

低血糖生成指数淀粉类衍生物的研究进展

缪 铭, 江 波*, 张 涛

(江南大学 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 本文综述了近年来低血糖生成指数淀粉类衍生物的研究进展, 并简要介绍了国内外对血糖生成指数、低血糖生成指数食品的生理学功能及其淀粉类衍生物(如难消化糊精、慢消化淀粉、抗酶解淀粉、淀粉-脂质复合物、淀粉-蛋白质复合物等)方面的基本研究状况, 展望了其发展前景。

关键词: 低血糖生成指数; 淀粉类食品; 衍生物; 生理学功能

Research Drogress of Low Glycemic-index Starchy Derivatives

MIAO Ming, JIANG Bo*, ZHANG Tao

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In this paper, the process in studies on low glycemic index starchy derivatives is summarized. The glycemic index, physiological function of lowglycemic-index food and low glycemic-index starchy derivatives (including indigestible dextrin, slowly digestible starch, resistant-enzyme starch, starch-lipid complex and starch-protein conjugate) are introduced. The long-term potential development of low glycemic-index starchy derivatives is prospected.

Key words low glycemic-index starchy food derivative physiological function

中图分类号: TS236.91

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2008)04-0452-05

随着社会结构的变化、生活节奏的加快、饮食习惯和食物构成改变及社会老龄化, 人类疾病谱发生了很大转变, 慢性疾病, 如糖尿病、心血管疾病、肥胖症、高脂血症、高血压等胰岛素抵抗相关疾病比例不断上升, 已成为目前全球性重大的公共卫生问题。在这些疾病中, 尤以糖尿病发病率增长显著, 据估计, 全世界糖尿病病人约有2亿, 我国有3000万患者和4000万糖耐量降低者。预防上述疾病发生的关键在于科学合理的膳食结构。同时, 低血糖生成指数是近年才出现的一个关于淀粉营养性质的概念, Björck和Truswell等^[1-2]研究报道, 低血糖生成指数食物可以缓慢吸收、持续释放能量、有助于维持血糖稳态, 预防和治疗各种慢性疾病(如糖尿病、糖原贮积病、心脑血管疾病等)。我国居民传统的日常主食是米饭、馒头、面条等谷物食品, 淀粉作为食物的主要成分, 其“质”和“量”直接影响着血糖的调节。因此研究淀粉类食品的血糖生成指数显得尤为重要, 目前国外对这一领域的研究方兴未艾, 而国内研究较少。本文对国内外关于血糖生成

指数、低血糖生成指数食品的生理学功能及相关淀粉类衍生物方面的研究进展进行综述。

1 血糖生成指数

血糖生成指数(glycemic index, GI)由加拿大多伦多大学的营养学教授Jenkins博士等于1981年首次提出的概念^[3], 它表示当食用含50g有价值的碳水化合物(CHO)的食物后, 在一定时间内(一般为2h)体内血糖水平应答与食用相当量的葡萄糖或白面包引起的血糖应答水平的比值^[4-5], 而餐后血糖应答一般用曲线下的面积来表示, 如图1所示。GI是一个比较而言的数值, 反映了食物与葡萄糖相比升高血糖的速度和能力, 通常以葡萄糖的GI为100%。因此, 根据GI值大小可将富CHO食品划分为不同等级, GI < 55%的食物被认为是低GI食物, 在55%~70%范围之间的为中GI食物, 70%以上为高GI食物。高GI的食物, 进入胃肠道后, 消化快, 吸收完全, 使葡萄糖迅速进入血液, 血糖峰值高, 胰岛素快速升高, 导致血糖下降速度也快, 血糖波动剧烈; 低

收稿日期: 2007-04-16

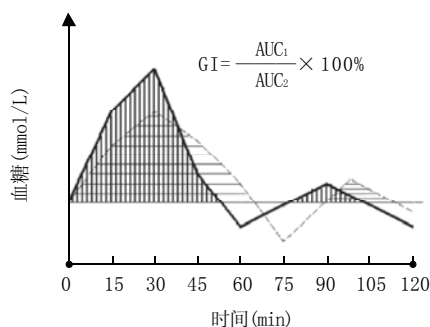
基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(20436020); 苏州市国际科技合作项目(SWH0702);

江苏省农业科技攻关项目(BE2007314)

