江苏大学学报(自然科学版)
JOURNAL OF JIANGSU UNIVERSITY(Natural Science Edition)
2018 年 1 月 Jan. 2018
第 39 卷 第 1 期 Vol. 39 No. 1
doi: 10.3969/j.issn.1671 -7775.2018.01.008

白芸豆 α-淀粉酶抑制剂在低 *GI* 方便粥中的应用

马艳丽[1], 让一峰[1], 赵 伟[2], 杨瑞金[2]
(1. 江南大学 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 以淀粉水解率为指标,分析白芸豆 α-淀粉酶抑制剂对淀粉水解的抑制作用,并进一步对白芸豆 α-淀粉酶抑制剂对不同方便粥血糖生成指数(*GI* 值)的影响进行研究. 结果表明:随着大米粥中白芸豆 α-淀粉酶抑制剂添加量由 0% 升到 5.0%,大米粥的淀粉水解率不断下降,且其 *GI* 值由 86.63 降至 32.03;进而将白芸豆 α-淀粉酶抑制剂按 3.0% 的添加量添加到方便粥(燕麦粥、青稞粥和莲子粥)中,方便粥的 *GI* 值均降低至 55 以下,属于低 *GI* 食品范畴.

关键词: 方便粥; α-淀粉酶抑制剂; 淀粉水解率; 低血糖生成指数; 白面包
中图分类号: TS214 **文献标志码**: A **文章编号**: 1671 -7775(2018)01 -0045 -04
引文格式: 马艳丽,让一峰,赵 伟,等. 白芸豆 α-淀粉酶抑制剂在低 *GI* 方便粥中的应用[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2018,39(1):45 -48.

Application of α-amylase inhibitor from white kidney beans on instant porridge with low *GI*

MA Yanli[1], *RANG Yifeng*[1], *ZHAO Wei*[2], *YANG Ruijin*[2]
(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: With starch hydrolysis rate as index, the inhibiting effect of α-amylase inhibitor(α-AI) from white kidney beans on starch hydrolysis was investigated. The effect of α-AI on the commercially available instant porridge with high different glycemic index(*GI*) was analyzed. The results show that with the increasing of α-AI addition in rice porridge from 0% to 5%, the *GI* of rice porridge is continuously decreased from 86.63 to 32.03. The GIs of three instant porridges of oat porridge, barley porridge and lotus seed porridge are all decreased lower than 55 for adding 3% α-AI, which indicates that these types of porridge belong to low *GI* food.

Key words: instant porridge; α-amylase inhibitor; hydrolysis of starch; low glycemic index; white bread

GI(glycemic index)即血糖生成指数,反映着食物与葡萄糖相比升高人体血糖的速度和能力. *GI* 值的计算常以葡萄糖或白面包为参照食品(定 *GI* 值为 100). 在临床营养学上,*GI* 的概念主要被用于指导糖尿病人的日常饮食[1]. 低 *GI* 食品是指 *GI* 值小于 55 的食品,*GI* 值大于 70 的食品则属于高 *GI* 食品[2]. 高 *GI* 食品往往会引起人体胰岛素抵抗等疾病,而低 *GI* 食品则有助于预防和缓解Ⅱ型糖尿病、冠心病等疾病的发生和发展[3]. 在日常生活中,诸多食品如蛋糕、松饼、面包、早餐谷物、粥和馅饼等都属于高 *GI* 食品[4],因而对人们的健康存在潜在的威胁.

目前为止,降低食品 *GI* 值的方法主要有 2 种. 第 1 种是向食品中添加可溶性膳食纤维、抗性淀粉

收稿日期: 2016 -11 -23
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31522044, 31271977); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(JUSRP51406A)
作者简介: 马艳丽(1987—),女,山东德州人,博士研究生(yanli_ma@sina.cn),主要从事食品加工与配料的研究.
赵 伟(1982—),男,河北衡水人,教授,博士生导师(通信作者,zhaow@jiangnan.edu.cn),主要从事食品加工的研究.

