

# 混合膳食组成对体外消化过程中 GI 与食物消解的影响

康晶燕<sup>1</sup>, 傅楠<sup>1</sup>, 王勇<sup>2</sup>, 董志忠<sup>2</sup>, 陈晓东<sup>1</sup>

(1. 苏州大学材料与化学化工学部化工与环境工程学院, 江苏苏州 215123)

(2. 中粮营养健康研究院, 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 北京 102209)

**摘要:** 对 14 种单品食物与 8 种混合膳食展开了体外消化实验, 测定了消化过程中 GI 的变化过程, 研究膳食中不同成分对血糖生成指数的影响, 并通过显微镜观察食物在不同消化过程中结构和形貌变化, 研究不同成分对食物消解过程的影响。根据食物碳水化合物的含量计算含有 50 g 碳水化合物的食物量, 用 50 g 葡萄糖作为参照物, 利用烧杯或者锥形瓶模拟人体食用食物后在胃部和小肠的 4 h 消化过程中葡萄糖变化情况。相对于单独的主食来说, 加入蔬菜、肉类、蛋类或水果后的混合膳食出现明显的 GI 下降。研究食物消解过程也发现, 混合膳食中米饭的形貌与结构变化会显著慢于单独米饭的外形变化; 而挂面的消解趋势与其相反。结果证实了膳食纤维、脂肪和蛋白质会抑制淀粉类食物的消化过程, 减缓葡萄糖释放速率。

**关键词:** 血糖生成指数 (GI); 膳食组成; 脂肪; 膳食纤维; 蛋白质; 体外消化; 食品消化

文章编号: 1673-9078(2018)02-102-109

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.2.017

## Effects of Mixed Dietary Constitutes on GI and Food Degradation during *In Vitro* Digestion

KANG Jing-yan<sup>1</sup>, FU Nan<sup>1</sup>, WANG Yong<sup>2</sup>, DONG Zhi-zhong<sup>2</sup>, CHEN Xiao-dong<sup>1</sup>

(1.School of Chemical and Environment Engineering, College of Chemistry, Chemical Engineering and Materials Science, Soochow university, Suzhou 215123, China) (2.Beijing Key Laboratory of Nutrition & Health and Food Safety, Nutrition & Health Research Institute, COFCO Corporation, Beijing 102209, China)

**Abstract:** *In vitro* digestion experiments were performed on 14 kinds of single-food materials and 8 kinds of mixed dietaries. The changes of GI during the digestion process were experimentally determined to study the effects of different dietary components on the glycemic index. In addition, the structural and morphological changes of food in different digestion processes were monitored microscopically to examine the effects of different components on the degradation. The amount of food containing 50 g carbohydrate was calculated according to the content of carbohydrates in food by using 50 g of glucose as control. Beakers or conical flasks were used to simulate the 4 h digestion process in stomach and small intestine to investigate the glucose changes. Compared to the individual staples, there was a significant GI drop in mixed diet after adding vegetables, meat, eggs or fruits. Furthermore, the results of digestion process also showed that the structural and morphological changes of rice were significantly slower than those of the rice alone, while the tendency of noodle digestion was opposite. The results suggested that dietary fiber, fat and protein would inhibit the digestion of starch food and slow down the release rate of glucose.

**Key words:** glycemic index; dietary constitutes; fat; dietary fiber; protein; in vitro digestion; food digestion

收稿日期: 2017-09-09

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (21676172); 国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项 (2016YFE0101200); 国家自然科学基金青年科学基金项目 (31601513); 江苏省自然科学基金青年基金项目 (BK20140309); 江苏高校优势学科建设工程资助项目 (PAPD); 中粮集团基础研究项目“食品模拟消化系统” (2015-C2-F007)

作者简介: 康晶燕 (1990-), 女, 博士生, 研究方向: 食品体外消化分析

通讯作者: 傅楠 (1984-), 女, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 食品与生物化工、生物活性颗粒、乳品科学与技术、食品营养; 陈晓东 (1965-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 食品工程, 仿生化工, 乳制品科学与技术, 生物颗粒技术

碳水化合物是人体能量的主要来源, 被人体消化吸收转化为葡萄糖。因此碳水化合物消化后会对人体中的血糖产生直接的影响<sup>[1-3]</sup>。血糖生成指数是评价碳水化合物的生糖能力的重要参数。根据引起餐后血糖的升高程度将碳水化合物食物分类, 高 GI 的食品能够迅速消化, 使餐后的血糖快速升高然后快速降低; 低 GI 的食品含有消化慢的成分, 餐后血糖渐渐升高, 引起相对较低的血糖应答<sup>[4,5]</sup>。目前, 根据 GI 的不同, 将含有碳水化合物的食品分为三类: 以葡萄糖为标准物(定 GI 值为 100), 将 GI<55 的食物作为低 GI 食物, GI 值在 55~70 的食物作为中 GI 食物, GI>70 的食物作为高 GI 食物<sup>[6-8]</sup>。通过对不同食物 GI 的测定, 可以有效的指导人们在日常饮食中的合理性, 在预防和改善糖尿病、心脏病、肥胖和肿瘤等慢性疾病中具有重要的指导意义<sup>[9,10]</sup>。

