

黑豆皮多酚提取物体外对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活性的影响

郝飞龙, 梁 骁, 范 莹, 张 璇, 王晓闻*

(山西农业大学食品科学与工程学院, 太谷 030801)

摘 要: **目的** 以小麦粉、大米粉、小米粉、玉米粉 4 种常食用谷物和 4-硝基酚- α -D-吡喃葡萄糖苷(4-Nitrophenyl- α -D-glucopyranoside, pNPG)为底物, 研究在不同底物下不同浓度黑豆皮多酚提取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活性的影响, 同时探明其对酶的抑制动力学。**方法** 采用大孔树脂纯化黑豆皮提取物, Folin-Ciocalteu 比色法测定多酚含量, 分光光度法测其抑制率, 多重比较分析不同底物及不同浓度提取物的差异。**结果** 提取物溶液浓度与抑制作用呈量效关系: 当抑制剂浓度为 0.25、0.5、1、2 mg/mL 时谷豆类底物间抑制率存在显著差异($P < 0.05$), 4、6 mg/mL 时差异不显著; 经纯化后多酚含量(78.3%)较纯化之前(39.5%)显著提高, 同时其对酶抑制作用较纯化之前显著增强; 动力学分析结果表明黑豆皮多酚提取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶两种酶的抑制类型分别为竞争性抑制和非竞争性抑制类型。**结论** 黑豆皮多酚提取物在体外对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶均具有较强的活性抑制作用。

关键词: 黑豆皮多酚提取物; 谷物; α -淀粉酶; α -葡萄糖苷酶; 酶活性抑制

Effects of polyphenol extracts from black soybean seed coat on the activity of α -amylase and α -glucosidase *in vitro*

HAO Fei-Long, LIANG Xiao, FAN Ying, ZHANG Xuan, WANG Xiao-Wen*

(College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of different concentrations of black bean polyphenol extracts on the activity of α -amylase and α -glucosidase, and to prove the inhibition kinetics of the enzyme, with 4 kinds of regular consumption of cereals (including wheat flour, rice flour, millet flour and corn flour) and pNPG as substrates. **Methods** Black bean peel was extracted by macroporous resin. The total polyphenol content was determined using Folin-Ciocalteu assay. The inhibition rate was measured by spectrophotometry. Analysis of variance and significant differences were performed with multiple comparisons. **Results** There was a dose effect relationship between total polyphenol content and enzyme inhibitory effect. The differences between the different grain substrates were remarkable when the concentrations of inhibitor were 0.25, 0.5, 1, and 2 mg/mL, while there was no obvious difference when the concentrations were 4 and 6 mg/mL. The purity of polyphenol was significantly increased from 39.5% to 78.3% by using macroporous resin after purification, and its enzyme inhibitory effect was enhanced significantly than before purification. The kinetic analysis showed that the inhibition of black soybean seed coat polyphenol extracts on α -amylase was competitive inhibition, and the inhibition on α -glucosidase was noncompetitive

*通讯作者: 王晓闻, 教授, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: wwwx11@163.com

*Corresponding author: WANG Xiao-Wen, Professor, College of Food Science and Engineering & Shanxi Agricultural University, No.1, Xingnong Street, Mingxian South Road, Taigu 030801, China. E-mail: wwwx11@163.com

inhibition. **Conclusion** Polyphenol extracts from black bean coat shows strong inhibitory effects on α -amylase and α -glucosidase *in vitro*.

