

加工方式对谷物和豆类估计血糖生成指数的影响

The effects of different processing methods on expected glycemic index of cereals and legumes

崔亚楠 张 晖 王 立 钱海峰 齐希光

CUI Ya-nan ZHANG Hui WANG Li QIAN Hai-feng QI Xi-guang

(江南大学, 江苏 无锡 214122)

(Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:采用体外消化法研究了蒸煮、挤压、滚筒干燥 3 种加工方式对薏米、黑麦、燕麦、鹰嘴豆及花芸豆估计血糖生成指数(*eGI*)的影响。结果表明,蒸煮后谷物和豆类 *eGI* 由高到低依次为:黑麦>薏米>燕麦>花芸豆>鹰嘴豆;挤压后谷物和豆类 *eGI* 由高到低依次为:薏米>黑麦>燕麦>花芸豆>鹰嘴豆;滚筒干燥后谷物和豆类 *eGI* 由高到低依次为:薏米>黑麦>燕麦>花芸豆>鹰嘴豆。同一种谷物或豆类经蒸煮、挤压、滚筒干燥 3 种加工方式加工后其 *eGI* 由高到低依次为:滚筒干燥>挤压>蒸煮。

关键词:加工方式;谷物;豆类;估计血糖生成指数

Abstract: The effects of different processing methods (steaming, extruding and roller-drying) on *eGI* of adlay, oat, rye, colored kidney bean and chickpea were investigated. The results showed that the *eGI* of steamed samples were in the following order: rye>adlay>oat>colored kidney bean>chickpea. The *eGI* of extruded samples were in the following order: adlay>rye>oat>colored kidney bean>chickpea. The *eGI* of roller-dried samples were in the following order: adlay>rye>oat>colored kidney bean>chickpea. By different processing methods, the *eGI* of oat, colored kidney bean and chickpea were lower among five samples. The *eGI* of the same kind of cereal or legume after steaming, extruding and roller-drying were ranked from high to low as follows: roller-drying, extruding, steaming.

Keywords: processing methods; cereal; legume; *eGI*

食品经加工后,质构、营养特性、消化特性均会发生变化,因此研究不同加工方式对食品血糖生成指数的影响意义重大。Chaiwat 等^[1]对糙米饭经不同干燥介质(热空气、湿热

空气、过热蒸汽)干燥后的血糖反应进行了研究,结果表明干燥温度和干燥介质会显著影响糙米饭的干燥速率、淀粉糊化程度、直链淀粉-脂质复合物的结构及餐后血糖生成指数。Foschia 等^[2]研究了不同预处理过程对意大利面体外消化过程和估计血糖生成指数(*eGI*)的影响,结果表明粉碎使得所有样品体外消化曲线下面积显著增加,但浸渍对体外消化过程影响不明显。孙建全等^[3]研究了小麦淀粉经压热法、酶法、酸法及其复合方式处理后的抗性淀粉含量,结果表明经微波-酶法处理的小麦淀粉其抗性淀粉得率最高。但不同加工方式对天然谷物及豆类血糖生成指数的影响研究尚未见报道,为探究不同加工方式对天然谷物及豆类血糖生成指数的影响,采用体外消化法研究了蒸煮、挤压、滚筒干燥 3 种加工方式对薏米、黑麦、燕麦、鹰嘴豆及花芸豆 *eGI* 的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

薏米、黑麦、燕麦:枣庄七珍坊食品有限公司;
鹰嘴豆、花芸豆:赣州云深处农业开发有限公司;
猪胰 α -淀粉酶(290 U/mL)、淀粉转葡萄糖苷酶、胃蛋白酶、胰酶:Sigma(中国)有限公司;
乙醇:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电子天平:AB104-N 型,上海第二天平仪器厂;
电热可调温鼓风干燥箱:DHG-240L 型,上海一恒科学仪器有限公司;
不锈钢五谷杂粮磨粉机:CLF-150 型,浙江省温岭市创力药材器械厂;
低速大容量离心机:L-550 型,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;
水浴恒温振荡器:SKY-110WX 型,上海苏坤实业有限公司;
冷冻离心机:CR21G3 型,日本 HITACHI 公司;