作者简介: 缪铭(1980-), 男, 博士研究生, 主要从事利用生物技术开发新型食品和功能性配料研究。E-mail: miao_ming@126.com

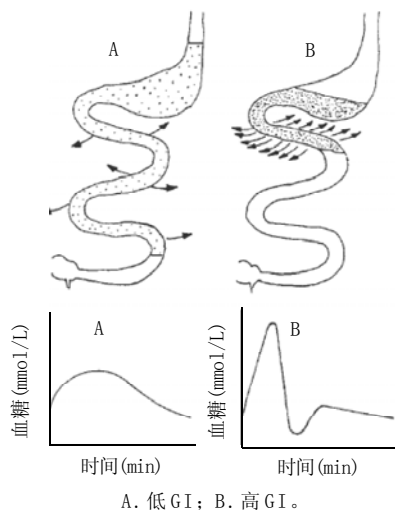
*通讯作者: 江波(1962-), 男, 教授, 博士, 主要从事食品生物技术研究。E-mail: bjiang@jnu.edu.cn

GI 的食物,在胃肠道中停留时间长,释放缓慢,葡萄糖进入血液后峰值低,下降速度慢,引起的餐后血糖反应较小,需要的胰岛素也相应较少,从而避免了血糖的剧烈波动,有利于血糖的控制(见图2)^[6]。因此,GI 这一概念提出了不同种类的CHO 有不同“质量”的新理论,即含有等量CHO 的不同食物,其消化吸收率和引起的血糖反应是不同的。同时,它代表了一种食物的生理学参数,能确切地反映食物摄入后人体的生理状态,是衡量食物引起人体餐后血糖反应的一项有效指标。



1. 含50g碳水化合物的食物引起的血糖反应曲线下的面积; 2. 同含量碳水化合物的标准食物引起的血糖反应曲线下的面积。

图1 食物血糖生成指数的计算
Fig.1 Calculation of glycemic index food



A. 低GI; B. 高GI。

图2 低GI 和高GI 的饮食对胃肠道血糖吸收和餐后血糖的影响
Fig.2 Hypothetical effect of feeding diets with a low or high glycemic index on gastrointestinal glucose absorption and postprandial blood glucose

影响食物GI 的因素很多,主要包括营养物配方和加工条件^[2,7-8]两个方面。其中营养物配方因素如下:食物种类,不同来源的食物,其GI 值不同。如豆类和一些种子类植物,由于含有植物凝血素、植酸、酶抑制剂等抗营养因子,且其植物细胞壁形成坚硬屏障,能

抵抗消化酶的作用,不易被消化吸收,所以GI 值低;淀粉的结构和含量,如直链/支链淀粉的比例、淀粉-脂质/蛋白质的相互作用、抗性淀粉与改性淀粉含量等对GI 影响很大,若直链淀粉含量高,则其餐后血糖反应低,GI 值小;食物成分,包括蛋白质、脂肪、膳食纤维、葡萄糖、果糖、乳糖等均会对GI 产生一定的影响,如脂肪和蛋白质能刺激胰岛素分泌,血糖应答下降,因此富含脂肪和蛋白质的食物GI 值低;成熟度,主要与淀粉糊化程度有关,食物经过蒸煮处理后,由于水分子的介入和热胀作用使淀粉颗粒膨胀,易于消化,GI 值高。另外,生长成熟的香蕉比青香蕉的GI 值高;其它如食物酸度(有机酸)、颗粒大小、黏度、质构、进食体积等也会影响血糖应答。加工条件,比如蒸煮时间和温度、湿度、挤压、冷却、脱水等处理均会改变食物的GI 值,使食物易于消化吸收的加工工艺会升高食物GI 值。