和环糊精等. 这些添加物通过减缓肠道对碳水化合物的消化吸收速率来降低餐后血糖水平，从而降低食品 *GI* 值. 另一方面，膳食纤维在控制血糖水平的同时，也减少了血压的升高，因此降低了心血管疾病发生的风险[5]. 然而由于这些添加物味道差、无滋味，会对肠道产生一定的副作用，如胀气、绞痛等，因而难以迎合普通消费者. 第 2 种方法是向食品中添加天然来源的淀粉酶或糖苷酶抑制剂. 这些抑制剂通过抑制肠道内淀粉酶或糖苷酶的活力，延缓或阻碍碳水化合物的分解，减少葡萄糖的生成，从而降低食品 *GI* 值. 在天然抑制剂中，α 淀粉酶抑制剂（α-AI）备受青睐. 自然界中存在的 α-AI 安全性较高，在众多谷物和豆类 α-AI 中，白芸豆 α-AI 抑制活性更强，生物安全性更高，因而在防控糖尿病和肥胖症方面具有更为广阔的前景[6].

由于白芸豆 α-AI 能够阻碍肠道内 α-淀粉酶对淀粉的水解从而降低餐后血糖高峰，因而文献[7]利用白芸豆 α-AI（Phase 2）降低白面包的 *GI* 值并取得了较好的效果. 粥是我国的一种传统食物深受大家喜爱，但其 *GI* 值很高，特别不适合糖尿病人食用，因此低 *GI* 方便粥具有广阔的市场前景. 文中研究了不同 α-AI 添加量对方便粥 *GI* 值的影响，旨在为 α-AI 实际应用提供参考.

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

白芸豆淀粉酶抑制剂（α-AI，活力 >3 000 U·g^{-1}），深圳新产业健康管理有限公司；白面包，市售；方便粥（大米粥、莲子粥、青稞粥、燕麦粥），同福碗粥有限公司；胃蛋白酶，美国 Sigma-Aldrich 公司；3，5-二硝基水杨酸（DNS）、可溶性淀粉、乙酸铅和硫酸钠等试剂均为分析纯，国药集团化学试剂有限公司.

1.2 仪器与设备

还原糖自动分析仪，日本日立公司；PK-820 电热恒温水浴锅，上海精宏实验设备有限公司；UV-1100 型紫外可见分光光度计，上海美谱达仪器有限公司；DS-1 高速组织捣碎机，上海标本模型厂.

1.3 试验方法

1.3.1 白芸豆 α-AI 对大米粥 *GI* 值的影响

将白芸豆 α-AI 按不同添加量（质量分数 0%，0.5%，1.0%，2.0%，3.0%，5.0%）添加到大米粥中，然后用组织捣碎机将其磨成浆状，使粗提物与大米粥混合均匀. 所得到的大米粥样品中淀粉含量为（10.42 ± 0.47）%. 将白面包表面的硬皮拨除后浸入去离子水（质量体积比 1∶3）中，用组织捣碎机打浆，得到白面包浆液，其淀粉含量为（7.46 ± 0.90）%. 测定白面包及添加不同量白芸豆 α-AI 大米粥的 *GI* 值.

1.3.2 白芸豆 α-AI 对其他粥 *GI* 值的影响

将白芸豆 α-AI 按 0%，3.0% 的添加量分别添加到莲子粥、青稞粥和燕麦粥中，然后用组织捣碎机将其磨成浆状，使 α-AI 与方便粥混合均匀. 所得莲子粥、青稞粥和燕麦粥样品中淀粉含量分别为（11.19 ± 1.15）%，（11.46 ± 1.48）% 和（8.59 ± 1.47）%. 白面包的预处理同上节. 测定白面包及添加不同量白芸豆 α-AI 的莲子粥、青稞粥和燕麦粥的 *GI* 值.

