

# 荔枝水溶性多糖作为 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的活性测定

张 钟, 吴文婷, 王 萍, 张 玲

(广东石油化工学院化学与生命科学学院, 广东 茂名 525000)

**摘 要:** 对荔枝果肉水溶性多糖(LCWSP)对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性影响进行研究, 以黑叶荔枝作为材料, 通过热水浸提、醇沉、离心得到LCWSP提取液, 经过脱色, Sevag法去蛋白, 透析除去离子后, 将LCWSP提取液加入 $\alpha$ -葡萄糖苷酶溶液中, 利用4-硝基酚- $\alpha$ -D-吡喃葡萄糖苷(PNPG)法测定 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性。结果表明: LCWSP对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有明显抑制作用, 且其抑制效果是阿卡波糖的1.25倍; LCWSP抑制作用的大小会受到温度、pH值、时间及LCWSP质量浓度的影响, 在单因素试验的基础上, 通过正交试验确定LCWSP对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制的最佳反应温度为30℃、pH值为6.8、时间25min、抑制剂质量浓度为80mg/mL。说明LCWSP对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用比较明显, 可以作为 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂; LCWSP可能具有降血糖的作用。

**关键词:** 荔枝水溶性多糖(LCWSP);  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂; 活性

## Activity Determination of Litchi Water-soluble Polysaccharide (LCWSP) as $\alpha$ -Glucosidase Inhibitor

ZHANG Zhong, WU Wen-ting, WANG Ping, ZHANG Ling

(College of Chemistry and Life Science, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China)

**Abstract:** Litchi water-soluble polysaccharide (LCWSP) was extracted from black leaf litchi through hot water extraction, alcohol precipitation, centrifugation, and then bleached and deproteinized by Sevag's method. After dialysis, LCWSP was added to  $\alpha$ -glucosidase solution and PNPG method was used to determine the activity of the enzyme. The results showed that LCWSP had an obvious inhibition effect on  $\alpha$ -glucosidase, which was 1.25 times as high as that of acarbose. Optimal enzyme reaction parameters were determined by orthogonal array design based on single factor analysis. The inhibitory effect of LCWSP was impacted by temperature, pH, time and polysaccharide concentration. The optimal temperature, pH, reaction time and concentration for LCWSP inhibitory effect on  $\alpha$ -glucosidase were 30 °C, 6.8, 25 min and 80 mg/mL, respectively. LCWSP had an obvious inhibitory effect on  $\alpha$ -glucosidase and could be used as an  $\alpha$ -glucosidase inhibitor. Meanwhile, LCWSP may have hypoglycemic effect, which provides a new direction for litchi processing and the development of functional foods.

**Key words:** LCWSP;  $\alpha$ -glucosidase inhibitor; activity

中图分类号: R965.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)13-0175-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201313038

$\alpha$ -葡萄糖苷酶( $\alpha$ -glucosidase)是一类能够从含有 $\alpha$ -糖苷键底物的非还原端催化水解 $\alpha$ -葡萄糖基酶的总称。它存在于人体小肠刷状缘上, 能够催化碳水化合物非还原末端的 $\alpha$ -1,4糖苷键水解并释放出葡萄糖的酶, 包括麦芽糖酶、异麦芽糖酶、蔗糖酶和海藻糖酶等。人体对淀粉、糊精、蔗糖等碳水化合物的利用吸收依赖于小肠刷状缘上该酶的活性<sup>[1]</sup>。目前, 临床上通过抑制 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性来治疗某些疾病已有报道, 研究最为成熟的

是治疗糖尿病的口服降糖药物 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂, 已被第三次亚太地区糖尿病治疗药物指南推荐为降餐后血糖的一线药物。如阿卡波糖(acarbose)、伏格列波糖(voglibose)、米格列醇(miglitol)等。临床证明阿卡波糖、伏格列波糖等治疗2型糖尿病有明显的降低餐后高血糖效果, 是较好的治疗糖尿病药物, 并且这些 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂几乎不被机体所吸收, 与 $\alpha$ -葡萄糖苷酶结合而成为游离状态, 以原型排出体外或者在大肠内经细菌发酵