测定膳食和食物中的 GI 需要花费大量的人力和物力, 体外消化法由于成本低廉, 操作简单, 受到相关研究者的广泛青睐<sup>[11-14]</sup>。我国膳食结构不同于欧洲国家, 含有很多食物成分和多种食物的搭配, 所以了解不同食物和混合食物的在食用后的 GI 变化会对糖尿病和其他慢性非传染病的膳食预防和控制提供理论和技术支持<sup>[15,16]</sup>。

本文利用体外消化模拟实验测定了日常生活中常见的五种主食(大米、小米、玉米、挂面和馒头), 五种蔬菜(西红柿、西兰花、香菇、杭白菜和土豆), 一种肉类(猪肉), 一种蛋类(鸡蛋), 两种水果(苹果、香蕉)等 14 种食物单品的 GI 值, 并且进一步研究了这 14 种食物按照平常饮食习惯搭配后得到的混合膳食的 GI 值, 通过分析不同搭配膳食和单品在消化过程中 GI 变化和主食消解过程的差异, 分析了不同食物成分会对于 GI 和食物结构的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试剂

消化酶: 淀粉葡萄糖苷酶(amyloglucosidase)、转化酶(invertase)、胰酶(pancreatin)、蛋白酶(pepsin)均由 sigma-aldrich 公司购买; 瓜尔豆胶由 TCI 公司购买; 3,5-二硝基水杨酸、醋酸钠)由国药公司购买。

工作酶液: 由 1.2 g 胰酶与 10 mL 超纯水混合后, 在 37 °C 水浴中磁力搅拌 10 min, 离心(3000 r/min, 20 min), 取 8 mL 上清液, 加入 3 mL 淀粉葡萄糖苷酶, 转化酶 5 mg 配置而成, 现配现用。

胃蛋白酶-瓜尔胶溶液: 0.1 g 胃蛋白酶和 0.1 g 瓜

尔胶用 0.05 mol/L HCl 配置至 20 mL, 现配现用。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 体外法测定食物消化过程中的葡萄糖含量

精确称量一定量的食物(根据食物成分计算 CHO 为 50 g), 样品加入 50 mL 蒸馏水进行定容, 加入 100 mL 胃蛋白酶-瓜尔胶溶液, 37 °C 水浴振荡 30 min, 加入 50 mL 醋酸钠缓冲溶液, 利用 HCl 调节 pH 至 5.0, 加入 50 mL 工作酶液, 5 颗玻璃珠, 37 °C 水浴回旋振荡(200 次/min), 在加入酶液后的 0、10、20、30、45、60、90、120、180、240 min 取 0.2 mL 试样, 加入 4 mL 冰水终止反应, 离心(3000 r/min, 20 min), 取上清液, 再用 3.0 mL 蒸馏水洗涤沉淀, 离心, 取上清液, 合并上清液, 振荡均匀, 利用 DNS 还原法测定还原糖的含量。

#### 1.2.2 DNS 溶液测定还原糖的方法

##### 1.2.2.1 标准曲线的测定

(a) 分别取葡萄糖的标准液(1 mg/mL) 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 于 15 mL 试管中, 用蒸馏水补充到 1 mL(即依次加入 1.0、0.8、0.6、0.4、0.2、0 mL 蒸馏水), 分别准确加入 DNS 溶液 2 mL, 沸水浴加热 2 min(严格计时), 流水冷却至室温, 分别加入 12 mL 的蒸馏水, 混合均匀, 在 540 nm 波长下测定其吸光度。

(b) 以葡萄糖浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标, 建立标准曲线, 测定其相关系数, 若相关系数大于 0.998, 则该标准曲线可以使用。

##### 1.2.2.2 样品的测定方法

取适量的样品, 进行适当的稀释(保证测定的数据在线性范围内), 取稀释后的溶液 1.0 mL 于 15 mL 的试管中, 加入 DNS 溶液 2.0 mL, 沸水浴 2 min, 冷却后用超纯水补足到 15 mL, 在 540 nm 波长下测定吸光度, 从标准曲线中计算出样品中的还原糖的浓度, 即为样品中还原糖的浓度。

### 1.3 食物

实验过程中用到的食品: 小米、玉米、挂面、馒头、土豆、西兰花、西红柿、杭白菜、香菇、猪肉、鸡蛋、苹果和香蕉等均购买于超市, 主食主要进行蒸煮, 蔬菜会加入少量的植物油进行翻炒至熟, 肉用少量食物油炒熟, 鸡蛋水煮。

