

米茶的消化特性研究

熊礼橙, 赵思明, 牛猛, 刘友明, 胡志全

(华中农业大学食品科技学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 以大米为原料, 经浸润和焙炒等工序制得米茶。分别采用胰酶-糖化酶和胃蛋白酶-胰蛋白酶模拟淀粉和蛋白质在人体中的消化进程, 研究动植物油脂、焙炒时间和焙炒温度对米茶淀粉和蛋白消化特性的影响, 为米茶的加工提供基础数据。焙炒工艺会影响米茶的消化特性; 焙炒可抑制米茶中淀粉的消化过程, 有利于血糖指数的降低; 添加油脂对米茶的消化有明显的抑制作用, 对米茶消化液中葡萄糖含量有显著下降作用, 但油脂的种类对淀粉的消化率抑制影响不大; 过高的焙炒温度(200℃以上)和时间(35 min以上)会使米茶蛋白质的消化性能降低; 焙炒对米茶消化后的绝对氨基酸含量基本无影响, 焙炒会降低米茶酶解消化后游离赖氨酸和苏氨酸的含量, 但适宜的焙炒条件对必需氨基酸的含量影响不大。

关键词: 米茶; 焙炒; 淀粉; 蛋白质; 消化特性

文章编号: 1673-9078(2017)3-88-92

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.3.014

Characteristics of Rice Tea Digestion

XIONG Li-cheng, ZHAO Si-ming, NIU Meng, LIU You-ming, HU Zhi-quan

(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Rice tea made from soaked and roasted rice was subjected to pancreatic enzyme (glucoamylase and pepsin-trypsin) treatment in order to simulate the digestion of starch and protein in the human body. The effects of animal and vegetable oils, roasting time, and roasting temperature on the characteristics of rice tea starch and protein digestion were investigated to provide a theoretical basis for optimizing the rice tea roasting process. The digestive characteristics were significantly affected by the roasting process, which inhibited starch digestion and thus could reduce the glycemic index. Addition of oil also had significant inhibitory effects on the digestion of rice tea, which involved reducing the amount of glucose in the digestion products, but the type of oil used had little effect on the inhibition of starch digestibility. A higher roasting temperature (above 200 °C) or time (above 35 min) could reduce the digestibility of the rice tea protein. However, roasting had little effect on the absolute amino acid contents of rice tea after digestion. Although the lysine and threonine contents were decreased by the roasting process, the contents of essential amino acids remained unchanged when the appropriate roasting process was conducted.

Key words: rice tea; roasting; starch; protein; digestive characteristics

米茶为湖北和湖南等地的传统特色食品, 是以大米为主要原料, 经过焙炒干燥制得, 可直接食用, 也可用清水煮成一种金黄色或棕色的清汤饮品^[1]。焙炒是米茶的重要加工工序, 适宜的焙炒工艺有利于增强米茶茶汤黄绿色和色彩纯度, 使感官品质增强^[2]。淀粉和蛋白质是米茶的两大营养素, 高温焙炒可使米茶中淀粉和蛋白质大分子物质发生降解, 分子质量减小, 形态、结构和功能性质发生改变, 并伴有美拉德和焦糖化反应, 从而赋予米茶独特的色泽、滋味和香气^[3]。

淀粉和蛋白质是米茶的两大营养素。米茶中淀粉

消化的最主要场所在十二指肠处, 由胰腺分泌的淀粉酶经胰腺导管分泌到十二指肠中将淀粉分解成糊精和麦芽糖, 再在小肠粘膜的刷状缘上分解成葡萄糖, 最后进入血液被人体吸收。米茶热加工过程条件可影响淀粉的糊化程度和酶解特性, 从而决定最终被人体吸收的葡萄糖量。碳水化合物中加入油脂后, 血糖应答水平会下降^[4]。米茶中的蛋白质必须经人体消化分解成为结构简单的小分子肽和氨基酸等有机物质, 才能被人体组织利用。焙炒的温度和时间对蛋白质的变性有较大影响, 从而影响蛋白质的消化性和营养特性。目前对于米茶焙炒工艺的研究较多集中在米茶的风味方面, 对于米茶营养特性的研究多集中在原料本身所含有的营养特征和功效, 对米茶加工工艺对其营养品质影响的研究较少^[2,5-6]。