收稿日期: 2012-04-11

基金项目: 广东省高等学校人才引进项目(201192); 广东石油化工学院人才引进项目(2010r2)

作者简介: 张钟(1962—), 男, 教授, 硕士, 研究方向为农产品贮藏与加工。E-mail: 47108887@qq.com

成为挥发气体排出体外<sup>[2]</sup>。 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂能够与小肠中的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的中心活性部位结合,阻抑酶活性的发挥,阻滞双糖水解为单糖,吸收时间后延,有效推迟并减轻糖尿病人餐后血糖升高的时间及进程,有助于控制糖尿病的发展尤其是并发症的发生<sup>[3]</sup>。

随着人们对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂认识的提高,食物化学领域逐渐将目光锁向天然食物来源 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的筛选和降血糖效应研究,主要集中于植物提取物。随来源物不同,天然 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂主要有多糖及糖苷类、黄酮类、生物碱类、酚酸类和萜类等。比如:茶叶中降血糖的有效成分是水溶性组分中的复合多糖,这种多糖可以显著抑制 $\alpha$ -葡萄糖苷酶<sup>[4]</sup>;豆类食品中,大豆提取物、豆芽、生物加工的豆制品、豆豉提取物被检到 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂样作用<sup>[5]</sup>;传统草药中天花粉、虎杖、人参、山药、麻黄、灵芝、大黄、山茱萸、赤芍、五倍子等<sup>[6]</sup>70余种中药中筛选出具有降血糖的成分,而某些成分具有类似酶抑制剂的作用<sup>[7]</sup>。

目前发现 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制剂性质可能是底物的类似物或者酶-底物中间体的类似物,也可能是与 $\alpha$ -葡萄糖苷酶通过可逆性结合、竞争性或者非竞争结合抑制酶的活性而发挥作用的,或者共同兼有。 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的作用方式是先形成糖-酶中间体,然后通过亚基间的酸性进行广义酸碱催化及亲核作用,形成碳阳离子过渡态物质,最终使糖水解<sup>[8]</sup>。许多学者在筛选植物提取物中的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂方面进行了大量的研究,他们利用生物导向鉴定、色谱、质谱等分析技术证明具有 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂作用的植物化学物主要有多糖、黄酮、生物碱、糖苷、皂苷、植物固醇等<sup>[9]</sup>。

荔枝为无患子科荔枝属植物,是一种原产于我国的热带亚热带水果<sup>[10]</sup>。据中医记载,荔枝果肉有补脾、益肝、养血、悦颜等功效。近年来荔枝中的一些活性物质如花色苷、酚酸、多糖、原花色苷等已经引起了人们的关注。其中,对荔枝多糖的研究有利于揭示荔枝保健作用的物质基础和作用机理。目前对荔枝果肉水溶性多糖(LCWSP)的研究主要集中在其提取<sup>[11]</sup>及粗多糖的抗氧化方面<sup>[12-15]</sup>。但目前有关荔枝多糖降血糖、预防糖尿病方面的作用及其机理的研究未见报道。因此,本实验以荔枝为原料,从中提取纯化荔枝多糖,并就其对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性进行初步的研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

荔枝干(黑叶):自制,从茂名官渡市场购买新鲜黑叶荔枝,去掉枝叶和病、烂、裂果,用100℃热水烫30s,捞起沥干水后置60℃恒温干燥箱中干燥,贮存备用。

4-硝基酚- $\alpha$ -D-吡喃葡萄糖苷(PNPG)、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶 上海宝曼生物科技有限公司;阿卡波糖 拜耳医药保健公司;无水乙醇、正丁醇、氯仿、硝酸盐、磷酸二氢钾、无水碳酸钠、过氧化氢、氢氧化钠、盐酸,均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

榨汁机 山东九阳小家电有限公司;真空冷冻干燥机 北京松源华兴科技有限公司;旋转蒸发仪 上海雅荣生化仪器设备有限公司;低速离心机 长沙英泰仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 LCWSP的提取及纯化工艺

