(教高司函[2013]8号)

作者简介:谢涛,教授,博士,主要从事再生资源与食品、生物化工研究,E-mail:xt1105@aliyun.com

值 6.2 ~ 6.6。

改良 MRS 培养基: 以质量分数 2% 的消化抗性淀粉取代基础培养基中的葡萄糖作为碳源。

选择性培养基: 大肠杆菌、双歧杆菌、乳酸杆菌、粪肠球菌、梭状杆菌、产气荚膜梭菌、兼性细菌。

1.4 体外厌氧发酵

取年龄 23 ~ 31 岁健康男子(此前至少 3 个月未注射抗生素, 没有预先服用已知的益生元或益生菌, 没有胃肠病史)的粪便, 将粪使用磷酸盐缓冲溶液(PBS)制成均匀的悬浮液。取 12 个 50 mL 的锥形瓶, 设 3 个平行, 每个装入 20 mL 改良 MRS 培养基, 于 121°C, 10⁵ Pa 灭菌 20 min 后, 每个锥形瓶接入等量已多次用 MRS 培养基活化的粪便培养物, 密封, 37°C 厌氧培养至 10、20、30 h 分别取样, 用于肠道微生物菌群组成和总酸度的测定分析。

1.5 肠道菌群组成分析

取样品液 1 mL, 用生理盐水稀释一定百分比后涂布于选择性平板上, 于 37°C 厌氧培养 48 ~ 72 h 后, 使用全自动菌落分析仪计数。

1.6 发酵液总酸度的测定

参照 GB/T 12456—2008 法测定每份发酵液的总酸度, 并以乳酸含量表示。

1.7 消化抗性淀粉与发酵残余物结构测定

取 10 mL 发酵液, 离心(15 min, 3 000 g), 沉淀用 10 mL 蒸馏水清洗 3 次后干燥, 粉碎过 100 目筛,

这些发酵残余物称为发酵消化抗性淀粉。采用碘吸收法测定发酵前后消化抗性淀粉的平均聚合度^[12], 扫描电子显微(SEM)分析参照文献[13]的方法; X-射线衍射(XRD)分析参照文献[11]的方法。

所有数据为 3 个平行实验的平均值, 采用 SPSS 20.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 消化抗性淀粉对肠道微生物生长的影响

以不添加消化抗性淀粉为对照, 在 10、20、30 h 取样, 测定 4 种消化抗性淀粉对肠道菌群生长的影响结果见表 1。当发酵至第 30 h 时, 各个菌株的浓度出现下降, 这是由于 30 h 时细菌生长已达衰老期, 导致活细胞数目减少。在发酵 20 h 和 30 h 后, 4 种消化抗性淀粉对双歧杆菌和乳酸杆菌都有明显的增殖作用($P < 0.01$), 对大肠杆菌有明显的抑制作用($P < 0.01$), 对产气荚膜梭菌有较强的抑制作用($0.01 < P < 0.05$), 对粪肠球菌、梭状杆菌、兼性细菌无明显影响($P > 0.05$)。绿豆、马铃薯、锥栗和板栗的消化抗性淀粉比其相应的抗性淀粉对双歧杆菌、乳酸杆菌增殖效果更加显著, 对产气荚膜菌的抑制作用也更强些($0.01 < P < 0.05$), 说明抗性淀粉经消化道酶及其环境条件的作用是其发挥益生作用所必需的, 即消化抗性淀粉具有更好的益生作用, 这与文献[7,9]报道的结果一致。