### 1.4 GI 计算方法

$$GI = \frac{\text{含50g碳水化合物食物餐后4h血糖应答曲线下的面积}}{\text{等量葡萄糖标准品4h血糖应答曲线下的面积}} \times 100$$

### 1.5 数据统计分析

原始数据以双录入法输入 Microsoft Excel 2000 软件, GI 值的计算由软件完成。

14 种单品食物和 8 种混合膳食经过消化后的葡萄糖水平以及食物 GI 值均以平均值±标准方差表示。

## 2 结果与讨论

### 2.1 单品食物在消化过程中的 GI 变化

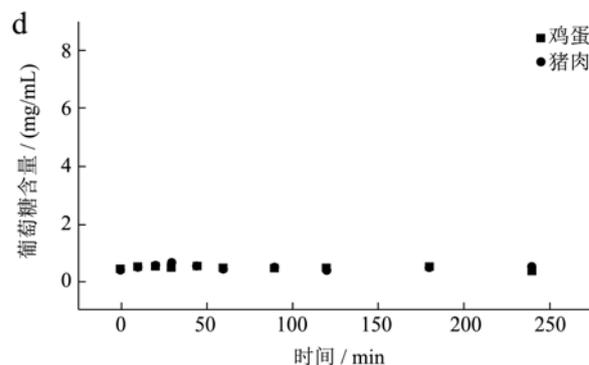
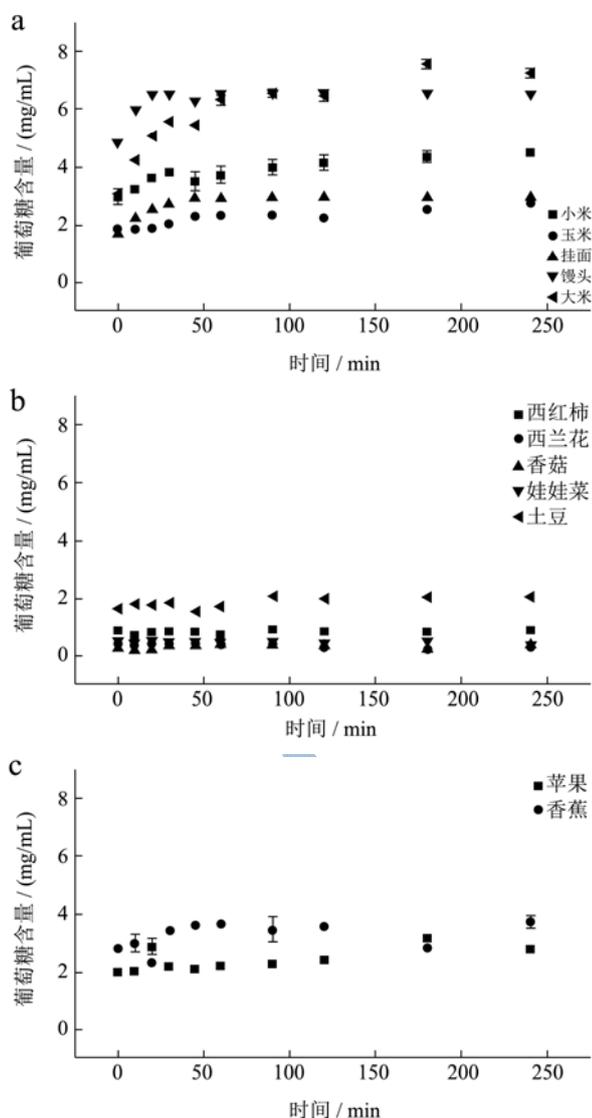


图 1 不同食物单品的体外消化过程中血糖的变化曲线

Fig.1 Glycemic curves during in vitro digestion of 14 kinds of single food

注: (a)5 种常见主食; (b)5 种常见蔬菜; (c)2 种常见水果; (d)常见的肉类和蛋类。

根据  $GI < 55$  的食物为低 GI 食物,  $GI$  值在  $55 \sim 70$  的食物为中 GI 食物,  $GI > 70$  的食物为高 GI 食物, 则在 14 种食物单品中, 属于低 GI 的食物有小米、玉米、西红柿、西兰花、香菇、杭白菜、猪肉, 鸡蛋、苹果和香蕉, 中 GI 的食物有挂面条和土豆, 高 GI 的食物有大米和馒头 (表 1)。14 种食物单品在消化过程中的葡萄糖变化情况见图 1, 从实验结果可以看出, 含有 50 g 碳水化合物的不同食物中, 依据不同的食物类型, 消化过程中的葡萄糖含量变化有很大的区别。在主食中, 大米和馒头都属于高 GI 的食物, 从消化曲线中也可以看出, 加入胰液之后大米和馒头开始快速进行消化, 葡萄糖的含量在短时间内迅速增加, 在 30 min 之后葡萄糖的含量基本达到平衡, 属于快速消化淀粉类食物<sup>[17,18]</sup>; 而小米、玉米和挂面在消化过程 60 min 甚至更长时间才能达到葡萄糖含量的平衡, 说明小米、玉米和挂面在食用之后能够缓慢的消化吸收, 持续释放能量, 维持血糖的平衡<sup>[19,20]</sup>。在蔬菜类的食品中, 西红柿、西兰花、杭白菜和香菇等的 GI 都属于低 GI 食物, 而土豆属于中 GI 的食物, 在消化 45 min 左右, 葡萄糖的含量就可以达到接近平衡, 说明土豆能够在短时间内迅速消化, 属于较快速消化的食物, 和主食的消化过程比较相似<sup>[21]</sup>。水果中, 苹果属于低 GI 食品, 而香蕉属于中 GI 的食品。水果都是在消化开始后 60 min 左右达到葡萄糖含量的平衡。