KEY WORDS: black soybean seed coat polyphenol extracts; cereals; α -amylase; α -glucosidase; inhibitory effects

1 引言

黑豆, 又称乌豆。《本草纲目》记载有“常食黑豆, 可百病不生”^[1]。黑豆皮, 为黑豆种皮, 中药称“料豆衣”, 含有多功效成分^[2,3]。研究表明黑豆皮中花青素对由高脂肪、高蔗糖所诱发的高血糖症可以起到很好的抑制作用, 同时使高胰岛素血症恢复到完全正常状态^[4]; 多酚类化合物可以通过调节酶的活性来调节糖代谢^[5]; 紫 A₁、京薯 6 紫甘薯花青素和表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)^[6]、绿茶多酚^[7]、苹果多酚^[8]、苡种皮多酚^[9]、香椿叶多酚^[10]等对淀粉消化酶活性均具有抑制作用; 另有研究发现黑豆皮花色苷具有降低糖尿病小鼠高血糖的作用^[11,12]。但对黑豆皮多酚类提取物的降糖机制是否与抑制消化酶活性作用相关还未见报道。

α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶是在人体中主要参与消化淀粉等糖类物质的酶, 抑制其活性可以减缓其对碳水化合物的降解速率, 从而可以有效抑制餐后血糖的迅速升高^[8]。本实验分别以常食用的谷物小麦、大米、小米、玉米粉和 4-硝基酚- α -D-吡喃葡萄糖苷(4-Nitrophenyl- α -D-glucopyranoside, pNPG)为底物, 在体外模拟淀粉消化来研究黑豆皮多酚类提取物对淀粉消化酶活性的影响。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

2.1.1 原料

黑豆皮多酚提取物(含花青素 26.1%, 西安金绿生物工程有限公司); 小麦粉、大米、小米、玉米粉(太谷县东海市场), 使用万能粉碎机磨粉后过 100 目筛, 密封、干燥保存。

2.1.2 主要试剂

猪胰 α -淀粉酶(13 U/mg)、 α -葡萄糖苷酶(30000 U/mg, 来源黑曲霉)(北京索莱宝科技有限公司); pNPG(美国 Sigma 公司); 还原型谷胱甘肽(东京化成工业株式会社); 拜糖平(拜耳医药保健有限公司); HPD400 大孔树脂(郑州勤实科技有限公司); 没食子酸($\geq 98\%$, 合肥博美生物科技有限责任公司); 福林酚试剂(上海金穗生物科技有限公司); 磷酸氢二钾、3,5-二硝基水杨酸、氢氧化钠、磷酸二氢钾、四水酒石酸钠、无水亚硫酸钠、碳酸钠、无水乙醇(分析纯, 天津市光复精细化工研究所); 蒸馏水(山西农业大学设备处自制)。

2.1.3 主要仪器

BS 2443 电子分析天平(北京赛多利斯仪器有限公司); IKA 旋转蒸发仪(艾卡(广州)仪器设备有限公司); 数显恒温水浴锅(国华电器有限公司); 2100 型可见光分光光度计(上海尤尼柯仪器有限公司); DHG-9243BS-III型电热恒温鼓风干燥箱(上海新苗医疗器械制造有限公司); JDG-0.2 真空冻干试验机(兰州科近真空冻干技术有限公司); 循环水式多用真空泵(郑州长城科工贸有限公司); 电子万用炉(天津市泰斯特仪器有限公司); Thermo 移液枪(上海艾测电子科技有限公司); 万能粉碎机(江西赣云食品机械有限公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 猪胰 α -淀粉酶活性抑制实验

根据参考文献^[13,14]方法并稍加修改。黑豆皮多酚提取物配制浓度: 0.25、0.5、1、2、4、6 mg/mL。各类谷物的糊化: 1 g 样品溶到 100 mL 蒸馏水中, 在电炉上糊化 10 min, 糊化后 37 °C 恒温水浴。反应体系: 比色管中加入 0.5 mL 猪胰 α -淀粉酶(4 U/mL pH 6.8 磷酸盐缓冲液溶解)放入 37 °C 水浴锅中, 加入各浓度抑制剂溶液 1 mL, 预热 10 min 后。加入糊化后谷物溶液 0.5 mL 启动反应。体系在 37 °C 水浴中反应 5 min 之后, 加入 1 mL 3,5-二硝基水杨酸, 再经沸水浴中反应 5 min, 在冷却以后定容到 25 mL, 最后在 540 nm 处测其吸光值, 计算抑制率, 使用 Sigma Plot 软件计算其半抑制率 IC₅₀。以拜糖平为阳性对照。实验每组 3 个平行。见表 1。

$$\text{抑制率}(\%) = \frac{(A_{\text{空白}} - A_{\text{空白对照}}) - (A_{\text{抑制剂}} - A_{\text{背景对照}})}{(A_{\text{空白}} - A_{\text{空白对照}})} \times 100 \quad (1)$$