表 1 几种消化抗性淀粉对肠道菌群生长的影响

Tab. 1 Effect of several digested resistant starches on intestinal bacteria

淀粉种类	时间/h	双歧杆菌	乳酸杆菌	粪肠球菌	大肠杆菌	梭状杆菌	产气荚膜梭菌	兼性细菌
对照	10	8.37 ± 0.37	8.55 ± 0.21	8.57 ± 0.22	7.63 ± 0.41	9.19 ± 0.33	5.32 ± 0.19	8.54 ± 0.32
	20	10.30 ± 0.20	10.08 ± 0.47	11.09 ± 0.85	8.08 ± 0.29	11.69 ± 0.82	11.34 ± 0.15	12.81 ± 0.41
	30	5.32 ± 0.13	6.43 ± 0.31	8.62 ± 0.26	6.65 ± 0.33	8.37 ± 0.32	9.04 ± 0.17	8.47 ± 0.18
绿豆消化抗性淀粉	10	8.44 ± 0.34	8.72 ± 0.20	8.45 ± 0.30	4.02 ± 0.20	8.54 ± 0.15	5.36 ± 0.21	8.28 ± 0.23
	20	13.60 ± 0.28	12.94 ± 0.91	12.05 ± 0.29	1.86 ± 0.17	11.52 ± 0.48	9.06 ± 0.43	12.10 ± 0.15
	30	8.46 ± 0.14	8.39 ± 0.43	8.84 ± 0.17	0.00 ± 0.00	7.71 ± 0.18	8.53 ± 0.35	8.08 ± 0.23
马铃薯消化抗性淀粉	10	8.29 ± 0.08	8.35 ± 0.26	8.67 ± 0.51	4.21 ± 0.21	9.27 ± 0.27	5.08 ± 0.16	8.60 ± 0.31
	20	14.27 ± 0.11	13.93 ± 0.81	11.21 ± 0.39	1.93 ± 0.09	12.15 ± 0.63	9.28 ± 0.38	14.34 ± 0.52
	30	8.68 ± 0.35	8.42 ± 0.48	8.82 ± 0.07	0.00 ± 0.00	6.85 ± 0.22	6.00 ± 0.09	7.66 ± 0.11
锥栗消化抗性淀粉	10	8.16 ± 0.10	8.28 ± 0.37	8.44 ± 0.30	3.80 ± 0.10	8.67 ± 0.11	4.99 ± 0.16	8.74 ± 0.31
	20	14.41 ± 0.38	14.62 ± 0.74	10.80 ± 0.51	1.77 ± 0.09	11.03 ± 0.36	9.11 ± 0.27	12.74 ± 0.53
	30	8.49 ± 0.27	8.55 ± 0.42	8.96 ± 0.26	0.00 ± 0.00	6.87 ± 0.29	7.68 ± 0.39	7.82 ± 0.07
板栗消化抗性淀粉	10	8.27 ± 0.16	8.64 ± 0.52	8.35 ± 0.15	3.93 ± 0.11	8.82 ± 0.15	5.24 ± 0.37	8.63 ± 0.14
	20	14.36 ± 0.45	13.89 ± 0.56	10.86 ± 0.19	1.68 ± 0.08	11.22 ± 0.46	9.07 ± 0.28	12.65 ± 0.54
	30	8.56 ± 0.23	8.31 ± 0.09	8.79 ± 0.50	0.00 ± 0.00	7.12 ± 0.24	7.43 ± 0.13	6.94 ± 0.16

2.2 发酵液的酸度分析

发酵液的总酸度在一定程度上代表了益生菌尤其是双歧杆菌和乳酸杆菌的增殖情况, 双歧杆菌和乳酸杆菌的增殖会促进丙酸、丁酸、乳酸等合成^[14]。

表 2 为添加不同消化抗性淀粉发酵 10、20 和 30 h 所测得的总酸度(以乳酸值表示)。随着发酵时间的延长, 与对照相比, 各种消化抗性淀粉的发酵液总酸度有所增大($0.01 < P < 0.05$), 说明 4 种消化抗

性淀粉被肠道益生菌发酵利用过程中产生的短链脂肪酸数量增多,这在文献[15]中也有报道。

表2 几种消化抗性淀粉发酵液的总酸度(以乳酸表示)

淀粉种类	时间/h		
	10	20	30
对照	10.80 ± 0.32	11.16 ± 0.37	11.52 ± 0.40
绿豆消化抗性淀粉	14.26 ± 0.21	14.40 ± 0.27	16.20 ± 0.57
马铃薯消化抗性淀粉	13.68 ± 0.19	14.33 ± 0.51	14.80 ± 0.49
锥栗消化抗性淀粉	13.14 ± 0.17	13.39 ± 0.43	13.82 ± 0.38
板栗消化抗性淀粉	13.36 ± 0.27	13.72 ± 0.38	14.11 ± 0.33