表 1 实验过程中的食物成分表 (单品)

Table 1 The composition of food used in the experiments (single type)

食物	质量/g	碳水化合物/g	脂肪/g	蛋白质/g	膳食纤维/g	GI
大米	64.18	50.00	0.51	4.75	0.45	87.43±1.12
小米	64.35	50.00	1.93	5.73	2.96	45.63±3.94
玉米	68.49	50.00	2.60	5.96	4.38	25.21±1.87
挂面条	66.93	50.00	0.33	7.49	1.07	55.03±2.56
馒头	106.38	50.00	1.17	7.45	1.38	89.54±2.73
西红柿	1428.67	50.00	2.85	12.86	7.14	13.12±1.89
西兰花	1162.79	50.00	6.98	47.67	18.61	5.07±0.35
香菇	961.53	50.00	2.88	21.15	31.73	5.34±0.25
杭白菜	1851.85	50.00	50.00	5.55	27.77	3.63±0.25
猪肉	2083.33	50.00	770.83	275.00	NR	8.09±0.22
鸡蛋	1785.71	50.00	157.14	237.49	NR	7.79±0.31
土豆	303.69	50.00	0.61	6.07	2.12	66.05±1.15
苹果	406.57	50.00	0.81	0.81	4.87	37.04±0.99
香蕉	200.47	50.00	2.81	0.40	2.40	47.27±1.58

## 2.2 混合膳食在消化过程中的 GI 变化

为了更好地实现对日常膳食的指导意义,我们研究了以米饭和挂面为基础的混合膳食消化过程的 GI,并通过改变膳食中的蛋白质、脂肪和膳食纤维的配比,观察不同食物成分对 GI 变化的影响<sup>[22,23]</sup>。例如,米饭

和杭白菜代表碳水化合物和膳食纤维的混合;米饭、猪肉和杭白菜的组合代表在碳水化合物和膳食纤维的基础上增加了脂肪;米饭、西红柿的组合代表碳水化合物和膳食纤维的混合;米饭、西红柿和鸡蛋的组合代表在碳水化合物和膳食纤维的基础上增加了蛋白质<sup>[24]</sup>。

表 2 实验过程中的食物成分表 (混合膳食)

Table 2 The composition of food used in the experiments (composite food)

食物	成分	质量/g	比例	碳水化合物/g
米饭+杭白菜	碳水化合物+膳食纤维	126.90	1:1	50.00
米饭+猪肉+杭白菜	碳水化合物+脂肪+膳食纤维	184.74	1:1:1	50.00
米饭+土豆	碳水化合物+膳食纤维	106.72	1:1	50.00
米饭+土豆+西兰花	碳水化合物+两种膳食纤维	155.59	1:1:1	50.00
米饭+西红柿	碳水化合物+膳食纤维	123.92	1:1	50.00
米饭+鸡蛋+西红柿	碳水化合物+蛋白质+膳食纤维	119.76	1:1:1	50.00
挂面+香菇	碳水化合物+膳食纤维	130.20	1:1	50.00
挂面+香菇+杭白菜	碳水化合物+两种膳食纤维	191.31	1:1:1	50.00

食物	脂肪/g	蛋白质/g	膳食纤维/g	GI
米饭+杭白菜	69.79	564.71	114.21	44.18±4.62
米饭+猪肉+杭白菜	2329.57	1360.92	110.85	38.27±5.13
米饭+土豆	186.76	26.68	96.05	65.43±2.91
米饭+土豆+西兰花	57.06	394.21	233.42	44.12±6.60
米饭+西红柿	30.98	148.71	99.14	42.23±3.85
米饭+鸡蛋+西红柿	554.95	940.12	263.47	34.07±3.42
挂面+香菇	58.59	813.75	260.40	52.25±3.66
挂面+香菇+杭白菜	76.52	892.78	325.23	34.57±3.75