本研究采用胰酶-糖化酶和胃蛋白酶-胰酶建立体外消化模型以模拟体内消化环境, 研究焙炒对米茶消

收稿日期: 2016-02-07

基金项目: 湖南省科技重大专项 (2014FJ1008)

作者简介: 熊礼橙 (1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏

通讯作者: 赵思明 (1963-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品大分子及功能特性

化特性的影响,为开发适合糖尿病人食用的低血糖生成指数的产品提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

大米(扬两优6号籼米),华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室;食物植物油(金龙鱼大豆油),益海嘉里(武汉)粮油有限公司;食用动物油(猪油),农贸市场。

1.2 主要试剂

胰酶,42.21 U/mg, Amresco;胃蛋白酶,148.93 U/mg, Sigma 公司;糖化酶,20000 u/mL,无锡酶制剂厂;葡萄糖试剂盒,上海名典生物工程有限公司。

1.3 仪器与设备

EB-460 型单头立式炒锅,广州西厨杰冠设备厂;722S 分光光度计,上海精密科学仪器有限公司;3L-2200H 电子天平,北京赛多利斯天平有限公司;HH-2 型恒温水浴锅,国华电器有限公司;TDL-5A 型离心机,湖南星科科学仪器有限公司;日立 L-8800 型氨基酸自动分析仪,日本日立公司生产。

1.4 方法

1.4.1 淀粉的体外消化模型

淀粉体外消化实验参照 Englyst 等^[7]报道的胰酶-糖化酶分步酶解实验模型进行,略有改动。称取 1 g 左右的米茶或米饭,经研磨充分后移入 100 mL 锥形瓶中,加入动植物油脂的米茶或米饭样品组按所含淀粉质量(干基)的 2 倍加入锥形瓶与之混合,先加入 15 mL 的 pH=6.9 的醋酸盐缓冲溶液(醋酸钠和冰醋酸),放入 37 °C 的水浴振荡器里平衡 5 min,再加入 10 mL、1%的胰酶和 10 mL、1%的糖化酶,37 °C 恒温水浴振荡,在消化的 0 min、20 min、55 min、90 min、120 min 和 240 min 分别取样 0.5 mL,加入 4 mL 无水乙醇灭酶活,4500 r/min 离心 10 min,取上清液测定其还原糖和葡萄糖含量。

淀粉的消化率为:

$$\text{淀粉消化率}(\%) = \frac{\text{还原糖含量} \times 0.9}{\text{淀粉总量}} \times 100$$

还原糖含量的测定:取用 1.4.2 的方法得到的上清液加蒸馏水稀释 10 倍,吸取稀释样 0.5 mL 采用 DNS 法(3,5-二硝基水杨酸法)测定吸光值 A_0 ,从标准曲线($A_0=0.5646x-0.0138$, $R^2=0.9989$;其中 x 代表还原糖浓

度 $\mu\text{g/mL}$, A_0 代表样品吸光值)算出对应的还原糖浓度。以每克绝干淀粉产生还原糖含量(mg/g)计。

葡萄糖含量的测定:取 1.4.2 的方法得到的上清液与葡萄糖单试剂盒的测定试剂 1.8 mL 于试管中,混匀,37 °C 反应 7 min,以蒸馏水为空白,500 nm 处比色测定其吸光值 A_1 ;取 0.012 mL 葡萄糖标准品(浓度为 5.68 mmol/L)代替样品,同法测其吸光值 A_2 ;葡萄糖含量以每克绝干淀粉产生葡萄糖含量(mg/g)计。

根据 Goni 等^[8]人对体内、体外淀粉水解指数(HI)和预估血糖指数 EGI 之间有好的相关性($R^2=0.894$),利用线性回归方程 $\text{EGI}=39.71+0.593 \text{ HI}_{(90 \text{ min})}$ 估算血糖。