式中: $A_{\text{空白}}$: 空白组吸光度值; $A_{\text{空白对照}}$: 空白对照组吸光度值; $A_{\text{抑制剂}}$: 抑制剂组吸光度值; $A_{\text{背景对照}}$: 背景对照组吸光度值。

2.2.2 α -葡萄糖苷酶活性抑制实验

参考文献^[13,14]方法并稍做修改。将黑豆皮多酚提取物配制成 0.001、0.025、0.05、0.10、0.20、0.40、0.80 mg/mL 的溶液。比色管中加入 5 U/mL α -葡萄糖苷酶 100 μ L, 抑制剂 400 μ L, 1 g/mL 谷胱甘肽 100 μ L, 混合后与水浴锅中 37 °C 保温 10 min。随后加入 10 mmol/L 的 pNPG 100 μ L, 37 °C 下反应 10 min。之后加入 0.1 mol/L Na₂CO₃ 10 mL 终止反应。与 400 nm 处测其吸光值, 计算抑制率, 公式同公式 1, 并用 Sigma Plot 软件计算其 IC₅₀。以拜糖平为阳性对照。实验每组 3 个平行。见表 2。

表 1 α -淀粉酶活性抑制反应体系
Table 1 Reaction system of inhibition activity against α -amylase

	猪胰 α -淀粉酶(mL)	抑制剂(mL)	谷物面粉溶液(mL)	DNS(mL)
抑制剂组	0.5	1	0.5	1
背景对照组	等体积蒸馏水	1	0.5	1
空白组	0.5	等体积蒸馏水	0.5	1
空白对照组	等体积蒸馏水	等体积蒸馏水	0.5	1

表 2 α -葡萄糖苷酶活性抑制作用反应体系
Table 2 Reaction system of inhibition activity against α -glucosidase

	α -葡萄糖苷酶(mL)	抑制剂(mL)	pNPG(mL)	Na ₂ CO ₃ 溶液(mL)
抑制剂组	0.1	0.4	0.1	10
背景对照组	等体积蒸馏水	0.4	0.1	10
空白组	0.1	等体积蒸馏水	0.1	10
空白对照组	等体积蒸馏水	等体积蒸馏水	0.1	10

2.2.3 黑豆皮多酚的纯化和含量测定

采用 HPD400 大孔树脂纯化黑豆皮多酚提取物, 树脂预处理后^[12,15], 湿法填柱(3 cm×60 cm), 上样浓度 5 mg/mL, 吸附流速 2 mL/min, 吸附饱和后, 采用 70%的乙醇 4 BV 体积洗脱, 洗脱流速 2 mL/min。使用 Folin-Ciocalteu 比色法测定总多酚含量^[16]。

2.2.4 黑豆皮多酚提取物对猪胰 α -淀粉酶抑制作用的动力学分析

参照文献^[13,14]方法并稍做修改。固定猪胰 α -淀粉酶浓度(4 U/mL), 选取小麦面粉为底物, 浓度梯度(0.25%、0.5%、1.0%、2.0%), 黑豆皮多酚提取物浓度梯度(0、0.1、0.25 mg/mL), 测定其反应速率, 以(1/V)为纵坐标, 以(1/S)为横坐标, 绘制 Lineweaver-Burk 双倒数曲线, 确定出抑制剂对猪胰 α -淀粉酶的抑制类型。

2.2.5 对 α -葡萄糖苷酶抑制作用的动力学分析

参照文献方法^[13,17]稍做修改。固定 α -葡萄糖苷酶浓度(5 U/mL), 改变抑制剂浓度(0、0.05、0.1 mg/mL), 改变底物 pNPG 的浓度(2.5、5、10、15 mmol/L), 测定其反应体系的反应速率, 以(1/V)为纵坐标, 以(1/S)为横坐标, 绘制 Lineweaver-Burk 双倒数曲线, 确定抑制剂对 α -葡萄糖苷酶的抑制类型。