### 2.2.1 脂肪、蛋白质及膳食纤维对体外消化过程中葡萄糖含量的影响

通过对单品米饭、米饭和杭白菜、以及米饭、杭白菜和猪肉的组合进行对比(图 2),可以看出,在加

入杭白菜的混合膳食中 GI 明显下降,从食物成分表中也可以看出,加入杭白菜后,混合食物中的膳食纤维明显增多,说明膳食纤维在消化过程中对大米的 GI 具有较明显的抑制作用,再进一步加入猪肉后,混合膳食中的蛋白质显著增多,而 GI 也会进一步降低,说明蛋白质在消化过程中对葡萄糖生成的过程同样有抑制作用。由于蛋白质的增多可以促进胰岛素的分泌,使葡萄糖的浓度降低,从而影响 GI 的变化<sup>[1]</sup>。

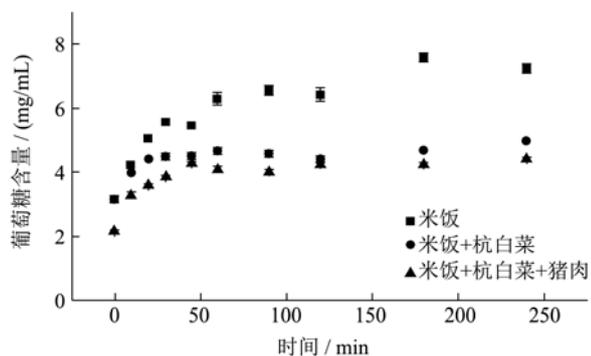


图2 以米饭为基础的混合膳食中,膳食纤维和脂肪对消化后葡萄糖含量的影响

Fig.2 Effects of dietary fiber and fat on the glucose content after *in vitro* digestion of rice-based food

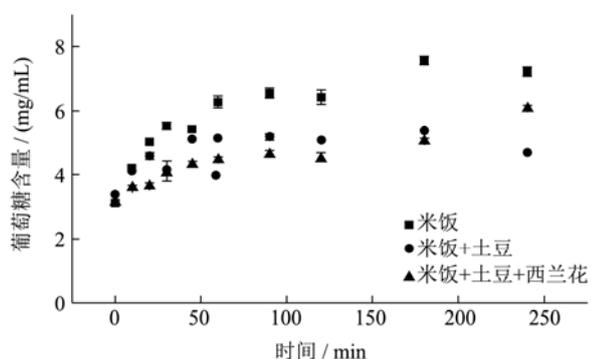


图3 以米饭为基础的混合膳食中,两种膳食纤维对消化后葡萄糖含量的影响

Fig.3 Effects of two kinds of dietary fiber on the glucose content after *in vitro* digestion of rice-based food

如图3所示,土豆本身是含碳水化合物较多的食物,在米饭和土豆的混合膳食中,对比纯米饭,虽然混合膳食的 GI 也有所下降,但因为土豆也能够在这段时间内快速释放葡萄糖,使葡萄糖的浓度在短时间内迅速升高,所以,这种混合搭配并不是低 GI 混合食物组合。在米饭和土豆的混合膳食中加入西兰花后,食物释放葡萄糖的过程相对变得缓慢,说明西兰花的加入能够减缓淀粉类食物的消化吸收,使得消化过程中的葡萄糖能够缓慢释放。在西兰花中有大量的膳食纤维,膳食纤维由于具有高持水性,在胃肠道遇水形成黏胶,延缓胃排空,阻隔营养素在胃肠道的吸收,

引起机体血糖和胰岛素水平下降,同时可以显著改善体内多种酶的活性,降低血糖水平<sup>[25]</sup>。

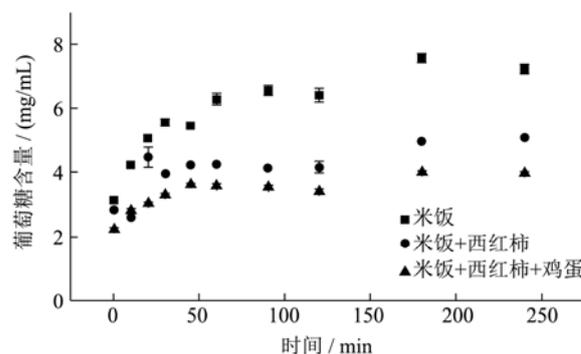


图4 以米饭为基础的混合膳食中,蛋白质和膳食纤维对消化后葡萄糖含量的影响

Fig.4 Effects of protein and dietary fiber on the glucose content after *in vitro* digestion of rice-based food

在米饭和西红柿的组合里(图4所示),混合食物的 GI 较米饭单独的 GI 较低,而加入鸡蛋后进一步降低了 GI 水平。通过成分表(表1)可以看出,鸡蛋中蛋白质的含量很高,说明蛋白质对米饭消化过程中葡萄糖的释放含量也是有影响的<sup>[1]</sup>,这个结果与第一组的实验结果是一致的,猪肉和鸡蛋中的蛋白质能同样地降低混合膳食中的 GI 指数。