1.4 测定方法

参照文献[8]方法测定 *GI* 值. 将样品（含淀粉 50 mg）加入到 10 mL 的 0.1 mol·L^{-1} HCl-KCl 缓冲液（pH 1.5）中，然后再加入 0.2 mL 的 1 mg·mL^{-1} 的胃蛋白酶溶液，于 40 ℃下水浴搅拌 1 h. 将水浴温度调节至 37 ℃后，先向体系中加入 15 mL PBS（pH 6.9），再加入 5 mL α-淀粉酶溶液（2.6 U），开始样品中淀粉的酶解反应. 将酶解反应于 37 ℃下持续 180 min，每 30 min 取样 1 mL. 将样液置于沸水中加热 5 min 灭酶后冷却、离心、取上清液. 采用 DNS 法测定样液中葡萄糖质量浓度. 以酶解反应时间为横坐标，以淀粉水解率为纵坐标，绘制淀粉水解曲线. 其中淀粉水解率为

$$SR = \frac{(C_t - C_0 \times 30.2 \times 0.9)}{50} \times 100\%, \quad (1)$$

式中：C_t 为 t 时刻反应体系中葡萄糖质量浓度，mg·mL^{-1}；C_0 为酶解反应开始时刻（0 min）反应体系中葡萄糖质量浓度，mg·mL^{-1}；30.2 为酶解反应初始体积，mL；0.9 为葡萄糖与淀粉的转化当量.

由于淀粉水解曲线符合一级反应方程，也即葡萄糖生成曲线符合一级反应方程[9]，因此将淀粉水解曲线转化成葡萄糖生成曲线后，按下式进行拟合计算酶解反应常数：

$$C_t - C_0 = C_\infty \times (1 - e^{-kt}), \quad (2)$$

式中：C_∞ 为最大生成葡萄糖质量浓度，mg·mL^{-1}；k 为酶解反应常数，min^{-1}.

当算得酶解反应速率常数后，按照下式计算淀粉水解曲线下面积（*AUC*）：

$$AUC = C_\infty \times (t_f - t_0) - C_\infty \times \frac{1 - e^{-k(t_f - t_0)}}{k}, \quad (3)$$

式中：t_f 为酶解反应结束时间，min；t_0 为酶解反应开始时间，min. 然后计算 *GI* 值：

$$GI = 0.862 \times H_{CI} + 8.198 = 0.862 \times \frac{AUC_{方便面}}{AUC_{白面包}} + 8.198, \quad (4)$$

式中：H_{CI}为淀粉水解指数；$AUC_{方便粥}$为方便粥 *AUC*；$AUC_{白面包}$为白面包 *AUC*.

1.5　数据分析方法

采用 SPSS17.0 软件进行 ANOVA 单因素方差分析及 Ducan′s 多重检验（$p < 0.05$）.

2　结果与分析

2.1　白芸豆 α-AI 对大米粥 *GI* 值的影响

白面包及添加不同量白芸豆 α-AI 大米粥的淀粉水解曲线如图 1 所示. 从图中可以看出，随着酶解时间的延长，淀粉水解率逐渐增大并最终趋于恒定. 白芸豆 α-AI 的添加量影响着淀粉水解率的变化趋势. 当白芸豆 α-AI 的添加量在 0.5% ~2.0% 时，淀粉水解率达到恒定的时间为 120 min. 当添加量高于 3.0% 时，淀粉水解率在酶解 90 min 时即趋于恒定. 此外，随着白芸豆 α-AI 添加量的增加，淀粉水解率也逐渐下降. 在未添加白芸豆 α-AI 时，大米粥的淀粉水解率为 56.37%，而当白芸豆 α-AI 添加量为 5.0% 时，淀粉水解率降低至 15.09%.