3 结果与分析

3.1 黑豆皮多酚提取物对猪胰 α -淀粉酶的抑制作用

不同的底物类型对酶活性的影响不同, 表 3 表明: 抑制剂浓度为 0.25 mg/mL 时, 除小麦粉与小米粉差异不显著

外, 其余之间均差异显著($P<0.05$); 浓度为 0.5 mg/mL 时, 各底物之间均差异显著($P<0.05$); 浓度为 1 mg/mL 时, 除小麦粉与玉米粉差异不显著外, 其余之间均呈现显著差异($P<0.05$); 在 2 mg/mL 浓度下, 大米粉与其它谷物差异显著($P<0.05$); 当浓度达到 4、6 mg/mL 时, 抑制率不同, 但各谷物间差异均不显著($P>0.05$)。其原因可能为不同谷物中所含淀粉种类和含量不同。实验过程中还发现糊化后的小麦粉中还原糖含量显著高于另外 3 种谷物。

3.2 黑豆皮多酚提取物纯化前后比较

运用 Folin-Ciocalteu 比色法测定黑豆皮提取物纯化前后总多酚含量。纯化前(花青素含量 26.1%)总多酚含量为 39.5%, 经 HPD400 大孔树脂纯化后总多酚含量显著提高至 78.3%。以小麦面粉为底物, 拜糖平为阳性对照, 比较纯化前后黑豆皮多酚提取物对 α -淀粉酶抑制作用, 结果见图 1。纯化后较纯化前对 α -淀粉酶抑制率显著提高, IC₅₀(纯化后)为 0.062 mg/mL, 低于拜糖平(IC₅₀ 0.15 mg/mL)。

3.3 黑豆皮多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用

黑豆皮多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用如图 2 所示。不同抑制剂浓度与抑制率之间存在量效关系, 伴随浓度增加, 抑制率也在逐渐增大。抑制剂浓度在 200 mg/L 时, 纯化后提取物抑制率已达到了 90%以上, 其 IC₅₀ 分别为 121.43 mg/L(纯化前)、55.62 mg/L(拜糖平)、27.37 mg/L(纯化后)。纯化后的多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶抑制率提高显著。由此可以看出黑豆皮多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶具有较强的抑制作用。

表 3 不同谷物类底物对 α -淀粉酶抑制率(%)的影响($\bar{x}\pm s, n=3$)
Table 3 Effect of different grain types on the inhibition rate (%) of α -amylase ($\bar{x}\pm s, n=3$)

谷物类别 (g/100 mL)	黑豆皮多酚提取物浓度(mg/mL)						IC ₅₀ (mg/mL)
	0.25	0.5	1	2	4	6	
小麦粉	35.40±1.20 ^a	43.20±2.06 ^b	52.60±1.24 ^b	65.30±1.32 ^a	72.00±0.97 ^a	90.10±2.13 ^a	0.78
大米粉	12.50±0.84 ^c	23.40±1.22 ^d	42.40±1.54 ^c	51.60±0.86 ^b	75.00±1.35 ^a	88.70±2.44 ^a	1.83
小米粉	38.20±0.78 ^a	51.70±1.84 ^a	65.20±2.33 ^a	73.50±1.53 ^a	78.30±2.42 ^a	85.40±3.23 ^a	0.46
玉米粉	22.30±0.95 ^b	35.30±2.35 ^c	53.80±2.10 ^b	70.40±3.01 ^a	79.60±1.65 ^a	89.50±2.36 ^a	0.81