人体对不同食物的血糖反应不仅受食物GI 值的影响,还受食物中碳水化合物含量的影响。为了更合理选择食物,美国的营养学家Salmeron等^[9]提出了血糖负荷(glycemic load, GL)概念,它将摄入碳水化物的数量和质量结合起来,对实际提供的食物或总体膳食模式的血糖效应进行定量测定,从而可全面反映膳食碳水化合物使血糖升高的能力并弥补了GI 不能真实反映单位重量膳食的血糖效应的缺陷,计算公式为:GL/100g 食物=GI × 可利用碳水化合物%。另外,针对在食品营养评价时GI 只反映影响血糖应答的所有机制,无法反映食物在食用后的不同时间里的血糖应答情况,即不同时间段里的消化程度,Englyst等^[10]又提出了利用快吸收利用葡萄糖(rapidly available glucose, RAG)和慢吸收利用葡萄糖(slowly available glucose, SAG)来作为评价碳水化物的质量指标。含碳水化物的食物在体外控制模拟条件下进行淀粉水解,20min 内释放的葡萄糖为 RAG,接下来100min 释放的葡萄糖为 SAG。高SAG 含量的食品由于缓慢释放CHO 也能导致低GI 值。

总之,GI 值综合了食物化学组成、结构和物理状况等多方面的数据,代表了一种食物的生理学参数和在人体中消化吸收的实际价值。FAO/WHO 专家组认为GI 是指导消费者尤其是糖尿病人选择合适的食物来维持正常血糖水平和健康的有用工具。

2 低血糖生成指数食品的生理学功能

随着研究的不断深入,人们发现长期食用低GI 食物能够降低血糖、血甘油三酯、尿C-肽等水平,证明低GI 饮食对健康有益,可以预防和控制各类慢性病^[6,11-13]。据报道,该类膳食应包括大量的蔬菜、水果和豆类,适量的蛋白质和油脂,少量精制谷物、马铃薯和浓缩

糖类(图3)^[14]。而且,低GI食品通常具有基质密度高、淀粉颗粒未糊化或果糖、乳糖、脂肪、蛋白质含量高特征。但是,由高糖、高蛋白、高脂肪含量引起的低GI,如巧克力对于人体健康无益处。表1列出了部分低血糖生成指数食品的GI值。

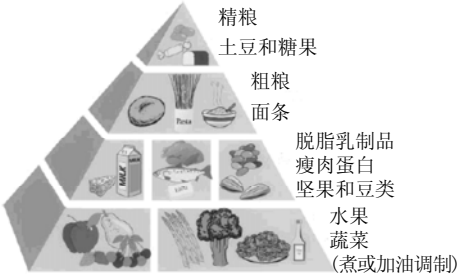


图3 低血糖生成指数金字塔
Fig.3 A low glycemic index pyramid

表1 部分低血糖生成指数食品的GI值(葡萄糖=100)^[2-3,15]
Table 1 Glycemic index value of low glycemic index food

食物	GI	食物	GI
裸麦粉粗面包	41	扁豆	28
全麸谷物早餐	42	大豆	18
麦片粥	46	豌豆	33
糯米饭(高直链淀粉)	50	烘豆(罐装)	48
稻麸粥	19	全脂乳	27
饺子	28	脱脂乳	32
包子	31	酸奶	33
珍珠麦	25	可口可乐	53
荞麦	54	苹果汁	40
甜玉米	53	橙汁	50
糙米	55	鸡蛋面	40
蒸谷米	47	方便面	48
碾碎的干小麦	48	通心面	47
魔芋	17	意大利式细面条	38
甘薯	51	消化饼干	55
藕粉	33	早餐普通饼干	49
芋头	48	苹果	38
巧克力	49	桔子	44
果糖	20	香蕉	55
乳糖	46	桃子	42

2.1 低GI食品与糖尿病

糖尿病是一种慢性内分泌代谢性疾病,目前可分为四种不同的临床类型:胰岛素依赖型(IDDM或I型)、非胰岛素依赖型(NIDDM或II型)、妊娠型和继发型,其中II型糖尿病是最常见的类型。糖尿病的基本病理生理为胰岛素绝对或相对的分泌不足,从而引起以碳水化合物为主的代谢紊乱。因此,饮食控制和调养是所有糖尿病患者的基础医疗手段。Salmerón、Brandh与Tsihlias等^[9,16-17]通过前瞻性队列研究发现食用高GI的食物会增加患NIDDM的危险性,长期食用高GI食物可以引起靶组

织对胰岛素的敏感性降低,即胰岛素效应下降,造成胰岛素抵抗,而胰岛素抵抗是发生NIDDM最重要的危险性标志。而低GI食物可延缓葡萄糖吸收,从而降低血糖峰值,减少整体胰岛素需求,从而改善血糖控制能力(降低果糖胺和糖化血红蛋白水平),避免高胰岛素血症和胰岛素抵抗等代谢综合症及微血管并发症的发生,这与Björck^[11]、Jenkins^[18]的研究结果基本一致。因此,低GI食物可有效改善餐后血糖负荷,控制糖尿病患者尤其是NIDDM病人的病情。