参考文献[13,15-16]中关于荔枝水溶性多糖的提取、纯化的研究,以及本实验对多糖活性的要求,采取以下的提取纯化工艺流程:荔枝干→除去壳、核→60℃热水浸泡20min→榨汁机捣碎打浆→在热水浴中浸提4h(料液比1:9)→趁热过滤→滤液冷却→离心去渣(4500r/min、20min)→真空浓缩为原来溶液的1/5→用H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>脱色→Sevag法脱蛋白→蒸馏水透析去离子→加入4倍体积的无水乙醇沉淀多糖→置冰箱12h→离心(4500r/min、10min)→沉淀用适量80%乙醇洗涤两遍→真空冷冻干燥→荔枝多糖。

##### 1.3.1.1 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>脱色<sup>[16]</sup>

按体积分数15%的比例边搅拌边滴入体积分数30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>脱色,用0.1mol/L NaOH调节溶液为pH 8~9,50℃保温4h,立即冷却至室温,用0.1mol/L HCl调溶液pH值至7.0,加4倍体积的无水乙醇,置冰箱12h,离心(4500r/min、10min),收集沉淀,沉淀用热水溶解。

##### 1.3.1.2 Sevag法脱蛋白<sup>[17]</sup>

往多糖溶液中加入Sevag试剂(正丁醇-氯仿混合液(1:4, V/V)),样液与试剂的体积比2:1,磁力搅拌器高速搅拌20min,离心,取上清液,小心取出上层多糖溶液,弃去下层有机相和蛋白沉淀,重复以上操作,直至无白色变性蛋白析出为止。

##### 1.3.1.3 透析去离子<sup>[18]</sup>

将上述的多糖溶液灌入透析袋中,置于装有蒸馏水的烧杯中进行透析,每4h换一次水,直至用硝酸银检验无白色沉淀为止。

### 1.3.2 LCWSP对葡萄糖苷酶抑制作用的测定<sup>[19]</sup>

$\alpha$ -葡萄糖苷酶活力单位定义为:在37℃、pH 6.8的条件下酶液每分钟水解PNPG释放1 $\mu$ mol对硝基酚(PNP)的酶活力。抑制剂活力单位定义为:在相同的条件下,降低1个酶活力单位所需抑制剂的量<sup>[20]</sup>。

### 1.3.3 LCWSP抑制的单因素试验

#### 1.3.3.1 不同质量浓度的LCWSP对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用

分别选取抑制剂质量浓度为20、40、60、80、

100mg/mL, 在同样温度、时间及pH值条件下进行酶反应, 终止后, 测其吸光度, 对比抑制剂质量浓度对抑制活力的影响(每一质量浓度都做一空白对照)。

### 1.3.3.2 不同反应温度对LCWSP抑制作用的影响

在比色管中加入 $\alpha$ -葡萄糖苷酶及抑制剂溶液, 控制反应体系的pH值为6.8, 分别在温度30、35、40、45、50℃条件下保温10min, 再加入PNPG反应10min后, 终止反应, 反应终止时迅速冷却到室温, 测定荔枝多糖抑制的活力, 比较不同温度对LCWSP抑制作用的影响(作相应空白对照)。

### 1.3.3.3 不同反应pH值对LCWSP抑制作用的影响

在比色管中加入 $\alpha$ -葡萄糖苷酶及抑制剂溶液, 用1mol/L的NaOH调节反应体系的pH值为6.0、6.4、6.8、7.2、7.4, 在37℃保温10min后, 加入PNPG反应10min, 终止反应, 测定相应的吸光度, 比较不同pH值对荔枝多糖抑制作用的影响。

### 1.3.3.4 不同反应时间对LCWSP抑制作用的影响

在比色管中加入 $\alpha$ -葡萄糖苷酶及抑制剂溶液控制反应体系的pH值为6.8, 温度为37℃。在反应过程中, 分别控制抑制剂作用时间为5、10、15、20、25min, 比较在不同时间下抑制剂的抑制效果(作空白对照)。