注: 不同字母表示同列数据比较差异显著($P<0.05$)。

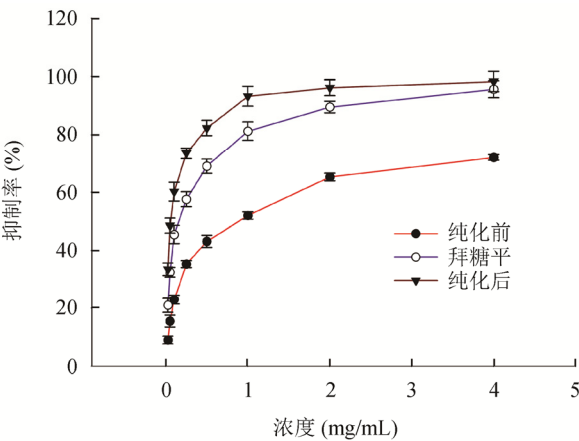


图 1 纯化前后黑豆皮多酚提取物对猪胰 α -淀粉酶的影响($n=3$)
Fig. 1 Effects of black bean peel polyphenols extract on pig pancreatic α -amylase before and after purification ($n=3$)

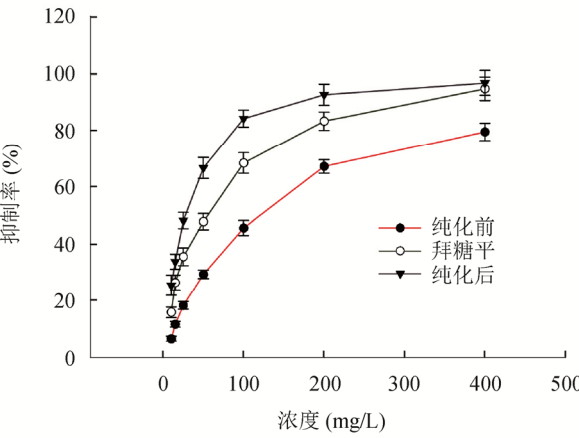


图 2 黑豆皮多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶的影响($n=3$)
Fig. 2 Effects of black bean peel polyphenols extract on α -glucosidase ($n=3$)

3.4 黑豆皮多酚提取物对猪胰 α -淀粉酶抑制作用的类型

固定猪胰 α -淀粉酶浓度, 分别改变底物和抑制剂浓

度, 绘制出的 Lineweaver-Burk 双倒数曲线见图 3。结果表明, 当加入不同浓度黑豆皮多酚提取物时, 各直线交于纵轴的截距相等, 当抑制剂的浓度增大时, K_m 值在逐渐增大, 然而最大反应速率 V_{max} 值基本不变趋于稳定, 因此可以推断出黑豆皮多酚提取物对猪胰 α -淀粉酶的抑制作用属于竞争性抑制类型。实验结果同文献中苹果多酚^[8]、苋种皮多酚^[9]对猪胰 α -淀粉酶的抑制类型一致。表明这几类多酚中含有相同或相似的组分, 有待进一步研究。

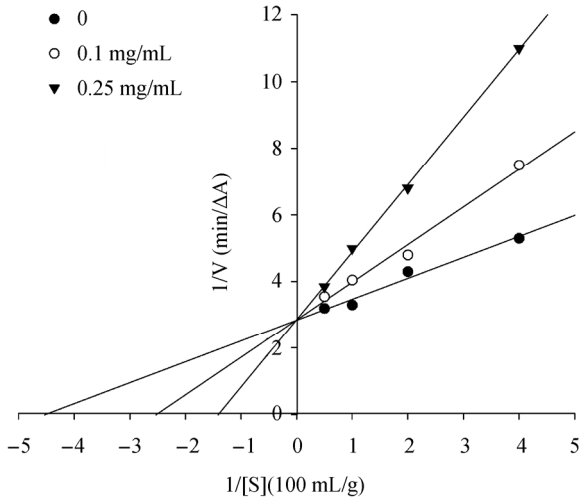


图 3 黑豆皮多酚提取物对猪胰 α -淀粉酶抑制作用的 Lineweaver-Burk 曲线
Fig. 3 Lineweaver-Burk plots for inhibition reaction of black bean peel polyphenols extract to pig pancreatic α -amylase