2.2 低GI食品与肥胖

长期饮食不当是引起单纯性肥胖的主要原因,肥胖不仅有较高的死亡率,而且有可能并发高血压、心脏病、糖尿病和动脉粥样硬化等^[19]。Ludwig、Brand-Miller等^[14,20]研究认为低GI食品具有更强的饱腹感且能维持更长时间,因为低GI食品在胃肠道中缓慢消化吸收,缓慢释放能量,较长时间产生饱腹感,有利于控制肥胖、保持适宜体重;高GI的食品消化完全,单位时间内产生的能量高,身体很快得到满足又很快产生饥饿感。对于肥胖者或希望预防肥胖的人群来说,选择低GI的食物可以控制体重和降低肥胖发生率。

2.3 低GI食品与脂质代谢和心脑血管疾病

Leeds与Jenkins等^[21-22]报道低GI饮食具有改善血脂成分、胰岛素水平、血栓因子及内皮细胞功能等作用,可缓解高血糖和高胰岛素症状,降低由高脂血症引起的冠心病发病率,并减少炎症反应。Ebbeling等^[23]发现随意低GL食品降低心脑血管疾病的危险性比传统限制能量的低脂食品有效,因为食用低GI膳食降低血甘油三酯、胆固醇水平,减少总脂肪组织,且在总体重不变的情况下增加瘦体质。另外,低GI食品预防高血压主要是通过增加肝低密度脂蛋白(LDL)受体的水平,LDL颗粒中甘油三酯的数量减少,胆固醇浓度降低,高密度脂蛋白(HLD)则升高^[6,12]。

2.4 低GI食品与癌症

流行病学研究发现,高GI食物可在小肠中被完全消化吸收,结肠缺少必需的运动,减少了肠蠕动和转运,易造成便秘并为结肠癌等肠道疾病的发生提供了便利。而低GI食物一般在肠道难易消化,这不仅能改善肠道运动,促进粪便和肠道毒素排出,减少肠机能失调及结肠癌等发病率^[1,24]。目前,只有Augustin等人的^[12]一项研究指出食物GI或GL也与乳腺癌相关,这可能与饮食、糖尿病的内分泌及高胰岛素血症等因素引起的。一些研究还发现精制的CHO对前列腺癌有促进作用,如高脂、精糖、高能量的膳食容易形成高胰岛素血症,从而增加前列腺癌的危险性^[12]。

2.5 低GI食品与体育运动

由于低GI食品可以较长时间地维持饱腹感,减少

饥饿感,使能量持续而缓慢地释放,它可作为运动员,尤其是马拉松等长跑运动员的碳水化合物补充剂。因为它能够使运动员在运动过程中获得稳定持久的能量,从而保持其耐力;而高GI食品只能提高运动之后的糖原补给速度^[1,12]。

2.6 低GI食品的其他健康意义

除了上述预防疾病和维持健康的生理学功能外,低GI食品还具有改善认知行为^[25],例如儿童和青少年食用低GI谷物早餐可改善人记忆保持力、注意力、集中力、失眠症或精神健康。同时低GI膳食可以降低餐后牙菌斑pH值,达到预防龋病的作用^[1]。

3 低血糖生成指数淀粉衍生物

3.1 难消化糊精

难消化性糊精(indigestible dextrin),是各种淀粉在盐酸存在下,粉末状态在130~180℃的高温下加热分解得到焦糊精,然后把焦糊精溶解在水中后经 α -淀粉酶水解,水解产物再通过纯化(脱色、脱盐)、喷雾干燥得到平均分子量为2000Da且难消化性含量85%~95%的产品^[26-27]。难消化糊精是一种低热量葡聚糖,具有低粘性水溶性膳食纤维的生理学特征。目前,松谷化学工业株式会社开发出了难消化糊精(商品名Fibersol-2),并取得日本政府特定保健用食品原料的认定^[28]。