1.4.2 蛋白质的体外消化模型

蛋白质体外消化实验参照 Chavan 等^[9]报道的胃蛋白酶-胰蛋白酶分步酶解实验模型进行,略有改动。取 3 g 左右的米茶,经研磨充分后移入 100 mL 锥形瓶中,加入 30 mL、0.01 mol/L 的盐酸,37 °C 恒温水浴 5 min,加入 0.03 g 的胃蛋白酶,37 °C 恒温水浴振荡,在 0 min、20 min、55 min、90 min、120 min 时分别取样 0.5 mL,立即沸水浴灭活 5 min,然后定容 5 mL,4500 r/min 离心 10 min,120 min 时将消化液用 0.1 mol/L 的氢氧化钠溶液调 pH 为 7.0,然后加入 0.03 g 的胰蛋白酶,37 °C 恒温水浴振荡,在 10 min、30 min、60 min、90 min 和 120 min 时取样 0.5 mL,沸水浴灭活 5 min,定容至 5 mL,4500 r/min 离心 10 min,测定上清液中可溶性蛋白含量,以每克蛋白质产生可溶性蛋白的含量(mg/g)表示蛋白质的消化性。

酶解过程中可溶性蛋白质含量的测定采用 Folin-酚试剂法。样品总蛋白含量的测定采用凯氏定氮法。

1.4.3 游离氨基酸组成的测定

取酶解消化后的米饭样品或米茶样品,加乙醇沉淀去除小分子肽和残留蛋白。样品离心后的上清液用邻苯二甲醛柱前衍生后测定游离氨基酸组成^[10]。

1.4.4 实验设计

制作工艺流程为:大米→浸润→焙炒→冷却→装袋包装。

大米浸润时加水量为 10%,浸润时间为 10 min,焙炒温度为 180 °C,焙炒时间为 35 min。浸润加水量、浸润时间、焙炒温度及焙炒时间参数是以米茶感官评分为指标由正交试验所得最佳工艺参数。油脂对米茶淀粉消化特性的影响实验中设计米茶的焙炒温度 180 °C,焙炒时间为 35 min。蛋白的体外消化实验中,在研究焙炒时间对可溶性蛋白含量的影响时焙炒温度设定在 180 °C,在研究焙炒温度对可溶性蛋白含量的影响时焙炒时间设定在 35 min,在对米茶蛋白质体外消化后消化液的氨基酸组成进行分时米茶的焙炒温度