基金项目:国家 863 计划(编号:2013AA102207)

作者简介:崔亚楠,女,硕士。

通信作者:张晖(1967—),女,江南大学教授,博士。

E-mail: zhanghui@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2017-05-04

还原糖测定仪:SGD-IV 型,山东省科学院生物研究所;
石墨消解仪:SH220N 型,海能仪器股份有限公司;
脂肪测定仪:SOX406 型,海能仪器股份有限公司;
双螺杆挤压机:FMHE36-24 型,湖南富马科食品工程技
术有限公司。

1.2 方法

1.2.1 基本成分分析

- (1) 水分含量测定:快速水分测定仪测定。
- (2) 粗蛋白含量测定:依据 GB/T 5009.5—2010 采用自动定氮仪进行测定。
- (3) 粗脂肪含量的测定:采用索氏抽提法,具体操作参照 GB/T 5009.6—2003。
- (4) 膳食纤维含量的测定:参照 GB/T 5009.88—2008。
- (5) 灰分含量的测定:参照 GB/T 50094—2010。
- (6) 可利用碳水化合物含量:按式(1)计算。
- $$ACH=100-P-F-DF-A, \tag{1}$$
- 式中:
- ACH ——可利用碳水化合物含量(干基),%;
- P ——蛋白质含量(干基),%;
- F ——脂肪含量(干基),%;
- DF ——膳食纤维含量(干基),%;
- A ——灰分含量(干基),%。

1.2.2 谷物粉、豆类粉挤压工艺 样品经粉碎后过 60 目筛,原料粉充分混合均匀。谷物粉通过双螺杆挤出系统进行挤压,挤压机机筒升温程序:70 ℃—90 ℃—110 ℃—130 ℃,水分添加量:25%,螺杆转速:100 r/min。待出料稳定后收集挤出物,将挤出物置于 40 ℃的恒温烘箱中干燥 12 h,干燥粉碎后密封保存,以备后续分析。

1.2.3 谷物粉、豆类粉蒸煮工艺 取原料 500 g,加入去离子水 3 000 mL,30 ℃水浴锅中放置 5 h,沥干水分,用适量去离子水洗涤 3 次。将浸泡好的原料于常压下蒸 30 min,取出后置于 40 ℃恒温烘箱中干燥 12 h,粉碎后密封保存,以备后续分析。

1.2.4 谷物粉、豆类粉滚筒干燥工艺 样品经粉碎后过 60 目筛,原料粉充分混合均匀。取 500 g 原料粉与适量去离子水充分混匀,使用胶体磨粉碎 1 min,调节滚筒干燥器转速为 100 r/min,以适当流速将物料浇于滚筒干燥器表面,收集物料,干燥粉碎后密封保存,以备后续分析。

1.2.5 体外消化法及估计血糖生成指数 参考 Wang 等^[4]的方法。准确称量含 500 mg 可利用碳水化合物的样品于测试试管中,加入 1 mL 包含猪胰 α -淀粉酶的人体唾液,15~20 s 后加入 5 mL 胃蛋白酶悬浮液,混合物在 37 ℃振荡水浴锅中

温育 30 min,用 5 mL 0.02 mol/L 的氢氧化钠中和,随后加入 25 mL 0.2 mol/L 的醋酸钠缓冲液,加入 5 mL 胰酶,继续在 37 ℃振荡水浴锅中温育。于 20,30,60,90,120,180 min 分别取 1 mL 水解液,沸水浴灭酶,用还原糖测定仪测定其葡萄糖含量并按式(2)计算碳水化合物水解率。以葡萄糖为标准参考物,参考 Goni 等^[5]的方法按式(3)计算样品 eGI 。

$$CH=\frac{G\times 0.9}{500}\times 100\%, \tag{2}$$

$$eGI=0.549\times \frac{AUC}{AUSC}\times 100+39.71, \tag{3}$$

式中:

CH ——碳水化合物水解率,%;

G ——水解液中葡萄糖释放量,mg;

eGI ——估计血糖生成指数;

AUC ——不同谷物、豆类消化曲线下面积;

$AUSC$ ——葡萄糖消化曲线下面积。

1.2.6 数据统计与分析 所有数据均重复测定 3 次,并采用 SPSS 19.0 和 Origin 8.0 对数据进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 蒸煮对谷物和豆类 eGI 的影响

原谷物和豆类的蛋白质及脂肪含量见表 1,蒸煮后谷物和豆类中蛋白质、脂肪、灰分、膳食纤维和可利用碳水化合物含量见表 2。与原谷物和豆类相比,蒸煮后谷物和豆类蛋白质及脂肪含量均下降。蛋白质含量下降是因为在预处理过程中,部分水溶性蛋白质随浸泡液的丢弃而流失。脂肪含量下降是因为在蒸煮过程中,淀粉颗粒结构被破坏,直链淀粉受热溶出,并与脂肪酸形成直链淀粉—脂肪复合物从而使脂肪含量下降。

蒸煮后薏米、黑麦、燕麦、鹰嘴豆、花芸豆的体外消化曲线和 eGI 分别见图 1、表 3。蒸煮后谷物和豆类 eGI 由高到低依次为:黑麦>薏米>燕麦>花芸豆>鹰嘴豆。Parchure 等^[6]比较了不同加工工艺对玉米淀粉中抗性淀粉生成量的

表 1 谷物和豆类蛋白质、脂肪含量		
Table 1	Protein and fat composition of cereals and legumes	% DB
样品	蛋白质	脂肪
薏米	17.30±0.49	6.74±0.00
黑麦	19.86±0.54	1.87±0.03
燕麦	16.00±1.57	7.17±0.02
鹰嘴豆	25.52±0.67	7.14±0.12
花芸豆	25.20±2.63	1.61±0.01

表 2 蒸煮后谷物和豆类主要成分分析					
Table 2	Chemical composition of steamed cereals and legumes				
样品	蛋白质	脂肪	灰分	膳食纤维	可利用碳水化合物
蒸薏米	15.74±0.43	4.93±0.02	1.47±0.01	4.02±0.09	73.84±0.51
蒸黑麦	15.66±0.52	1.62±0.04	1.36±0.01	8.79±0.19	72.57±0.66
蒸燕麦	14.37±0.38	6.99±0.06	1.65±0.22	4.45±0.02	72.54±0.53
蒸鹰嘴豆	23.33±0.69	6.98±0.03	2.91±0.05	16.33±0.17	50.45±0.42
蒸花芸豆	22.57±0.49	1.44±0.05	3.27±0.11	20.31±0.51	52.41±0.33

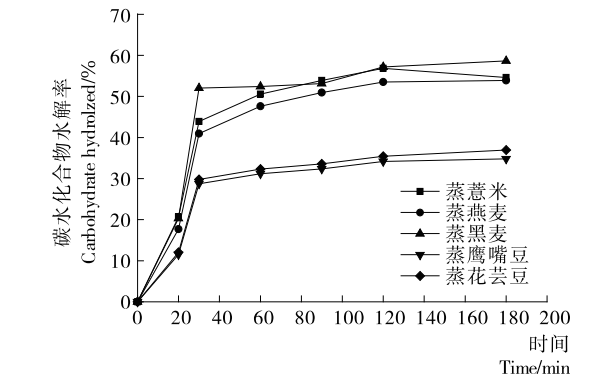


图 1 蒸煮后谷物和豆类体外消化进程

Figure 1 In vitro hydrolysis kinetics of steamed cereals and legumes

表 3 蒸煮后谷物和豆类估计血糖生成指数	
Table 3 Expected glycemic index of steamed cereals and legumes	
样品	估计血糖生成指数
蒸薏米	70.15
蒸燕麦	68.54
蒸黑麦	71.33
蒸鹰嘴豆	58.43
蒸花芸豆	59.21