## 1.3.4 LCWSP抑制的正交试验

在单因素试验的基础上, 选取LCWSP质量浓度、反应温度、反应pH值和反应时间为影响因素, 以酶活抑制率为响应值, 进行四因素三水平的正交试验。

## 2 结果与分析

### 2.1 LCWSP对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用

表1 LCWSP与阿卡波糖对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制效果

项目	LCWSP	阿卡波糖	酶管	LCWSP空白管
$A_{400nm}$	0.406	0.136	0.442	0.348
酶活抑制率/%	86.88	69.23		

由表1可知, LCWSP对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有与阿卡波糖一样的抑制作用, 且在相同的实验条件下, 其抑制作用的效果较阿卡波糖好, 是阿卡波糖的1.25倍。

### 2.2 抑制剂(LCWSP)质量浓度的影响

表2 抑制剂质量浓度对抑制作用的影响

质量浓度/(mg/mL)	20	40	60	80	100
$A_{(酶+LCWSP+PNPG)}$	0.400	0.406	0.417	0.431	0.469
$A_{(LCWSP+PNPG)}$	0.302	0.348	0.375	0.407	0.445
$A_{(酶+PNPG)}$			0.442		
酶活抑制率/%	77.83	86.88	90.50	94.57	94.57

注: 酶活抑制率/% =  $[1 - (A_{(酶+LCWSP+PNPG)} - A_{(LCWSP+PNPG)}) / A_{(酶+PNPG)}] \times 100$ 。

由表2可知, LCWSP对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用会随

着LCWSP质量浓度的升高而增强。当LCWSP质量浓度为20mg/mL时, 酶活抑制率为77.83%, 当质量浓度为80mg/mL时, 酶活抑制率达到94.57%, 说明LCWSP对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有非常强的抑制作用。

### 2.3 反应温度的影响

表3 反应温度对抑制作用的影响

温度/℃	30	35	40	45	50
$A_{(酶+LCWSP+PNPG)}$	0.456	0.408	0.373	0.380	0.390
$A_{(酶+PNPG)}$	0.413	0.407	0.384	0.364	0.322
$A_{(LCWSP+PNPG)}$			0.254		
酶活抑制率/%	58.75	61.79	69.01	65.38	57.76

注: 酶活抑制率/% =  $[1 - (A_{(酶+LCWSP+PNPG)} - A_{(酶+PNPG)}) / A_{(LCWSP+PNPG)}] \times 100$ 。

由表3可知, 虽然温度在一定的程度会影响抑制的效果, 但30~50℃的范围内, LCWSP对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用是比较平缓的, 当温度为30℃时, 酶活抑制率为58.75%, 40℃时, 酶活抑制率为69.01%, 50℃时, 酶活抑制率为57.76%, 这表明LCWSP的热稳定性较好, 温度对其抑制作用会产生较小的影响, 其中最佳的作用温度为40℃。

### 2.4 反应pH值的影响

表4 反应pH值对抑制作用的影响

pH	6.0	6.4	6.8	7.2	7.4
$A_{(酶+LCWSP+PNPG)}$	0.353	0.311	0.256	0.268	0.280
$A_{(酶+PNPG)}$	0.218	0.224	0.236	0.205	0.132
$A_{(LCWSP+PNPG)}$			0.227		
酶活抑制率/%	42.20	62.50	87.71	80.00	59.85

注: 酶活抑制率/% =  $[1 - (A_{(酶+LCWSP+PNPG)} - A_{(酶+PNPG)}) / A_{(LCWSP+PNPG)}] \times 100$ 。

由表4可知, LCWSP在pH值为6.0~7.6范围内变动时, 抑制活性有明显的变化, 当pH值为6.0时, 酶活抑制率才42.20%, pH值为6.8时, 酶活抑制率已经达到87.71%, 由此说明LCWSP的酸碱稳定性也不是很好, 最佳的pH值为6.8。