挂面属于中 GI 的食物,其 GI 指数显著低于米饭,如图5所示,在挂面与香菇的混合膳食中,食物的葡萄糖释放过程有稍微的减缓,但是葡萄糖的总量基本没有变化,在加入杭白菜以后,由于膳食纤维的增加,无论是在葡萄糖的释放时间还是在最终葡萄糖的总量方面都有明显的改变,与图3中基于米饭的混合膳食的实验结果也很吻合<sup>[29]</sup>。

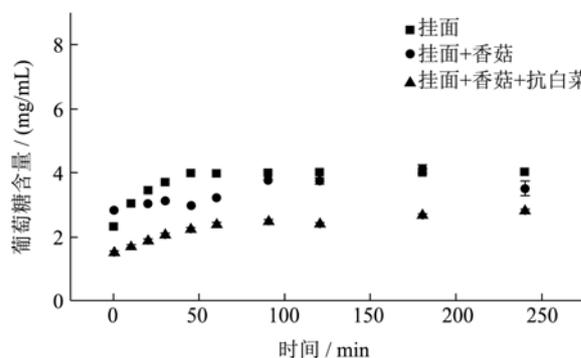


图5 以面条为基础的混合膳食中蛋白质和膳食纤维对消化后葡萄糖含量的影响

Fig.5 Effects of protein and dietary fiber on the glucose content after *in vitro* digestion of noodle-based food

### 2.2.2 食物中不同的成分对消化过程中食物消解的影响

为了明确消化过程中不同食物成分对食物消解过

程的影响,我们利用宏观变倍显微镜测定了单品食物与混合食物在模拟胃部消化和模拟小肠消化过程中的形貌变化<sup>[26-28]</sup>。图6显示了以米饭为基础的不同膳食组合的食物形貌变化。米饭与鸡蛋的组合代表碳水化合物与蛋白质的混合,米饭与香菇代表碳水化合物与膳食纤维的混合,米饭与猪肉代表的是碳水化合物与脂肪的混合。

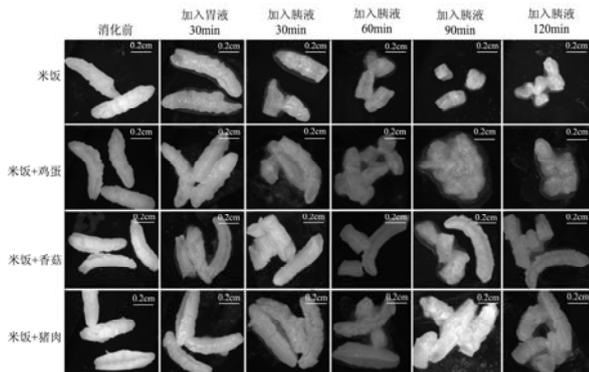


图6 以米饭为基础的混合膳食和单品米饭的在消化过程中的形貌对比

Fig.6 Comparison of morphological changes in rice during *in vitro* digestion of single rice and mixed diet

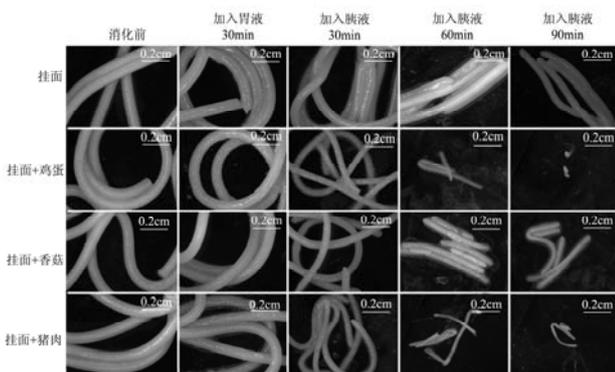


图7 以面条为基础的混合膳食和面条的在消化过程中的结构对比

Fig.7 Comparison of morphological changes in noodles during *in vitro* digestion of single rice and mixed diet

从图6可以看出,单品米饭以及米饭和鸡蛋、香菇、猪肉的各自组合在加入胃液后30 min内,米饭的结构都比较完整,但在加入胰液后,食物的结构开始出现明显的变化,单独的米饭加入胰液后30 min,米饭的结构开始破坏,米饭颗粒变小,90 min时,米饭的颗粒已经变为原来的五分之一左右,120 min基本糊化。由于胃液中主要含有盐酸和胃蛋白酶,酶具有专一性,所以只能对米饭进行简单的消化,而在胰液中含有胰蛋白酶,胰淀粉酶,胰脂肪酶等丰富的消化酶,能够将米饭彻底地消化分解为氨基酸,葡萄糖和脂肪酸<sup>[28]</sup>。在米饭和鸡蛋的组合中,米饭在加入胰液30 min左右开始糊化,但是相比单独的米饭,其结构

更完整。在接下来的消化过程中也可以看出,同样时间30~120 min时,与鸡蛋组合的米饭其结构会更完整,说明蛋白质对米饭的消化有保护作用,能够减缓淀粉食物消化速度即葡萄糖的释放速率,一定程度上抑制米饭的消化过程。