表 4 挤压后谷物和豆类主要成分分析	
Table 4 Chemical composition of extured cereals and legumes	
样品	蛋白质
挤压薏米	16.79±0.33
挤压黑麦	19.54±0.62
挤压燕麦	15.47±0.38
挤压鹰嘴豆	25.04±0.31
挤压花芸豆	24.54±0.16
样品	脂肪
挤压薏米	3.06±0.12
挤压黑麦	1.10±0.05
挤压燕麦	5.98±0.26
挤压鹰嘴豆	6.01±0.09
挤压花芸豆	0.89±0.01
样品	灰分
挤压薏米	1.49±0.01
挤压黑麦	1.55±0.00
挤压燕麦	1.28±0.02
挤压鹰嘴豆	2.98±0.06
挤压花芸豆	3.31±0.12
样品	膳食纤维
挤压薏米	3.81±0.09
挤压黑麦	8.45±0.09
挤压燕麦	4.22±0.07
挤压鹰嘴豆	15.98±0.32
挤压花芸豆	20.03±0.48
样品	可利用碳水化合物
挤压薏米	74.85±0.41
挤压黑麦	69.36±0.56
挤压燕麦	73.05±0.33
挤压鹰嘴豆	49.99±0.47
挤压花芸豆	51.23±0.29

表 5 挤压后谷物和豆类估计血糖生成指数

Table 5 Expected glycemic index of extured cereals and legumes

样品	估计血糖生成指数
挤压薏米	71.75
挤压燕麦	69.52
挤压黑麦	70.55
挤压鹰嘴豆	59.65
挤压花芸豆	60.53

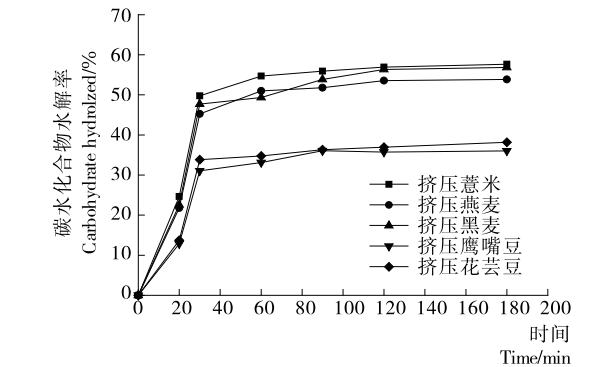


图 2 挤压后谷物和豆类体外消化进程

Figure 2 In vitro hydrolysis kinetics of extured cereals and legumes

影响,结果显示与其他加工方式相比,常压蒸煮、高压蒸煮后的玉米淀粉中抗性淀粉含量最高。Mangala 等^[7]研究了不同加工工艺对大米淀粉和粳子淀粉中抗性淀粉含量的影响,结果表明经反复高压蒸汽—冷却处理所得淀粉的抗性淀粉含量最高,与 Ranhotra 等^[8]和 Szczodrak 等^[9]的研究结果一致。说明蒸煮有利于提高抗性淀粉含量,降低淀粉消化速率,因此蒸煮后谷物和豆类 *eGI* 较低。同时蒸煮工艺的预处理过程除去了原料中的可溶性糖,这也可以降低谷物及豆类 *eGI*。

2.2 挤压对谷物和豆类 *eGI* 的影响

挤压后谷物和豆类中蛋白质、脂肪、灰分、膳食纤维和可利用碳水化合物含量见表 4。与原谷物和豆类相比,挤压后谷物和豆类脂肪含量下降,且较蒸煮谷物及豆类低。说明与蒸煮相比,挤压更有利于谷物和豆类中淀粉脂肪复合物的形成。与原谷物和豆类相比,挤压后谷物和豆类蛋白质含量略低,但较蒸煮谷物及豆类高,这是由蒸煮预处理过程中损失的水溶性蛋白质造成的。