2.3 发酵后消化抗性淀粉超微结构的变化

绿豆、马铃薯、锥栗和板栗消化抗性淀粉发酵前、后的超微结构见图1。从图1a、1c可看出,绿豆和马铃薯消化抗性淀粉的微观结构与消化前相比,

片状物增多、增大且大小趋于均一,它们堆积形成的片层结构排列更加规则。同样,经消化后的锥栗和板栗抗性淀粉,其表面结构发生了更大的变化,它们的表面布满了许多蓬松堆积且大小不一的薄片(图1e、1g)。比较图1b与图1a、图1d与图1c可以看出,绿豆和马铃薯发酵后消化抗性淀粉表面的片层结构变小,其表面更为粗糙多洼,且堆积变得疏松。由图1f、1h表明,发酵后锥栗和板栗消化抗性淀粉的微观结构,与其发酵前的消化抗性淀粉(图1e、1g)相比,原有的薄片结构进一步细化成纤维丝状,且堆积方式相对变得致密些。因此,经体外厌氧发酵后,4种消化抗性淀粉的微观结构发生了很大变化,与发酵后抗性淀粉的结构相比(照片未列出),发酵后消化抗性淀粉既具有较大的比表面积又具有一定的密度,这种结构变化可能会使其吸附能力增加,有利于其它益生作用的发生。

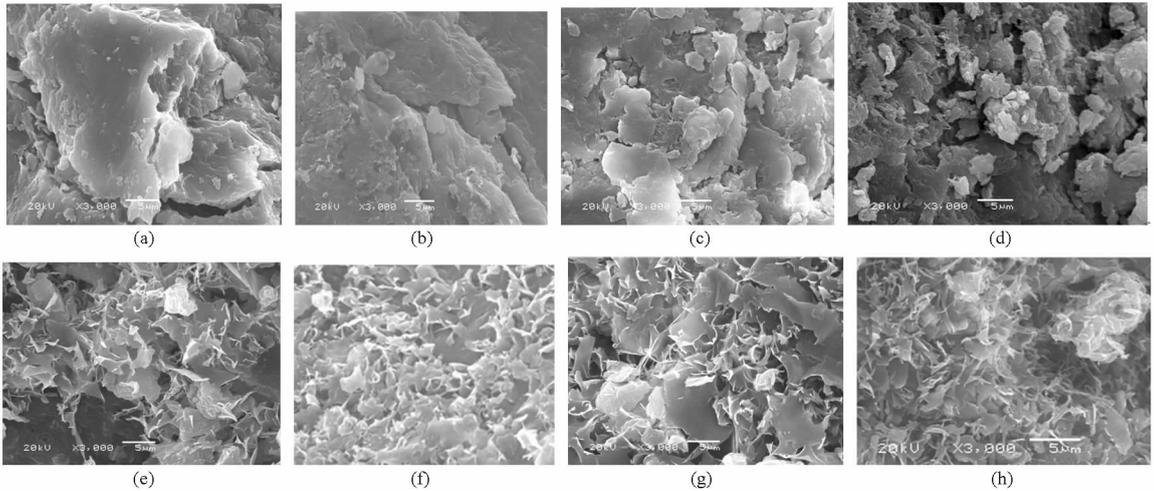


图1 几种消化抗性淀粉发酵前后的超微结构(放大3000倍)

Fig.1 Ultrastructures of several digested resistant starches before and after fermentation (3000 ×)

(a) 绿豆消化抗性淀粉 (b) 绿豆发酵消化抗性淀粉 (c) 马铃薯消化抗性淀粉 (d) 马铃薯发酵消化抗性淀粉
(e) 锥栗消化抗性淀粉 (f) 锥栗发酵消化抗性淀粉 (g) 板栗消化抗性淀粉 (h) 板栗发酵消化抗性淀粉