同样,在香菇和米饭的组合中,加入胃液后,米饭颗粒仍然保持相对的完整,即使在加入胰液120 min后,米饭颗粒依旧相对保持完整,说明膳食纤维对食物消化的过程有抑制作用,而且作用比较明显。而与米饭和鸡蛋组合中的米饭相比较,与猪肉组合中米饭的颗粒也相对比较完整。根据上述情况,我们可以推测,膳食纤维、脂肪和蛋白质对淀粉类食物的消化有抑制作用,而且作用依次减弱<sup>[29,30]</sup>。

此外,我们以挂面作为主食,同样测定了单品面条以及其分别于与鸡蛋、香菇和猪肉的组合在消化过程中发生的面条形貌变化(图7),从图7中可以看出,同样因为胰液的成分比胃液的成分丰富,更能将面条进行彻底消化,所以面条在加入胃液30 min内结构比较完整,但是在加入胰液后面条开始逐渐消化,面条开始变细。在加入胰液60 min后,与鸡蛋组合的面条和与猪肉组合的面条已经基本消化完成,而在与香菇的组合中,面条结构相对更完整一些,但是与单独的挂面相比,其结构仍然不够完整<sup>[31]</sup>。由于膳食纤维的高持水性,在胃中容易形成粘稠状,影响主食的消化过程,所以膳食纤维比蛋白质和脂肪更能够抑制食物消化过程或者葡萄糖的释放过程,而混合膳食的消化过程比单独的面条消化过程都快的原因有待于进一步的研究。然而,虽然单独的挂面消化最慢,但GI结果显示(图5),纯挂面消化后的GI仍然略高于挂面与香菇组合的GI。可见,在与鸡蛋或者猪肉共同消化时,降解后的面条也许并未全部转化为还原糖。

### 3 结论

本课题采用体外消化实验测定了14种单品食物和8种混合膳食的GI,通过比较不同食物搭配在消化过程中葡萄糖含量的变化,分析了不同食物成分对GI的影响,并研究了不同食物在消化不同阶段时的形貌变化。实验结果表明,在主食中加入含有膳食纤维、蛋白质和脂肪的食物可以减缓食物的GI释放速率,降低GI水平,说明膳食纤维、蛋白质和脂肪都可以在不同程度上抑制食物的消化过程以及葡萄糖的释放过程。