为 180 ℃，焙炒时间为 35 min。

1.4.5 数据处理

采用 SAS 和 Excel 对数据进行处理。

2 结果与分析

2.1 油脂对米茶淀粉消化特性的影响

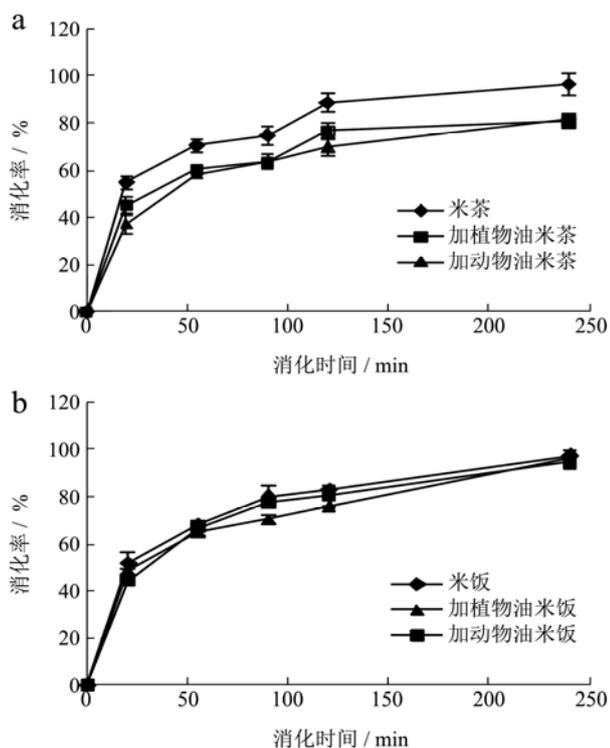


图 1 油脂对淀粉消化率的影响

Fig.1 Effects of oil on the digestibility of starch

注：a，米茶；b，米饭。

图 1 反映的是油脂对淀粉消化率的影响。由图 1a 可知，米茶中淀粉的消化是在 0~50 min 内快速上升，随着消化的进行而后趋于平缓，加入植物油和动物油后，米茶淀粉的消化率有明显的下降，其终点消化率的抑制率分别为 16.49%和 15.33%。相比于图 1b 米饭中淀粉的消化，加入油脂对米茶的消化抑制率要显著高于对米饭的消化抑制，米饭加入植物油和动物油后，其终点消化率的抑制率分别仅为 1.03%和 2.50%，这

表 1 米茶的血糖指数

Table 1 Glycemic index of rice (n=3, $\bar{x} \pm s$)

指标	淀粉消化率/%		血糖指数/%	
	米茶	米饭	米茶	米饭
不加油脂	74.50±2.57 ^{Ab}	80.36±3.15 ^{Aa}	83.89±1.52 ^{Aa}	87.36±2.71 ^{Aa}
加植物油	63.25±1.43 ^{Bb}	70.41±1.19 ^{Ba}	77.22±0.85 ^{Bb}	81.46±0.70 ^{Ba}
加动物油	63.57±0.46 ^{Bb}	78.10±0.27 ^{Aa}	77.40±0.27 ^{Bb}	86.02±1.03 ^{ABa}

注：表中小写字母表示同行数据之间(米饭与米茶间)的差异性；大写字母表示相同样品的同列数据之间(油脂加入间)的差异性；字母相同表示差异不显著($p>0.05$)；字母不同表示差异显著($p<0.05$)。

说明油脂对米饭中淀粉的消化抑制作用较弱。由图 1 可知油脂的种类对淀粉的消化率抑制影响不大，动物油对米茶的淀粉消化平均抑制率要高于植物油，而最终抑制效果较接近。

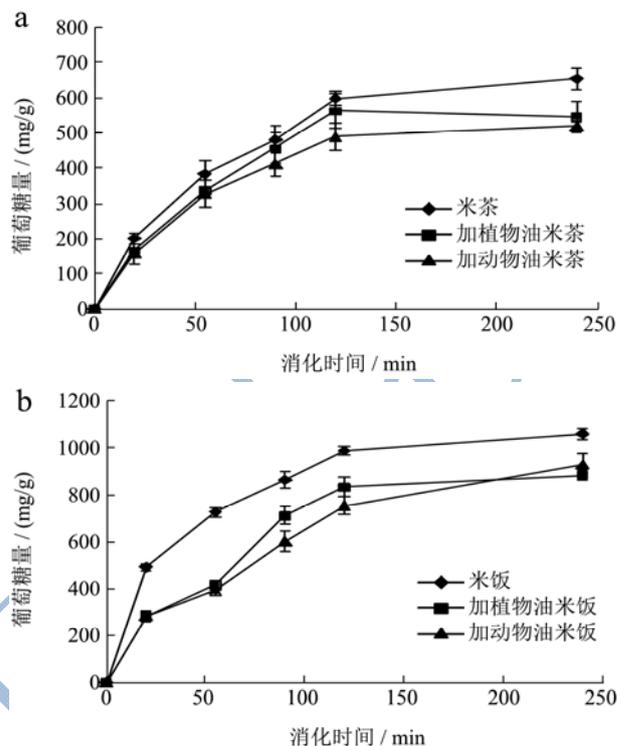


图 2 消化过程中葡萄糖含量的变化

Fig.2 Changes in the amounts of glucose in the digestive process

注：a，米茶；b，米饭。

淀粉的消化最终转化成葡萄糖才能为人体吸收转化为血糖。图 2a 和 2b 是米茶和米饭在体外消化过程中每克淀粉产生葡萄糖的含量变化。随着消化的进行，消化液中葡萄糖的含量急剧上升，在 150 min 后基本趋于平缓，最终米饭的消化液中葡萄糖含量高达 1000 mg/g，米茶的终点葡萄糖浓度仅为 650 mg/g，米茶的消化对血糖的贡献要小于米饭的消化。油脂的加入对米饭和米茶消化液中葡萄糖含量均有显著下降作用，使得米饭和米茶终消化液中葡萄糖含量分别降为 800 mg/g 左右和 500 mg/g 左右，这说明油脂对淀粉消化过程中葡萄糖含量的控制有一定作用。