挤压后薏米、黑麦、燕麦、鹰嘴豆、花芸豆的体外消化曲线和 *eGI* 分别见图 2、表 5。挤压后 5 种原料 *eGI* 由高到低依次为:薏米>黑麦>燕麦>花芸豆>鹰嘴豆。与蒸煮相

比,挤压后谷物和豆类 *eGI* 略高,可能是蒸煮工艺预处理过程除去了原料中的可溶性糖。

2.3 滚筒干燥对谷物和豆类 *eGI* 的影响

滚筒干燥后谷物和豆类中蛋白质、脂肪、灰分、膳食纤维和可利用碳水化合物含量见表 6。与原谷物和豆类相比,滚筒干燥后谷物和豆类脂肪含量下降。同一种谷物或豆类经蒸煮、挤压、滚筒干燥加工后其脂肪含量由低到高依次为:挤压<滚筒干燥<蒸煮。说明在蒸煮、挤压、滚筒干燥 3 种加工方式中,挤压可使原料在糊化过程中生成更多的淀粉-脂肪复合物。与原谷物和豆类相比,滚筒干燥后谷物和豆类蛋白质含量下降,这是因为滚筒干燥预处理过程可能会损失部分水溶性蛋白质。

滚筒干燥后薏米、燕麦、黑麦、鹰嘴豆、花芸豆的体外消化曲线和 *eGI* 分别见图 3、表 7。滚筒干燥后 5 种原料 *eGI* 由高到低依次为:薏米>黑麦>燕麦>花芸豆>鹰嘴豆。与蒸煮、挤压相比,同一种谷物或豆类经滚筒干燥加工后其 *eGI* 最高。这可能是蒸煮工艺有利于抗性淀粉的形成,且其预处理过程除去了原料中的可溶性糖;而与滚筒干燥相比,挤压更有利于谷物和豆类中淀粉-脂肪复合物的形成,可能是挤压作用使甘油三脂部分水解,产生单甘油和游离脂肪酸,这 2 种产物会同直链淀粉形成复合物,淀粉-脂肪复合物

表 6 滚筒干燥后谷物和豆类主要成分分析

Table 6 Chemical composition of roller-dried cereals and legumes %DB

样品	蛋白质	脂肪	灰分	膳食纤维	可利用碳水化合物
滚筒干燥薏米	16.67±0.43	3.52±0.08	1.52±0.00	3.62±0.11	74.67±0.51
滚筒干燥黑麦	19.18±0.72	1.15±0.07	1.41±0.02	7.05±0.15	71.21±0.86
滚筒干燥燕麦	15.40±0.27	6.78±0.21	1.32±0.03	2.78±0.10	73.72±0.43
滚筒干燥鹰嘴豆	24.25±0.11	6.27±0.10	2.97±0.09	15.16±0.42	51.35±0.28
滚筒干燥花芸豆	23.87±0.66	1.31±0.00	3.30±0.14	19.97±0.15	51.55±0.52