### 2.5 反应时间的影响

表5 反应时间对抑制作用的影响

时间/min	5	10	15	20	25
$A_{(酶+LCWSP+PNPG)}$	0.391	0.389	0.380	0.379	0.379
$A_{(酶+PNPG)}$			0.411		
$A_{(LCWSP+PNPG)}$			0.254		
酶活抑制率/%	66.67	67.15	69.34	69.59	69.59

注: 酶活抑制率/% =  $[1 - (A_{(酶+LCWSP+PNPG)} - A_{(LCWSP+PNPG)}) / A_{(酶+PNPG)}] \times 100$ 。

由表5可知, 80mg/mL的LCWSP抑制剂在5min内酶活抑制率达到66.67%, 20min内作用时间达到69.59%, 表明LCWSP与酶的结合比较迅速, 抑制作用比较强。



## 2.6 正交试验优化结果

表6  $L_9(3^4)$ 正交试验设计方案及结果  
Table 6 Results and analysis of orthogonal array design

试验号	因素				酶活抑制率/%
	A抑制剂质量浓度/(mg/mL)	B反应温度/℃	C反应pH	D反应时间/min	
1	1(60)	1(30)	1(6.4)	1(15)	82.0
2	1	2(40)	2(6.8)	2(20)	84.4
3	1	3(50)	3(7.2)	3(25)	82.8
4	2(80)	1	2	3	95.4
5	2	2	3	2	90.7
6	2	3	1	1	93.4
7	3(100)	1	3	1	91.6
8	3	2	1	3	91.7
9	3	3	2	2	93.8
$K_1$	249.2	269.0	267.1	267.0	
$K_2$	279.5	266.8	273.6	268.9	
$K_3$	277.1	270.0	265.1	269.9	
$k_1$	83.1	89.7	89.0	89.0	
$k_2$	93.2	88.9	91.2	89.6	
$k_3$	92.3	90.0	88.3	90.0	
极差R	10.1	1.1	2.9	1.0	

由表6极差分析结果可知,影响酶活抑制率的因素顺序为 $A>C>B>D$ ,最优水平组合为: $A_2B_3C_2D_3$ ,从抑制率最高的最优水平组合为4号试验,即 $A_2B_1C_2D_3$ ,由于因素B不同,经验证实验得出最佳水平为 $A_2B_1C_2D_3$ ,即最佳的抑制剂质量浓度为80mg/mL、反应温度为30℃、反应pH值为6.8、反应时间为25min。

## 3 讨论

饮食中的碳水化合物在 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的作用下,释放葡萄糖并经小肠吸收进入血液,是餐后血糖升高的主要原因<sup>[20]</sup>。餐后血糖升高可引起胰岛素敏感性降低从而加重病情并导致严重的并发症。因此, $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的调节控制,延缓碳水化合物的消化吸收,起到降低餐后血糖和糖化血红蛋白、减低血糖波动、防治糖尿病的有关并发症的作用<sup>[21]</sup>。

本实验表明LCWSP对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有明显的抑制作用,在同样的实验条件下其抑制效果是阿卡波糖的1.25倍。阿卡波糖是由拜尔公司研制开发的第一个用于临床的葡萄糖苷酶抑制剂,已在1995年得到FDA批准用于治疗II型糖尿病<sup>[22]</sup>。阿卡波糖可作为饮食治疗的辅助药物,是轻、中度高血糖患者,尤其是餐后高血糖患者的首选药物,它可以阻止 $\alpha$ -1,4糖苷键的水解,延缓淀粉和蔗糖的消化吸收<sup>[23]</sup>。LCWSP主要是由葡萄糖、甘露糖、半乳糖、阿拉伯糖、木糖、鼠李糖、核糖组成的杂多糖<sup>[18]</sup>,而有文献[24-25]记载,由鼠李糖、半乳糖、阿拉伯糖构成多糖大多具有降血糖的功能,比如茶叶多糖由鼠李糖、半乳糖、阿拉伯糖、半乳糖醛酸构成,黄芪多糖由鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、木糖、半乳糖醛酸构成,它们