米茶淀粉的血糖指数如表 1 所示。由表 1 可知，米饭的血糖指数为 87，属于高血糖指数食物，而米茶经过了焙炒过程其血糖指数降低，消化率降低。油脂的种类对血糖指数下降差异性不显著，加入油脂后米茶的血糖指数下降为 77，降低了血糖应答水平，且显著高于油脂对米饭血糖指数的降低程度。

2.2 焙炒对米茶蛋白质消化性的影响

人体内蛋白质的消化是从胃开始，在胃蛋白酶的作用下分解为多肽，然后在小肠内被胰蛋白酶作用，分解为氨基酸。大米蛋白质是人体优质蛋白的来源，含量约占 8% 左右，具有较低的过敏性，非常适合人们食用。本实验通过两段消化来模拟人体内大米蛋白质的消化情况，主要分为胃消化段和肠消化段，涉及的主要蛋白酶为胃蛋白酶和胰蛋白酶，以研究焙炒时间和温度对米茶蛋白质的消化影响。

2.2.1 焙炒时间对米茶蛋白质消化性的影响

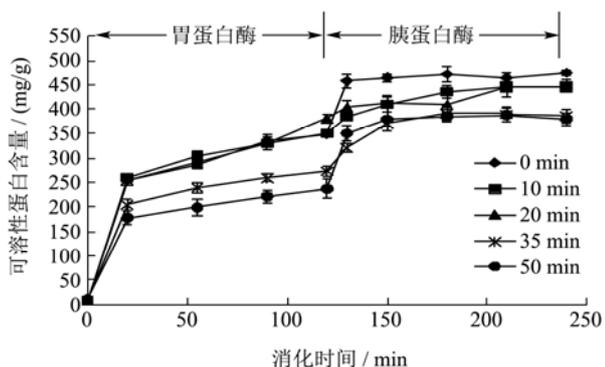


图 3 不同焙炒时间下米茶消化过程中可溶性蛋白含量

Fig.3 Soluble protein content of rice tea at different roasting times during the digestion process

图 3 是焙炒时间对米茶酶解过程中可溶性蛋白含量的影响。米茶在消化过程中，随着时间的延长可溶性蛋白的含量上升，加入胃蛋白酶后的 30 min 内可溶性蛋白的含量上升较快，随后缓慢增加，胃蛋白酶消化阶段结束后，在最初的 30 min 又出现一个急速上升的台阶，之后趋于平稳。这是因为胃蛋白酶的作用位点与胰蛋白酶的作用位点不同，加入胰蛋白酶后，能够被其利用但不能被胃蛋白酶作用的蛋白质或多肽被进一步水解，游离氨基酸含量出现阶梯式的上升^[11]。在消化过程中，随着焙炒时间的延长，蛋白消化性呈下降趋势，终点消化率焙炒 10 min 和 20 min 的较接近，35 min 和 45 min 的比较接近。这可能是高温焙炒下蛋白质和糖类发生复合，氨基酸侧链改变，阻碍了胃蛋白酶和胰蛋白酶的作用，形成横向耦合，致使消化过程中可溶性蛋白含量的下降。

2.2.2 焙炒温度对米茶蛋白质消化性能的影响

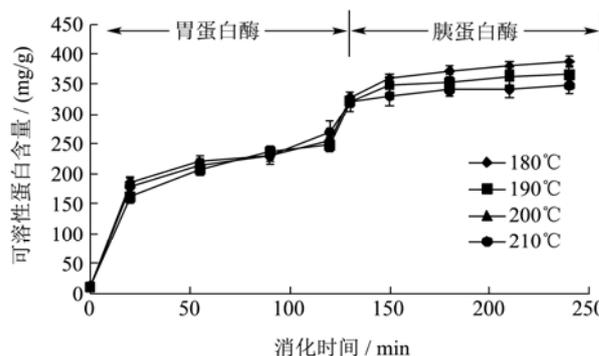


图 4 不同焙炒温度下米茶消化过程中可溶性蛋白含量

Fig.4 Soluble protein content of rice tea at different roasting temperatures during the digestion process