3.5 黑豆皮多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶抑制作用的类型

固定 α -葡萄糖苷酶浓度, 改变反应体系中黑豆皮多酚提取物和 pNPG 的浓度, 测定体系反应速率, 绘出的 α -葡萄糖苷酶的 Lineweaver-Burk 双倒数曲线见图 4。结果表明, 体系中存在不同浓度黑豆皮多酚提取物时, 各直线与横轴的截距相等, 随着抑制剂浓度的加大, 米氏常数 K_m 值

趋于稳定,最大反应速率 $V_{\max}$ 值在逐渐增大,这种现象属于酶非竞争抑制的特点,因而推断黑豆皮多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用属于非竞争性抑制类型。实验结果同文献中苹果多酚^[8]对 α -葡萄糖苷酶的抑制类型一致,与茨种皮多酚^[9]抑制类型(竞争性抑制)有所不同。表明这几类多酚中含有相同或相似和不同的组分,需进一步研究。

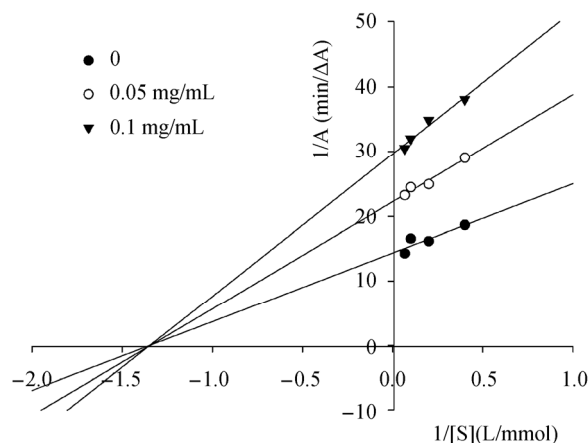


图4 黑豆皮多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶抑制作用的
Lineweaver-Burk 曲线

Fig. 4 Lineweaver-Burk plots for inhibition reaction of black bean peel polyphenols extract to α -glucosidase

4 讨论与结论

本实验以4种人们常食用的谷物和pNPG作为底物,体外模拟淀粉消化来研究黑豆皮多酚类提取物对淀粉消化酶活性的抑制作用。实验结果表明,黑豆皮多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶和猪胰 α -淀粉酶在体外均具有较好的活性抑制作用,动力学分析可以看出黑豆皮多酚提取物对 α -淀粉酶的抑制作用属于竞争性抑制类型,对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用属于非竞争性抑制类型。在低浓度抑制剂条件下,谷物类底物抑制率存在显著差异,较高浓度下抑制率差异不显著,出现这种现象的原因可能是因为不同谷物的淀粉含量以及淀粉中支链淀粉与直链淀粉含量不同造成的,需要进一步实验验证。提取物经纯化后较纯化前对糖化酶抑制作用显著增强,可以表明黑豆皮在开发辅助降低血糖的保健食品或药品方面上具有良好的潜力,下一步将对黑豆皮多酚中发挥功效作用的主要单体成分进行探究,同时对其在体内作用机制做进一步深入研究。

参考文献

- [1] 李时珍. 本草纲目[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2016.
- [2] 林纪伟. 黑豆皮中多酚类成分分析[D]. 天津: 天津科技大学, 2011.
- [3] Lin JW. Analysis of polyphenols in black soybean peel [D]. Tianjin:

Tianjin University of Science and Technology, 2011.