2.4 发酵后消化抗性淀粉的平均聚合度变化

表3为4种消化抗性淀粉发酵前、后的平均聚合度变化。消化后抗性淀粉的聚合度比消化前降低不大($P > 0.05$),说明消化作用对抗性淀粉分子的平均聚合度影响较小,即抗性淀粉具有较强的抗消化性。发酵后消化抗性淀粉较之发酵前的平均聚合度发生了较显著的变小($0.01 < P < 0.05$),但与抗性淀粉较之原淀粉平均聚合度的降低幅度都要小得多($P < 0.01$)。

2.5 发酵后消化抗性淀粉的结晶度变化

淀粉主要由A型和B型晶体及少量V型晶体组成的混合物。图2为绿豆、马铃薯、锥栗和板栗消化抗性淀粉发酵前、后的广角X-射线衍射图谱,由

表3 几种消化抗性淀粉发酵前后的平均聚合度

Tab.3 Average degree polymerization of several digested resistant starches before and after fermentation

淀粉种类	λ_{max}/nm	平均聚合度
绿豆消化抗性淀粉	586.0 ± 1.5	68.5 ± 1.2
绿豆发酵消化抗性淀粉	582.0 ± 0.0	57.4 ± 1.5
马铃薯消化抗性淀粉	582.0 ± 0.0	64.3 ± 0.8
马铃薯发酵消化抗性淀粉	579.0 ± 1.0	51.2 ± 0.5
锥栗消化抗性淀粉	560.0 ± 1.0	44.8 ± 0.2
锥栗发酵消化抗性淀粉	551.0 ± 1.0	39.3 ± 0.1
板栗消化抗性淀粉	555.0 ± 1.0	41.6 ± 0.3
板栗发酵消化抗性淀粉	549.0 ± 1.0	31.2 ± 0.1

此计算得到的结晶参数见表4。消化抗性淀粉的结晶度较之抗性淀粉的显著降低($P < 0.01$);绿豆、马

铃薯消化抗性淀粉的晶型依旧是 B 型, 与其抗性淀粉相比, A 型比例减少、V 型比例增大 ($0.01 < P < 0.05$); 锥栗消化抗性淀粉的晶型转变为 B 型, 但 V 型仍占较大比例; 板栗消化抗性淀粉的晶型为 B 型, 与其抗性淀粉相比, A 型比例减少 ($0.01 < P < 0.05$)。从

表 2 和表 4 还可以看出, 绿豆、马铃薯、锥栗和板栗发酵消化抗性淀粉的晶型均为 A 型, 亚微晶度稳定在 20% 左右 (数据未列出), 而微晶度较之消化抗性淀粉降低 ($0.01 < P < 0.05$), 说明发酵作用也会改变消化抗性淀粉的晶型, 降低消化抗性淀粉的微晶度。

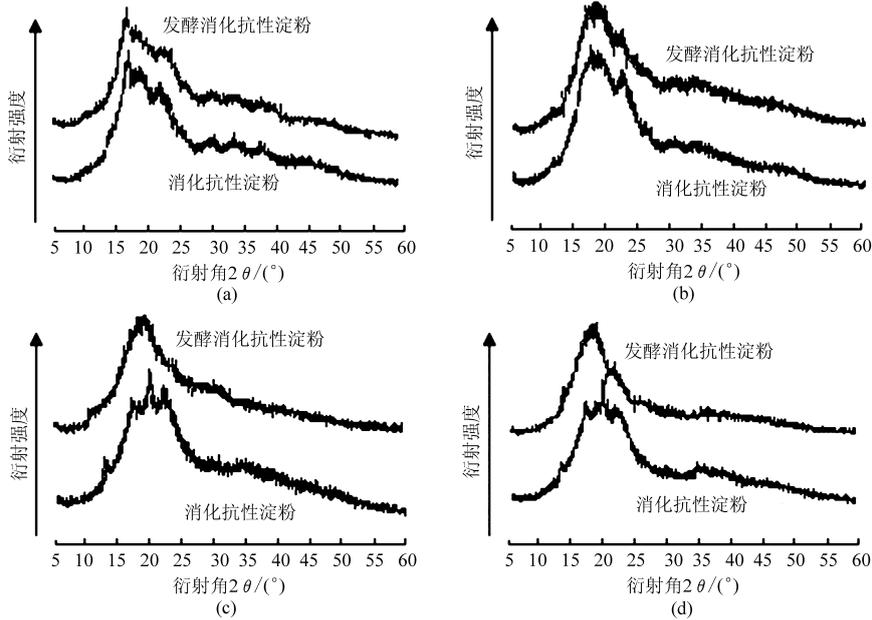


图 2 几种消化抗性淀粉发酵前后的 X-射线衍射图谱

Fig. 2 X-ray diffraction pattern of several digested resistant starches before and after fermentation