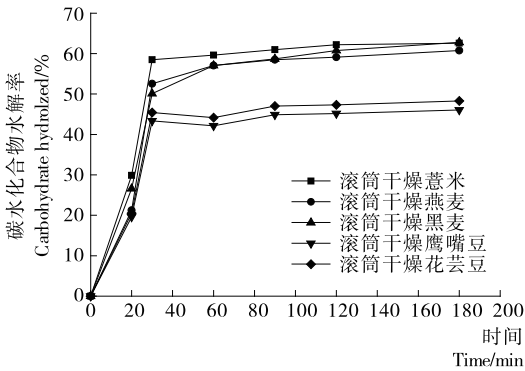


图 3 滚筒干燥后谷物和豆类体外消化进程

Figure 3 In vitro hydrolysis kinetics of roller-dried cereals and legumes

表 7 滚筒干燥后谷物和豆类估计血糖生成指数

Table 7 Expected glycemic index of roller-dried cereals and legumes

样品	估计血糖生成指数
滚筒干燥薏米	74.97
滚筒干燥黑麦	73.60
滚筒干燥燕麦	73.01
滚筒干燥鹰嘴豆	65.39
滚筒干燥花芸豆	66.62

可使淀粉消化速率显著下降^[10-11],从而降低 *eGI*。

比较经蒸煮、挤压或滚筒干燥加工后薏米、燕麦、黑麦、鹰嘴豆、花芸豆的体外消化特性及 *eGI* 可知:同一种谷物或豆类经蒸煮、挤压、滚筒干燥 3 种加工方式加工后其 *eGI* 由高到低依次为:滚筒干燥>挤压>蒸煮;经蒸煮、挤压或滚筒干燥加工后,燕麦、鹰嘴豆、花芸豆 *eGI* 在所选 5 种原料中均较低,故可将燕麦、鹰嘴豆和花芸豆作为原料用于研发低血糖生成指数食品。

3 结论

研究蒸煮、挤压、滚筒干燥 3 种加工方式对薏米、黑麦、燕麦、鹰嘴豆、花芸豆 *eGI* 的影响。结果表明,同一种谷物或豆类经蒸煮、挤压或滚筒干燥加工后其脂肪含量由低到高依次为:挤压<滚筒干燥<蒸煮。说明在蒸煮、挤压、滚筒干燥 3 种加工方式中,挤压可使原料在糊化过程中生成更多的淀粉-脂肪复合物。同一种谷物或豆类经蒸煮、挤压、滚筒干燥 3 种加工方式加工后其 *eGI* 由高到低依次为:滚筒干燥>挤压>蒸煮,蒸煮有利于降低加工后产品的估计血糖生成指数。

食品经加工后,营养特性和消化特性均会发生变化。不同加工方式对食品消化速率及 *eGI* 的影响不同,可能是同一谷物或豆类经不同加工方式加工后其抗性淀粉、淀粉-脂肪复合物生成量不同,其机理有待深入研究。食品加工方式繁多,其它加工方式对于谷物和豆类中主要成分和 *eGI* 的影响亦亟待研究。

参考文献

[1] RATTANAMECHAIKUL C, SOPONRONNARIT S, PRACHAYAWARAKORN S. Glycemic response to brown rice treated by different drying media [J]. Journal of Food Engineering, 2014, 122(2): 48-55.

[2] FOSCHIA M, PERESSINI D, SENSIDONI A. Mastication or mastication; does the preparation of sample affect the predictive in vitro glycemic response of pasta[J]. Starch-Starke, 2014, 66 (11/12): 1 096-1 102.

[3] 孙建全, 王剑非, 邵秀芝, 等. 不同热处理方式对小麦抗性淀粉形成的影响[J]. 江苏农业科学, 2010(6): 421-423.

[4] WALLIS K. Resistant starch a natural functional food ingredient [J]. Food Australia, 2004, 56(6): 242-242.

[5] GONI I, GARCIA-A A, SAURA-C F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index[J]. Nutrition Research, 1997, 17(3): 427-437.

[6] PARCHURE A A, KULKARNI P R. Effect of food processing treatments on generation of resistant starch [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 1997, 48(4): 257-260.

[7] MANGALA S L, MALLESHI N G, THARANATHAN R N. Resistant starch from differently processed rice and ragi(finger millet)[J]. European Food Research and Technology, 1999, 209 (1): 32-37.

[8] RANHOTRA G S, GELROTH J A, ASTROTH J A, et al. Effect of resistant starch on intestinal responses in rats [J]. Cereal Chemistry, 1991, 68(2): 130-132.

[9] SZCZODRAK J, POMERANZ Y. Starch and enzyme-resistant starch from high-amylose barley[J]. Cereal Chemistry, 1991, 68 (6): 589-596.

[10] SOONG Y Y, GOH H J, HENRY C, et al. The influence of saturated fatty acids on complex index and in vitro digestibility of rice starch [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2013, 64(5): 641-647.

[11] 徐学明. 挤压过程中的碳水化合物蛋白质和脂肪[J]. 食品与机械, 1995(5): 22-23.