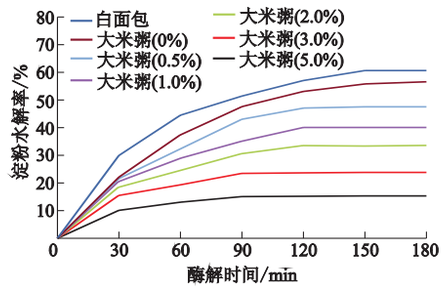


图 1　白面包及添加不同量白芸豆 α-AI 大米粥的淀粉水解曲线

表 1 为测定白面包及添加不同量白芸豆 α-AI 大米粥的 *GI* 值时的相关指标，如 C_∞，k，*AUC*，H_{CI}和 *GI* 等. 文中各样品的 C_∞ 均远小于文献[10]在测定豌豆（58.61）、鹰嘴豆（20.46）等时的测定值，可能是样品中淀粉含量较低（10.42%）. 未添加白芸豆 α-AI 的大米粥的 *GI* 值为 81.63，与文献[11]的结果接近. 随着白芸豆 α-AI 添加量的增加，大米粥的 C_∞，*AUC*，H_{CI}和 *GI* 值均逐渐降低，而 k 略有增大，表明白芸豆 α-AI 能够降低大米粥的 *GI* 值，而且随着白芸豆 α-AI 添加量的增加，*GI* 值逐渐降低. 当大米粥中白芸豆 α-AI 添加量为 3.0% 时，*GI* 值为45.10 低于 55，属于低 *GI* 值食品范畴.

表 1　白面包及添加不同量白芸豆 α-AI 大米粥的指标值

样品	C_∞	k	*AUC*	H_{CI}	*GI*
白面包	1.40	0.02	190.53	100.00	94.40
大米粥(0%)	1.31	0.02	162.30	85.18	81.63
大米粥(0.5%)	1.10	0.02	142.79	74.94	72.80
大米粥(1.0%)	0.93	0.02	126.59	66.44	65.47
大米粥(2.0%)	0.77	0.02	107.81	56.59	56.97
大米粥(3.0%)	0.55	0.03	81.57	42.81	45.10
大米粥(5.0%)	0.35	0.03	52.67	27.65	32.03

2.2　白芸豆 α-AI 对其他粥 *GI* 值的影响

白面包和添加不同量白芸豆 α-AI 燕麦粥、青稞粥、莲子粥的淀粉水解曲线如图 2 所示. 燕麦粥、青稞粥和莲子粥在添加 3.0% 白芸豆 α-AI 之后，其淀粉水解曲线均出现大致相同的变化. 淀粉水解率达到恒定的时间均由 150 min 缩短到 90 min，而且淀粉水解率均有较大降低. 未添加白芸豆 α-AI 时，燕麦粥、青稞粥和莲子粥的淀粉水解率分别为 42.74%，43.59% 和 38.61%. 添加 3.0% 白芸豆 α-AI 后，燕麦粥、青稞粥和莲子粥的淀粉水解率分别降低至 14.11%，18.26% 和 7.14%. 这一结果表明白芸豆 α-AI 能够抑制 α-淀粉酶对燕麦粥、青稞粥和莲子粥中淀粉的水解作用.

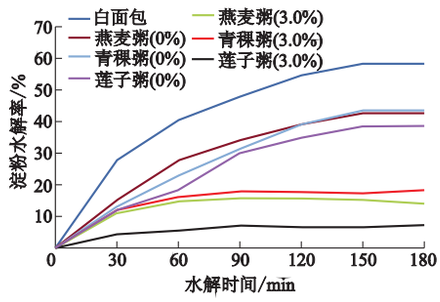


图 2　白面包和添加不同量白芸豆 α-AI 燕麦粥、青稞粥、莲子粥的淀粉水解曲线

表 2 为测定白面包及添加不同量白芸豆 α-AI 燕麦粥、青稞粥、莲子粥的 *GI* 值时的相关指标. 未添加白芸豆 α-AI 的燕麦粥、青稞粥、莲子粥，其血糖指数分别为 55.57，65.21 和 56.21，均低于未添加白芸豆 α-AI 的大米粥. 添加 3.0% 白芸豆 α-AI 后，其 *GI* 值（30.41，42.23，20.48）均低于 55，属于低 *GI* 食品范畴. 此外，燕麦粥、青稞粥、莲子粥在添加 3.0% 白芸豆 α-AI 之后，其 k 值增加幅度较大米粥大，可能是淀粉类型不同的缘故[12].

表2 白面包及添加不同量白芸豆 α-AI 燕麦粥、青稞粥、莲子粥的指标值

样品	C_∞	k	AUC	H_{CI}	GI
白面包	1.36	0.02	179.40	100.00	94.40
燕麦粥(0%)	0.82	0.02	98.58	54.95	55.57
青稞粥(0%)	1.11	0.01	118.65	66.14	65.21
莲子粥(0%)	0.96	0.01	99.92	55.70	56.21
燕麦粥(3.0%)	0.29	0.05	46.22	25.76	30.41
青稞粥(3.0%)	0.46	0.04	70.82	39.48	42.23
莲子粥(3.0%)	0.18	0.03	25.56	14.25	20.48

由于白芸豆 α-AI 在高温(>70 ℃)下会有较大的活力损失[13],因此在需要食用热的方便粥时,可以先加热方便粥,然后将其放冷至60 ℃左右后添加白芸豆 α-AI,搅拌均匀后即可食用.