- [3] 刘杰, 张英蕾, 张守文. 黑豆多酚类物质研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2016(7): 207-212.
- [4] Liu J, Zhang YL, Zhang SW. Advances in studies on polyphenols from black bean [J]. China Food Addit, 2016(7): 207-212.
- [4] Jin HL, Nam S. Characterization of anthocyanins in the black soybean (*Glycine max* L.) HPLC-DAD-ESI/MS analysis [J]. Food Chem, 2009(112): 226-231.
- [5] 彭冰洁, 宋卓, 刘云龙, 等. 多酚类化合物对糖脂代谢影响的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 17: 270-275.
- [5] Peng BJ, Song Z, Liu YL, et al. Advances in the effects of polyphenols on glycolipid metabolism[J]. Food Sci, 2015, 17: 270-275.
- [6] 贺炜. 紫甘薯花青素精制及抗氧化和降血糖作用的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.
- [6] He W. Studies on anthocyanin purification, antioxidation and hypoglycemic effects of purple sweet potato [D]. Changsha: Hunan Agric Univ, 2010.
- [7] 李兰. 绿茶提取物的降血糖研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [7] Li L. Hypoglycemic effect of green tea extract [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [8] 刘杰超, 焦中高, 王思新. 苹果多酚提取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制作用[J]. 果树学报, 2011, 28(4): 553-557.
- [8] Liu JC, Jiao ZG, Wang SX. Inhibitory effect of apple polyphenol extract on α -amylase and α -glucosidase [J]. J Fruit Sci, 2011, 28(4): 553-557.
- [9] 伍城颖, 吴启南, 王红, 等. 茨种皮多酚提取物体外抑制 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶活性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(16): 91-94.
- [9] Wu CY, Wu QN, Wang H, et al. The study on the inhibition of α -glucosidase and α -amylase activity in vitro [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(16): 91-94.
- [10] 扶雄, 张伟, 朱思明, 等. 香椿叶多酚的提取分离及其体外对糖尿病关键酶活性的抑制作用[J]. 现代食品科技, 2014(7): 10-15.
- [10] Fu X, Zhang W, Zhu SM, et al. Extraction and isolation of polyphenols from Toona sinensis leaves and their inhibitory effects on key enzyme activities in diabetes [J]. Mod Food Sci Technol, 2014(7): 10-15.
- [11] 张继曼, 文汉. 黑豆皮花色苷的降血糖作用及其机理的研究[J]. 食品工业科技, 2011(3): 374-377.
- [11] Zhang JM, Wen H. Study on the hypoglycemic effect and mechanism of black soybean anthocyanin [J]. Sci Technol Food Ind, 2011(3): 374-377.
- [12] 王少波. 黑豆皮中花色苷的提取及纯化研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2008.
- [12] Wang SB. Study on extraction and purification of anthocyanin from black bean peel [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2008.
- [13] Park JH, Lee HS. Inhibitory effects of quinoline isolated from ruta chalepensis and its structurally related derivatives against α -Amylase or α -Glucosidase [J]. J Appl Biol Chem, 2015, 58(1): 5-8.
- [14] Gao JJ, Xu P, Wang YF, et al. Combined effects of green tea extracts, green tea polyphenols or epigallocatechin gallate with acarbose on inhibition against α -amylase and α -glucosidase in vitro [J]. Molecules, 2013, 18(9): 11614-11623.
- [15] 冯进, 李敏, 曾晓雄, 等. 大孔树脂纯化蓝莓叶多酚及其组成分析[J].

食品科学, 2013, 10: 86–91.

Fen J, Li M, Zeng XX, *et al.* Purification and analysis of polyphenols in blueberry leaves by macroporous resin [J]. Food Sci, 2013, 10: 86–91.

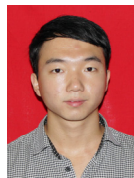
- [16] 赵晓娟, 李敏仪, 黄桂颖, 等. Folin-Ciocalteu 法测定苹果醋饮料的总多酚含量[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 31–35.

Zhao XJ, Li MY, Huang JY, *et al.* Determination of total polyphenols in apple vinegar beverage by Folin-Ciocalteu [J]. Food Sci, 2013, 34(8): 31–35.

- [17] Flores BL, Perez VA, Torres PM, *et al.* α -Glucosidase inhibitors from *vauquelinia corymbosa* [J]. Molecules, 2015, 20(8): 15330–15342.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



郝飞龙, 硕士研究生, 主要研究方向为食品营养与安全。

E-mail: feilonghao902@163.com



王晓闻, 博士, 教授, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: wwxxw11@163.com