图 4 为焙炒温度对米茶中蛋白质的消化性的影响。由图知，在胃消化阶段四种焙炒温度米茶的蛋白质的消化曲线非常接近，但是进入胰蛋白酶消化后，不同米茶的蛋白消化性出现显著差异，180 °C 下焙炒的米茶的消化液中可溶性蛋白含量最高，190 °C 和 200 °C 下焙炒的米茶的蛋白质消化性差异较小，210 °C 焙炒的米茶的消化液中可溶性蛋白的含量最低，这说明焙炒温度越高，其米茶中蛋白质的消化性越差，可能原因是蛋白质在高温和长时间加热条件下过度变性，内部疏水基团暴露，蛋白质相互缔结而沉淀，也可能是蛋白质与其他大分子发生相互作用，形成交联结构隐蔽了酶作用位点，致使其蛋白消化性降低^[12]。

2.2.3 消化液氨基酸的组成分析

对模拟米茶蛋白质体外消化后消化液的氨基酸组成进行分析，以米饭为对照，结果如表 2 所示。蛋白质的必需氨基酸组成以 FAO/WHO 模式为标准^[13]。由表 2 知，米茶消化后的绝对氨基酸含量总和与米饭相比基本保持不变，谷氨酸在所有氨基酸中含量最高。焙炒使得米茶蛋白质中 8 种必需氨基酸含量有所下降，米饭中必需氨基酸含量为 34.74%，米茶中为 33.61%。相比于米饭，米茶经过焙炒后大米蛋白质中第一限制性氨基酸赖氨酸含量相比其它含量下降最大，氨基酸评分最低，这是因为米茶在焙炒过程会伴有美拉德反应，碱性氨基酸赖氨酸和精氨酸在美拉德反应中起着重要作用，其反应速度快于其它氨基酸，更易与糖类化合物反应。第二限制性氨基酸苏氨酸含量也有所降低。疏水性氨基酸脯氨酸、苯丙氨酸、丙氨酸和酪氨酸含量增加，这说明美拉德反应中疏水性氨基酸与羰基结合能力较弱。含硫氨基酸胱氨酸含量下降，是因为含硫氨基酸在米茶焙炒过程发生的美拉德反应中通过 streckers 降解生产硫化氢，而后硫化氢通过反应形成含硫的噻吩及噻唑等杂环类的气味物质^[14]。整体而言，除大米中第一限制性氨基酸外，米茶

的氨基酸评分均较高,与米饭营养类似,是优质蛋白质来源,食用时可适当搭配其他食物以补充大米中限制氨基酸的摄入量,均衡营养。

表2 米茶蛋白质消化液的氨基酸组成及评价

Table 2 Amino acid composition of protein digestive juices of rice tea

氨基酸名称	米茶相对含量/%	米饭相对含量/%	氨基酸名称	FAO/WHO模式/(mg/g)	米茶		米饭	
					相对含量/%	氨基酸评分	相对含量/%	氨基酸评分
天冬氨酸	8.51	8.47	赖氨酸	55	2.98	54.2	3.81	69.3
丝氨酸	7.23	7.63	苏氨酸	40	2.98	74.5	3.39	84.8
谷氨酸	22.13	22.03	蛋氨酸+胱氨酸	35	2.98	85.1	3.39	96.9
甘氨酸	4.68	4.24	异亮氨酸	40	3.4	85.0	3.39	84.8
丙氨酸	6.38	5.93	亮氨酸	70	9.36	133.7	9.32	133.1
精氨酸	8.51	9.32	苯丙氨酸+酪氨酸	50	8.09	161.8	6.78	135.6
脯氨酸	5.11	4.24	缬氨酸	60	5.53	92.2	5.93	98.8
组氨酸	2.13	2.12	绝对含量总和/%			2.35		2.36