3 结 论

通过探究白芸豆 α-淀粉酶抑制剂对淀粉水解率的影响进而分析其对几种方便粥(大米粥、燕麦粥、青稞粥、莲子粥)血糖指数(*GI* 值)的作用,结果表明当以3.0%的添加量将白芸豆 α-淀粉酶抑制剂加入到几种方便粥中,各方便粥的 *GI* 值均降低到低 *GI* 食品(*GI*<55)范畴,该结果可为低 *GI* 方便粥的开发提供参考.

参考文献(References)

[1] UDANI J K, SINGH B B, BARRETT M L, et al. Lowering the glycemic index of white bread using a white bean extract[J]. Nutrition Journal, 2009, 8(1): 1-5.

[2] KUMAR S B, PRABHASANKAR P. Low glycemic index ingredients and modified starches in wheat based food processing: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2014, 35(1): 32-41.

[3] BREYMEYER K L, LAMPE J W, MCGREGOR B A, et al. Subjective mood and energy levels of healthy weight and overweight/obese healthy adults on high-and low-glycemic load experimental diets[J]. Appetite, 2016, 107: 253-259.

[4] JENKINS D J A, KENDALL C W C, AUGUSTIN L S A, et al. Effect of legumes as part of a low glycemic index diet on glycemic control and cardiovascular risk factors in type 2 diabetes mellitus: a randomized controlled trial[J]. Archives of Internal Medicine, 2012, 172(21): 1653-1660.

[5] DONG J Y, ZHANG Y H, WANG P Y, et al. Meta-analysis of dietary glycemic load and glycemic index in relation to risk of coronary heart disease[J]. The American Journal of Cardiology, 2012, 109(11): 1608-1613.

[6] SONG H Z, HAN W, YAN F J, et al. Dietary phaseolus vulgaris extract alleviated diet-induced obesity, insulin resistance and hepatic steatosis and alters gut microbiota composition in mice[J]. Journal of Functional Foods, 2016, 20: 236-244.

[7] SPADAFRANCA A, RINELLI S, RIVA A, et al. Phaseolus vulgaris extract affects glycometabolic and appetite control in healthy human subjects[J]. British Journal of Nutrition, 2013, 109(10): 1789-1795.

[8] FERRER-MAIRAL A, PEÑALVA-LAPUENTE C, IGLESIA I, et al. In vitro and in vivo assessment of the glycemic index of bakery products: influence of the reformulation of ingredients[J]. European Journal of Nutrition, 2012, 51(8): 947-954.

[9] ŚWIECA M, BARANIAK B, GAWLIK-DZIKI U. In vitro digestibility and starch content, predicted glycemic index and potential in vitro antidiabetic effect of lentil sprouts obtained by different germination techniques[J]. Food Chemistry, 2013, 138(2): 1414-1420.

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

[11] REN J Y, SHI J, KAKUDA Y, et al. Comparison of the phytohaemagglutinin from red kidney bean (Phaseolus vulgaris) purified by different affinity chromatography[J]. Food Chemistry, 2008, 108(1): 394-401.

[12] SÁYAGO-AYERDI S G, TOVAR J, OSORIO-DÍAZ P, et al. In vitro starch digestibility and predicted glycemic index of corn tortilla, black beans, and tortilla-bean mixture: effect of cold storage[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(4): 1281-1285.

[13] 让一峰, 赵伟, 杨瑞金, 等. 白芸豆 α-淀粉酶抑制剂在加工和消化过程中的活性变化研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(17): 53-57.
RANG Y F, ZHAO W, YANG R J, et al. Study on activity changes of α-amylase inhibitor from white kidney beans during processing and digestion[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(17): 53-57. (in Chinese)

(责任编辑 祝贞学)