都具有非常强的降血糖作用。由此可以得出一条结论:LCWSP有降血糖的作用。但是由于本实验采用的是体外筛选模型(酶-抑制剂模型)<sup>[26-27]</sup>,即以PNPG为底物测定多糖提取液对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性的大小,该模型无法直接评价筛选得到的降血糖物质在体内的药效作用,用该模型筛选得到的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的假阳性率较高,且体内活性差异较大。因此,LCWSP是否具有降血糖的作用及其功效大小,还需进一步做动物实验进行验证。

近年来,随着高新技术在食品行业中的应用,研究者发现许多植物多糖对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有抑制作用,比如桑叶多糖<sup>[28]</sup>、香菇多糖<sup>[29]</sup>、虎仗多糖复合物等<sup>[19]</sup>。本实验表明,LCWSP不仅对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有抑制作用,而且其抑制效果非常明显。当抑制剂质量浓度为80mg/mL,在37℃条件下保温10min后,酶活抑制率可达到94.57%,这可能与LCWSP的构效有关。陈丽华<sup>[30]</sup>、陈海敏<sup>[31]</sup>等曾测定过多种糖和糖的衍生物对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑酶活性,并对其构效关系进行了讨论,说明 $\alpha$ -葡萄糖苷酶对底物或抑制剂的结构有严格的要求,抑制剂分子的构象、各取代基团的位置和性质、聚合度等都对抑制活性有影响。但由于实验时间以及实验条件的限制,本实验没有对LCWSP的构效以及其对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用进行相应的研究,对于LCWSP的构效与酶活抑制率的关系需要进一步实验才能得出结论。

从单因素试验中可以看出,LCWSP抑制作用的温度及pH值都比较温和,高温或者强碱很容易使LCWSP失去抑制活性;LCWSP的热稳定性、与酶的亲和力都比较好,但酸碱稳定性不是很好,容易受到pH值的影响。

## 4 结论

4.1 LCWSP作为 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂活性的评价:本实验采用体外活性测定的方法,运用分光光度计在400nm波长处测定释放的PNP的吸光度来确定LCWSP对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性,本实验还设计了一个阳性管实验,将LCWSP对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用与阿卡波糖进行对照及比较。结果表明,LCWSP不仅具有阿卡波糖样的抑制效果,而且在相同的实验条件下,其抑制效果是阿卡波糖的1.25倍,抑制效果远远强于阿卡波糖。

4.2 LCWSP最佳作用条件的确定:本实验设计了4个单因素试验,再通过正交试验分别从抑制剂的质量浓度、反应温度、pH值及时间四方面确定LCWSP抑制作用的最佳条件。其中最佳的抑制剂质量浓度为80mg/mL、反应温度30℃、反应pH 6.8、反应时间25min。