3 结论

与米饭相比,采用适宜的焙炒条件制作米茶,有利于抑制淀粉的消化过程。油脂能抑制米茶淀粉消化过程中血糖指数的生成。过高的焙炒温度(200℃以上)和时间(35 min 以上)会使米茶蛋白质的消化性能降低。焙炒对米茶蛋白质质量有影响,赖氨酸和苏氨酸含量有所下降,但适宜的焙炒条件对必需氨基酸含量影响不大。

参考文献

- [1] 陈强,陶兴无,高冰,等.传统米茶和功能米茶成分分析的研究[J].食品工业科技,2009,30(6):328-329
CHEN Qiang, TAO Xing-wu, GAO Bing, et al. Analysis on the composition of traditional rice-tea and function rice-tea [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(6): 328-329
- [2] 余小映,沈硕,韩文芳,等.米茶的焙炒工艺研究[J].中国粮油学报,2012,27(7):91-96
YU Xiao-ying, SHEN Shuo, HAN Wen-fang, et al. Study on roasted process of rice tea [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(7): 91-96
- [3] Malgorzata W, Konrad P M, Zielinski H. Effect of roasting time of buckwheat groats on the formation of Maillard reaction products and antioxidant capacity [J]. Food Chemistry, 2016, 196: 355-358
- [4] Annor G A, Marcone M, Corredig M, et al. Effects of the amount and type of fatty acids present in millets on their *in vitro* starch digestibility and expected glycemic index [J]. Journal of Cereal Science, 2015, 64: 76-81
- [5] 王玉芳,熊善柏,赵思明.正交试验法优化新型米茶制作工艺[J].食品科学,2012,33(20):357-360
WANG Yu-fang, XIONG Shan-bai, ZHAO Si-ming. Process optimization for the development of new types of rice tea by orthogonal array design [J]. Food Science, 2012, 33(20): 357-360
- [6] 赵阿丹,胡志全,刘友明,等.米茶焙炒挥发性气味的形成与特征研究[J].中国粮油学报,2016,31(3):1-6
ZHAO A-dan, HU Zhi-quan, LIU You-ming, et al. The formation and characteristics of volatile odor in roasted rice tea [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(3): 1-6
- [7] Englyst H N, Kingman S M, Cummings J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions [J]. European journal of Clinical Nutrition, 1992, 46(2): 33-50
- [8] Goni I, Garcia-Aionso A, Saura-Calixto F. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products source [J]. Food Chemistry, 1996, 56(4): 445-449
- [9] Chavan U D, Mckenzie D B, Shahidi F. Functional properties of protein isolates from beach pea (*Lathyrus maritimus* L.) [J]. Food Chemistry, 2001, 74: 177-187
- [10] Sheng-quan Shen, Yan Wang, Mei Li, et al. The effect of anaerobic treatment on polyphenols, antioxidant properties, tocopherols and free amino acids in white, red, and black germinated rice [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 19: 641-648
- [11] Xian-sheng Wang, Chuan-he Tang, Xiao-quan Yang, et al. Characterization, amino acid composition and *in vitro* digestibility of hemp (*Cannabis sativa* L.) proteins [J]. Food

- Chemistry, 2008, 107(1) : 11-18
- [12] Ezeogua L I, Duodu K G, Taylorjm et al. Effects of endosperm texture and cooking conditions on the *in vitro* starch digestibility of sorghum and maize flours [J]. Journal of Cereal Science, 2005, 42(1): 33-44
- [13] FAO/WHO. Energy and protein requirements: report of a joint FAO/WHO ad hoc expert committee [R]// FAO Nutrition Meeting Report Series No. 52, WHO Technical Report Series No. 522, Geneva, 1973
- [14] 李丽,高彦祥,袁芳.坚果焙烤香气化合物的研究进展[J].中国食品添加剂,2012,12:164-169
- LI Li, GAO Yan-xiang, YUAN Fang. Research advance of volatile flavor compounds from roasted nuts [J]. China Food Additives, 2012, 12: 164-169

现代食品科技