### 参考文献

- [1] 崔红梅,杨月欣,边立华,等.混合膳食中不同膳食成分对血

- 糖生成指数的影响,卫生研究,1999,28(6):356-358
- CUI Hong-mei, YANG Yue-xin, BIAN Li-hua, et al. Effect of food composition of mixed food on GI Index [J]. Journal of Hygiene Research, 1999, 28(6): 356-358
- [2] 杨月欣,崔红梅,王岩,等.常见谷类和薯类的血糖生成指数[J].营养学报,2003,25(2):356-358
- YANG Yue-xin, CUI Hong-mei, WANG Yan, et al. The glycemic index of common cereals and tuber products [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2003, 25(2): 356-358
- [3] David JA Jenkins, Cyril WC Kendall, Livia SA Augustin, et al. Glycemic Index: overview of implications in health and disease [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2002, 76: 266S-273S
- [4] 刘娟,郝丹丹,安阳,等.不同配方米饭血糖生成指数和血糖负荷的测评[J].临床医药实践,2015,24(6):403-406
- LIU Juan, HAO Dan-dan, AN Yang, et al. Measurement and evaluation of glycemic index and glycemic load of different formulation of rice foods [J]. Proceeding of Clinical Medicine, 2015, 24(6): 403-406
- [5] Kentaro Murakami, Tracy A McCaffrey, M. Barbara E. Livingstone. Associations of dietary glycaemic index and glycaemic load with food and nutrient intake and general and central obesity in british adults [J]. British Journal of Nutrition, 2013, 110(11): 2047-2057
- [6] Greenwood D C, Threapleton D E, Evans C E, et al., Glycemic index, glycemic load, carbohydrates and type 2 diabetes [J]. Diabetes Care, 2013, 36(12): 4166-4171
- [7] 冉明宇,安艳君,边冬林,等.血糖生成指数及其应用[J].西南军医,2011,13(5):902-903
- RAN Ming-yu, AN Yan-jun, BIAN Dong-lin, et al. The glycemic index and its applications [J]. Journal of Military Surgeon in Southwest China, 2011, 13(5): 902-903
- [8] A Margareta Leeman, L Mattias Barstrom, Inger ME Bjorck. In vitro availability of starch in heat-treated potatoes as related to genotype, weight and storage time [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85: 751-756
- [9] Thomas M S Wolever, Phu-My Nguyen, Jean-Louis Chiasson, et al. Determinants of diet glycemic index calculated retrospectively from diet records of 342 individuals with non-insulin-dependent diabetes mellitus [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1994, 59: 1265-1269
- [10] Kaye Foster-Powell, Susanna HA Holt, Janette C Brand-Miller. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002 [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2002, 76: 5-56
- [11] Thomas MS Wolever, David JA Jenkins, Alexandra L Jenkins, et al. The glycemic Index: methodology and clinical implications [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1991, 54: 846-854
- [12] Barclay Alan W. Optimising glycemic index in diets for older people [J]. Maturitas 2017, 96: 116-117
- [13] S Sieri, V Krogh. Dietary glycemic index, glycemic load and cancer: an overview of the literature [J]. Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases, 2017, 27: 18-31
- [14] Clarie B Hollenbeck, Ann M Coulston. The clinical utility of the glycemic index and its application to mixed meals [J]. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology, 1991, 69: 100-107
- [15] Anne Flint, Bente K Møller, Anne Raben, et al. The use of glycaemic index tables to predict glycaemic index of composite breakfast meals [J]. British Journal of Nutrition, 2004, 91(6): 979-989
- [16] Yan Zhang, Xiaonan Sui, Dejian Huang. Mitigating the in vitro enzymatic digestibility of noodles by aqueous extracts of malay cherry leaves [J]. Food Chemistry, 2017, 232: 571-578
- [17] Habtu Shumoy, Katleen Raes. In vitro starch hydrolysis and estimated glycemic index of tef porridge and injera [J]. Food Chemistry, 2017, 229: 381-387
- [18] Brand Miller J C. Importance of glycemic index in diabetes [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1994, 59: 747S-752S
- [19] M de la P Salgado-Cruz, M Ramírez-Miranda, M Díaz-Ramírez, et al. Microstructural characterisation and glycemic index evaluation of pita bread enriched with chia mucilage [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 69: 141-149
- [20] Sugiyama M, Tang A C, Wakaki Y, et al. Glycemic index of single and mixed meal foods among common japanese foods with white rice as a reference food [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2003, 57(6): 743-752
- [21] Devina Tri Lestrai Kusnadi, Alan W Barclay, Jennie C Brand-Miller, et al. Changes in dietary glycemic index and glycemic load in australian adults from 1995 to 2012 [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2017, 106: 189-198
- [22] Evelyn Rou Lin Lau M Sc, Christiani Jeyakumar Henry Ph D. No influence of carbonation on glycemic response [J]. Gastric Emptying, and Satiety of Sweetened Drinks, Nutrition, 2017, 39: 1-7
- [23] Takeshi Osonoi, Shinya Nakamoto, Miyoko Saito, et al.

- Efficacy of ipragliflozin as monotherapy or as add-on therapy with other oral antidiabetic medications in treating type 2 diabetes in Japanese patients with inadequate glycemic control: a subgroup analysis based on patient characteristics [J]. *Journal of Diabetes Investigation*, 2017. DOI: 10.1111/jdi.12705
- [24] F Xavier Pi-Sunyer. Glycemic index and disease [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 76: 290S-298S
- [25] Sabrina Schlesinger, Doris S M Chan, Snieguole Vingeliene, et al. Carbohydrates, glycemic index, glycemic load, and breast cancer risk: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies [J]. *Nutrition Reviews*, 2017, 75: 420-441
- [26] Björg Ásbjörnsdóttir, Cecelia E Akueson, Helle Ronneby, et al. The influence of carbohydrate consumption on glycemic control in pregnant women with type 1 diabetes [J]. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 2017, 27: 97-104
- [27] Lily Arsanti Lestari, Emy Huriyati, Yustinus Marsono. The development of low glycemic index cookie bars from foxtail millet (*Setaria italica*), arrowroot (*Maranta arundinacea*) flour, and kidney beans (*Phaseolus vulgaris*) [J]. *Journal of Food Science and Technology -Mysore*, 2017, 6: 1406-1413
- [28] Yao Ye, Yihua Wu, Jinming Xu, et al. Association between dietary carbohydrate intake, glycemic index and glycemic load, and risk of gastric cancer [J]. *European Journal of Nutrition*, 2017, 56(3): 1169-1177
- [29] 王瑞萍,马庆东.低 GI 膳食及膳食纤维对糖尿病及其慢性并发症的作用研究[J].*中国老年保健医学*,2016,14(5):76-78  
WANG Rui-ping, MA Qing-dong. Study on the effect of low gi diet and dietary fiber on diabetes and its chronic complications [J]. *Chinese Journal of Geriatric Care*, 2016, 14(5): 76-78
- [30] S Bharath Kumar, P Prabhasankar. Chemically modified wheat flours in noodle processing: effect on *in vitro* starch digestibility and glycemic index [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2015, 4: 575-585
- [31] S J Hur, S J Lee, S Y Lee, et al. Effect of emulsifiers on microstructural changes and digestion of lipids in instant noodle during *in vitro* human digestion [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 60: 630-636