(a) 绿豆 (b) 马铃薯 (c) 锥栗 (d) 板栗

表 4 几种消化抗性淀粉发酵前后的结晶参数

Tab. 4 Crystallization parameters of several digested resistant starches before and after fermentation

%

种类	A 型百分比	B 型百分比	V 型百分比	结晶度
绿豆消化抗性淀粉	1.85 ± 0.02	4.85 ± 0.21	2.13 ± 0.09	8.84 ± 0.31
绿豆发酵消化抗性淀粉	4.29 ± 0.03	2.39 ± 0.10	0.99 ± 0.00	7.67 ± 0.25
马铃薯消化抗性淀粉	1.77 ± 0.04	3.15 ± 0.11	2.16 ± 0.12	7.08 ± 0.19
马铃薯发酵消化抗性淀粉	4.24 ± 0.10	1.18 ± 0.04	1.03 ± 0.03	6.45 ± 0.23
锥栗消化抗性淀粉	0.85 ± 0.05	4.70 ± 0.17	2.88 ± 0.07	8.42 ± 0.40
锥栗发酵消化抗性淀粉	3.60 ± 0.02	1.07 ± 0.02	1.37 ± 0.05	6.04 ± 0.26
板栗消化抗性淀粉	1.03 ± 0.03	4.19 ± 0.18	2.24 ± 0.01	7.47 ± 0.30
板栗发酵消化抗性淀粉	3.65 ± 0.09	1.19 ± 0.00	1.04 ± 0.02	5.88 ± 0.21

3 结论

(1) 与绿豆、马铃薯、锥栗和板栗抗性淀粉相比, 它们的消化抗性淀粉对双歧杆菌和乳酸杆菌的增殖作用、对大肠杆菌和产气荚膜梭菌的抑制作用都要强烈, 对粪肠球菌、梭状杆菌、兼性细菌也无明显影响。4 种消化抗性淀粉的发酵液总酸度增大, 说明它们被肠道益生菌发酵利用产生了更多的短链脂肪酸。

多、增大且大小趋于均一, 它们堆积形成的片层结构排列更加规则; 锥栗和板栗消化抗性淀粉的表面布满了许多蓬松堆积且大小不一的薄片。绿豆和马铃薯发酵后消化抗性淀粉表面的片层结构变小, 其表面更为粗糙多洼, 且堆积变得疏松; 发酵后锥栗和板栗消化抗性淀粉原有的薄片结构进一步细化成纤丝状, 且堆积方式更致密。

(3) 4 种消化抗性淀粉均为 B 型, 其中 A 型晶体比例减少。发酵后 4 种消化抗性淀粉的平均聚合度降低较明显, 它们的晶型均变为 A 型, 且微晶度降低。

(2) 绿豆和马铃薯消化抗性淀粉的片状物增

参 考 文 献

1 Fuentes-Zaragoza E, Riquelme-Navarrete M J, Sanchez-Zapata E, et al. Resistant starch as functional ingredient: a review [J]. Food Research International, 2010, 43(2): 931-942.