3.2 慢消化淀粉

慢消化淀粉(slowly digestible starch, SDS),指那些能在小肠中被完全消化吸收但速度较慢的淀粉,在体外模拟的条件下依据淀粉的生物可利用性被定义为20~120min内能被 α -淀粉酶消化的淀粉^[29],其主要为大部分生的谷物(蜡质玉米、黍、豆类等)。慢消化淀粉可通过酶脱支、热液处理、微胶囊包埋、化学改性及复合改性来制备,但无商业化可利用的产品。

3.3 抗酶解淀粉

抗酶解淀粉(resistant-enzyme starch, RS),又称抗性淀粉,其定义为在健康的人类小肠中不能被消化,但是能在大肠中发酵或部分发酵的淀粉或淀粉降解产物,包括物理性包埋淀粉(RS₁)、抗性淀粉颗粒(RS₂)、老化淀粉(RS₃)、化学改性淀粉(RS₄)等四种^[30]。抗酶解淀粉的制备方法如下:热处理、酶处理、热-酶处理、化学改性等,国外已有工业化生产的RS₃,如National Starch and Chemical Corporation的Novelose(r)和Opta Food Ingredients的Crystalean(r)等产品。

3.4 淀粉-脂质复合物

淀粉-脂质复合物(starch-lipid complex)是由于直链淀粉的螺旋结构内部非极性区域与脂质的碳氢链之间的疏水性交互作用形成单螺旋包接结构^[31],脂质与淀粉结合形成的络合结构对淀粉颗粒糊化、膨胀和溶解具有强烈

的抑制作用,所得复合物水解耐受性强且具有不溶性,并可分I和II两种类型结构,这取决于研究的脂质类型和实验条件。淀粉-脂质复合物的加工与生产方法主要的方法为:超高压处理、酶法合成、挤压蒸煮、蒸汽喷射蒸煮法、冷冻法、热处理等。

3.5 淀粉-蛋白质复合物

淀粉-蛋白质复合物(starch-protein conjugate)是由两种大分子的不同片段与侧链之间的共价键、静电力、范德华力、氢键、疏水作用、离子键、容积排阻作用及分子缠绕等作用共聚改性形成的结构^[32]。淀粉与蛋白质的相互作用使淀粉不易被酶作用,两者之间的化学反应需要较为严格的条件,一般可由干法、湿法、电合成、挤压等方法来实现。

4 展望

功能食品是21世纪食品工业发展的方向之一,随着人们生活水平的提高,人们越来越关注食品的功能化。低GI淀粉类食品,诸如豆类、面条、蒸谷米和全粒谷物面包,能防治西方慢性疾病,特别是II型糖尿病、冠心病及某些癌症。目前,国外市场上低GI食品十分短缺,需要生产该食品来改善人们的膳食营养状况。因此,兼顾功能与营养的低GI淀粉类衍生物不仅是一种优质的功能性食品辅料,而且还能满足人们的健康意识,对形形色色健康食品的开发有着极其广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] BJÖRCK I, ASP N G. Controlling the nutritional properties of starch in foods: a challenge to the food industry[J]. Trends Food Sci Technol, 1994(5): 213-218.
- [2] TRUSWELL A S. Glycaemic index of foods[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1992, 46(suppl. 2): 91-101.
- [3] JENKINS D J A, WOLEVER T M S, TAYLOR R H, et al. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1981, 34: 362-366.
- [4] WOLEVER T M S, VORSTER H H, BJÖRCK I, et al. Determination of the glycaemic index of foods: interlaboratory study[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2003, 57: 475-482.
- [5] FAO/WHO. Carbohydrates in human nutrition, Report of a joint FAO/WHO expert consultation[R]. Rome: FAD/WHO, 1998.
- [6] JENKINS D J A, KENDALL C W C, AUGUSTIN L S A, et al. Glycemic index: overview of implications in health and disease[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2002, 76(suppl): 266-273.
- [7] BRAND J C, NICHOLSON P L, THORBURN A W. Food processing and the glycemic index[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1985, 42: 1192-1196.
- [8] BJÖRCK I, GRANFELDT Y, LILJEBERG H, et al. Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1994, 59(suppl): 699-705.
- [9] SALMERÓN J, ASCHERIO A, RIMM E B, et al. Dietary fibre, glycemic load and risk of NIDDM in men[J]. Diabetes Care, 1997, 20