## 参考文献:

- [1] ASANO N, NISHIDA M, KIZU H, et al. Homonojirimycin isomers and glycosides from aglaonematreubii[J]. J Nat Prod, 1997, 60: 98-102.
- [2] XIAO S Z.  $\alpha$ -Glucosidase inhibitor[J]. Japanese Medicine, 1999, 20(1): 22-24.
- [3] BARON A D. Postprandial hyperglycaemia and alpha-glucosidase inhibitors[J]. Diabetes Res Clin Pract, 1998, 40: 51-55.
- [4] 汪东风, 谢晓风, 王泽农, 等. 粗老茶中的多糖含量及其保健作用[J]. 茶叶科学, 1994, 14(1): 73-74.
- [5] 全吉淑, 尹学哲, 金泽武道, 等. 大豆异黄酮对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶和 $\alpha$ -淀粉酶的抑制作用[J]. 延边大学医学学报, 2001, 24(4): 239-242.
- [6] ONAL S, TIMUR S, OKUTUCU B, et al. Inhibition of  $\alpha$ -glucosidase by aqueous extracts of some potent antidiabetic medicinal herbs[J]. Prep Biochem Biotechnol, 2005, 35(1): 29-36.
- [7] 王竹. 植物化学物 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂样降血糖作用及其评价方法[J]. 国外医学: 卫生学分册, 2008, 35(6): 355-360.
- [8] 王翼, 张旭.  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的研究进展[J]. 海峡药学, 2009, 21(9): 4-9.
- [9] 刘瑞丽, 孔毅, 丁美萍, 等.  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的研究进展[J]. 药物生物技术, 2009, 16(4): 388-392.
- [10] PASCALE S M, ERWANL R, CHRISTINE L G, et al. Phenolic composition litchi fruit pericarp[J]. J Agric Food Chem, 2000, 48: 5995-6002.
- [11] 张钟, 唐绪明, 张玲. 荔枝肉水溶性多糖的提取工艺参数的优化[J]. 食品科学, 2011, 32(10): 70-74.
- [12] 吴华慧, 李雪华, 邱莉. 荔枝、龙眼果肉及荔枝、龙眼多糖清除活性氧自由基的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(3): 166-169.
- [13] 李雪华, 龙盛京, 谢云峰, 等. 龙眼多糖、LCWSP的分离提取及其抗氧化作用的探讨[J]. 广西医科大学学报, 2004, 21(3): 342-344.
- [14] 董周永. LCWSP的提取、分离纯化及抗氧化性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [15] 吴雅静. LCWSP的提取分离及抗氧化活性研究[D]. 广州: 华南农业大学图书馆, 2007.
- [16] 唐小俊, 池建伟, 张名位, 等. 荔枝多糖的提取条件及含量的测定[J]. 华南师范大学学报, 2005(2): 27-31.
- [17] 刘成梅, 万茵, 涂宗财, 等. 百合多糖脱蛋白方法的研究[J]. 食品科技, 2002, 23(1): 89-90.
- [18] 李巍巍. 荔枝多糖的提取分离纯化及其免疫调节作用研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [19] 杨秀芳, 吴明鑫. 虎杖中 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的初步研究[J]. 陕西科技大学学报, 2006(5): 48-50.
- [20] 罗晶洁, 王蔚, 曹学丽. 桑叶多糖的分离纯化及对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性[J]. 食品科学, 2011, 32(3): 112-116.
- [21] 池芝盛. 拜糖平(Glucosidase)的临床应用[J]. 中国糖尿病杂志, 1995, 3(3): 165-167.
- [22] 愈茂华, 史虹莉, 杨秀芳, 等. 阿卡波糖治疗NIDDM的临床观察[J]. 中国糖尿病杂志, 1995, 3(2): 127-128.
- [23] CAMPBELL R K, CAMPBELL L K, WHITE J R. Insulin lispro: its role in the treatment of diabetes mellitus[J]. The Annals of Pharmacotherapy, 1996, 30(11): 1263-1271.
- [24] KELLEY D E, BIDOT P, FREEDMAN Z, et al. Clinical efficacy of acarbose in diabetes mellitus: a critical review of controlled trials[J]. Diabetes Metab, 1998, 21(12): 311-320.
- [25] 王元凤, 金征宇. 茶叶中酸性杂多糖的部分化学性质及降血糖活性的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2005, 17(4): 424-427.
- [26] 曹蔚, 李小强, 侯颖, 等. 当归酸性多糖的分析[J]. 药物分析杂志, 2007, 27(12): 1898-1902.
- [27] 吴酬飞, 许杨, 李燕萍.  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂筛选模型的研究进展[J]. 国际药学研究杂志, 2008, 28(1): 9-12.
- [28] 赵骏, 高岚. 桑叶多糖的降糖降脂作用[J]. 天津中医药, 2004, 21(6): 505-506.
- [29] 郑虹, 叶秋焰. 香菇多糖的药理及临床应用研究进展[J]. 海峡药学, 2006, 18(4): 150-153.
- [30] 陈丽华, 马庆一, 杨冰, 等.  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂研究进展[J]. 食品科技, 2005(8): 91-94.
- [31] 陈海敏, 严小军, 林伟.  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的构效关系[J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2003, 19(6): 780-784.