- 2 Perera A, Meda V, Tyler R T. Resistant starch: a review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods [J]. *Food Research International*, 2010, 43(5): 1959 – 1974.
- 3 Anthony C D, Guilhem P, Robert G G, et al. Digestion of starch: in vivo and invitro kinetic models used to characterize oligosaccharide or glucose release [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2010, 80 (2): 599 – 617.
- 4 Morais M B, Feste A, Miller R G, et al. Effect of resistant and digestible starch on intestinal absorption of calcium, iron, and zinc in infant pigs[J]. *Pediatric Research*, 1996, 39(5): 872 – 876.
- 5 Bird A R, Brown I L, Topping D L. Starches, resistant starches, the gut microflora and human health [J]. *Current Issues in Intestinal Microbiology*, 2000, 1(1): 25 – 37.
- 6 Cummings J H, Beatty E R, Kingman S M, et al. Digestion and physiological properties of resistant starch in the human large bowel [J]. *British Journal of Nutrition*, 1996, 75(5): 733 – 747.
- 7 Yamada Y, Hosoya S, Nishimura S, et al. Effect of bread containing resistant starch on postprandial blood glucose levels in humans[J]. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 2005, 69(3): 559 – 566.
- 8 Lopez-Rubio A, Flanagan B M, Gilbert E P. Molecular rearrangement of starch during in vitro digestion: toward a better understanding of enzyme resistant starch formation in processed starches[J]. *Biomacromolecules*, 2008, 9(7): 1951 – 1958.
- 9 Mutungi C, Onyango C, Rost F, et al. Structural and physicochemical properties and in vitro digestibility of recrystallized linear α -D-(1 \rightarrow 4) glucans derived from mild-acid modified cassava starch[J]. *Food Research International*. 2010, 43(4): 1144 – 1154.
- 10 Mutungi C, Onyango C, Doert T, et al. Long- and short-range structural changes of recrystallised cassava starch subjected to in vitro digestion[J]. *Food Hydrocolloids*, 2011, 25(2): 477 – 485.
- 11 谢涛,张淑远,王美桂,等. 重结晶红薯淀粉体外消化前后益生作用与结构变化[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(8): 202 – 206.
Xie Tao, Zhang Shuyuan, Wang Meigui, et al. Probiotic functions and structure changes of recrystallised sweet potato starches before and after in vitro digestion [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(8): 202 – 206. (in Chinese)
- 12 Takeda C, Takeda Y, Hizukuri S. Physicochemical properties of lily starch[J]. *Cereal Chemistry*, 1983, 60 (1): 212 – 216.
- 13 Sushil D, Ashok K S, Michael J G. Effect of cryo-milling on starches: functionality and digestibility [J]. *Food Hydrocolloids*, 2010, 24 (1): 152 – 163.
- 14 Marzorati M, Verhelst A, Luta G, et al. In vitro modulation of the human gastrointestinal microbial community by plant-derived polysaccharide-rich dietary supplements[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2010, 139(3): 168 – 176.
- 15 谢涛,张儒. 锥栗直链淀粉-脂肪酸复合物的体外消化及益生元活性[J]. *中国粮油学报*, 2012, 27(8): 20 – 23.
Xie Tao, Zhang Ru. In vitro digestion and probiotic activities of *Castanea henryi* amylose-fatty acid complexes [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2012, 27(8): 20 – 23. (in Chinese)

Structural Changes of Several Digested Resistant Starches Before and After in Vitro Anaerobic Fermentation

Xie Tao¹ Zeng Honghua¹ Wang Jie² Yi Cuiping²

(1. College of Chemical Engineering, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411104, China

2. College of Chemistry and Biology Science, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410015, China)

Abstract: Digested resistant starches of mung bean, potato, *Castanea henryi* and *Castanea mollissima* were made, and the changes of intestinal flora and their structure before and after in vitro fermentation were studied. The results showed that those digested resistant starches had good proliferative effect on bifidobacterium and lactobacillus, while they had inhibitory impact on *Escherichia coli* and *Clostridium perfringens*, and no obvious influence on *Enterococcus faecalis*, *Corynebacterium fusiforme* and facultative bacterial. The increasing total acidities of fermentation liquids demonstrated that the digested resistant starches could be used by intestinal probiotics. In comparison with the digested resistant starches before fermentation, the digested resistant starches after fermentation had more lower average degree of polymerization, but had more greater specific surface areas and densities, which might improve their absorption capacities and play important roles in the other physiological functions. Crystal types of digested resistant starches after fermentation turned into type A, and their microcrystalline degrees reduced.

Key words: Resistant starch after digestion In vitro anaerobic fermentation Structural change