- (4):545-550.
- [10] ENGLYST K N, VINOY S, ENGLYST H N, et al. Glycaemic index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose[J]. *British Journal of Nutrition*, 2003, 89: 329-339.
- [11] BJÖRCK I, LILJEBERG H, ÖSTMAN E. Low glycaemic- index food [J]. *British Journal of Nutrition*, 2000, 83(suppl.): 149-155.
- [12] AUGUSTIN L S, FRANCESCHI S, JENKINS DJA, et al. Glycemic index in chronic disease: a review[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 56:1049-1071.
- [13] PI-SUNYER F X. Glycemic index and disease[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 76(suppl): 290-298.
- [14] LUDWIG D S. Dietary glycemic index and obesity[J]. *Journal Nutrition*, 2000, 130:280-283.
- [15] FOSTER-POWELL K, HA Holt S, BRAND-MILLER J C. International table of glycemic index and glycemic load values[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 76:55-56.
- [16] BRAND J C, COLAGIURI S, CROSSMAN S, et al. Low-glycemic index foods improve long-term glycemic control in NIDDM[J]. *Diabetes Care*, 1991, 14(2): 95-101.
- [17] TSIHLIAS E B, GIBBS A L, MCBURNEY M I, et al. Comparison of high- and low-glycemic-index breakfast cereals with monounsaturated fat in the long-term dietary management of type 2 diabetes[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 72:439-449.
- [18] JENKINS D J A, WOLEVER T M S, BUCKLEY G. Low-glycemic-index starchy foods in the diabetic diet [J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1988, 48:248-254.
- [19] WOLEVER T M S, JENKINS J A D, VUKSAN V, et al. Beneficial effect of low-glycemic index diet in overweight NIDDM subjects[J]. *Diabetes Care*, 1992, 15(4):562-564.
- [20] BRAND-MILLER J C, HOLT S HA, PAWLAK D B, et al. Glycemic index and obesity[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 76(suppl): 281-285.
- [21] LEEDS A R. Glycemic index and heart disease[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 76(suppl):286-289.
- [22] JENKINS D J A, WOLEVER T M S, KALMUSKY J, et al. Low-glycemic index diet in hyperlipidemia: use of traditional starchy foods [J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1987, 46:66-71.
- [23] EBBELING C B, LEIDIG M M, SINCLAIR B, et al. Effects of an ad libitum low-glycemic load diet on cardiovascular disease risk factors in obese young adults[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2005, 81: 976-82.
- [24] AUTIO K, NISKANEN L, POUTANEN K. Starch in food diabetes and coronary heart disease[M]//ARNOLDI A. Functional foods, cardiovascular disease and diabetes. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2004: 371-395.
- [25] LANGV. "Development of a range of industrialized cereal-based foodstuffs, high in slowly digestible starch" in [M]. //ELIASSON A I. Starch in food: Structure, function and applications. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2004: 477-505.
- [26] OHKUMA K, MATSUDA I, KATTA Y, et al. Pyrolysis of starch and its digestibility by enzymes—characterization of indigestible dextrin[J]. *Denpun Kagaku (Japanese)*, 1990, 37(2):107-114.
- [27] MATSUTANI Chemical Industries Co. Ltd. Process for preparing dextrin containing food fiber[P]. US5620873, 1997-4-15.
- [28] OHKUMA K, WAKABAYASHI S. Fibersol-2: a soluble non-digestible starch derived dietary fiber" in MCCLEARY B V, PEOSKY L Advanced dietary fiber technology[M]. NEW YORK Blackwell Publishing Ltd, 2001, 509-523.
- [29] HAN X Z, AO Z H, JANASWAMY S, et al. Development of a low glycemic maize starch: preparation and characterization[J]. *Biomacromolecules*, 2006(7): 1162-1168.
- [30] SAJJILATA M G, SINGHAL R S, KULKAMI P R. Resistant starch-a review[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2006(5): 1-17.
- [31] GELDER G G, GOESAERT S H, DELCOUR J A.. Amylose-lipid complexes as controlled lipid release agents during starch gelatinization and pasting[J]. *J Agric Food Chem*, 2006, 54:1493-1499.
- [32] KRUIF C G, TUINIER R. Polysaccharide protein interactions[J]. *Food hydrocolloids*, 2001, 15:555-563.