

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2022.01.025

# 低共熔溶剂提取绿茶总黄酮及其抗氧化活性

## Research on extraction of total flavonoids from green tea with deep eutectic

倪雪华<sup>1</sup> 王恒鹏<sup>2</sup>NI Xue-hua<sup>1</sup> WANG Heng-peng<sup>2</sup>

(1. 江苏食品药品职业技术学院, 江苏 淮安 223001; 2. 扬州大学食品科学与工程学院, 江苏 扬州 225127)

(1. Jiangsu Food and Pharmaceutical Science College, Huai'an, Jiangsu 223001, China;

2. School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127, China)

**摘要:**目的:优化低共熔溶剂提取绿茶总黄酮工艺,并评价其抗氧化活性。方法:以总黄酮提取率为考察指标,以低共熔溶剂种类、液料比、提取温度和提取时间为影响因素,采用正交试验优化低共熔溶剂提取绿茶总黄酮工艺参数,并对其抗氧化活性进行评价。结果:绿茶总黄酮的最优提取工艺为以 80% 乙酰胆碱—乳酸( $n_{\text{乙酰胆碱}} : n_{\text{乳酸}} = 1 : 1$ )水溶液为低共熔溶剂,液料比( $V_{\text{溶剂}} : m_{\text{绿茶}}$ ) 30 : 1 (mL/g),提取温度 90 °C,提取时间 75 min,此条件下绿茶总黄酮提取率为 1.84%,总黄酮质量浓度为 65.8 mg/mL。一定质量浓度范围内,绿茶总黄酮提取液对 DPPH 自由基和 OH 自由基的清除能力强于维生素 C。结论:以 80% 乙酰胆碱—乳酸( $n_{\text{乙酰胆碱}} : n_{\text{乳酸}} = 1 : 1$ )水溶液为低共熔溶剂提取的绿茶总黄酮具有一定的抗氧化活性。

**关键词:**低共熔溶剂;提取;绿茶;总黄酮;抗氧化活性

**Abstract: Objective:** This study aimed to optimize the extraction technology of total flavonoids from green tea with Deep Eutectic Solvents (DESs) and evaluate the antioxidant activity of total flavonoids extracted from green tea under optimal conditions. **Methods:** The extraction rate of total flavonoids was taken as the index, with the ratio of liquid to solid, extraction temperature and extraction time taken as the influencing factors, and the extraction process parameters were optimized by orthogonal test, followed by the antioxidant activity evaluating with DPPH free radical inhibition. **Results:** The optimal extraction conditions for extraction of total flavonoids from green tea with DESs were 80% acetylcholine-lactic acid solution (acetylcholine : lactic acid = 1 :

1), with ratio of liquid to solid 30 : 1 (mL/g), extraction at 90 °C for 75 min. Under the control of these conditions, the extraction yield of total flavonoids was 1.84%, and the concentration of total flavonoids was 65.8 mg/mL. The research on antioxidant activity showed that in a certain concentration range, the antioxidant activity of total flavonoids extract from green tea was stronger than that of vitamin C. **Conclusion:** Under the control of the optimal technological conditions, the total flavonoids extracted from green tea with 80% acetylcholine-lactic acid solution as eutectic solvent had certain antioxidant activity.

**Keywords:** DESs; extract; green tea; total flavonoids; antioxidant activity

绿茶中含有丰富的茶多酚、单宁、氨基酸、生物碱、黄酮、微量元素等活性成分,其中,黄酮类化合物作为植物的次生代谢产物,具有抗过敏、降血压、抗炎、抗菌、抗肿瘤、抗病毒、保肝和降血脂等活性<sup>[1-2]</sup>。目前绿茶中黄酮类物质主要通过乙醇溶液进行萃取,后续需对溶剂进行蒸发,提取率低,耗能且还会破坏黄酮的生物结构<sup>[3-5]</sup>。因此,有必要选用一种高效的绿色提取溶剂来提取绿茶中黄酮类物质。

低共熔溶剂(Deep Eutectic Solvents, DESs)为近年来开发的一种绿色高效提取溶剂,具有提取率高、保护活性物质、可回收与降解、安全性高、节约能耗等特点<sup>[6-7]</sup>,已被广泛应用于提取黄酮<sup>[8]</sup>、多酚<sup>[9]</sup>、皂苷<sup>[10]</sup>等植物活性成分。然而,低共熔溶剂中氢键供体和氢键受体的分子间氢键作用较强,导致低共熔溶剂黏度较高,需通过稀释或适当提高温度来降低其黏度<sup>[11]</sup>。目前,有关低共熔溶剂提取绿茶中总黄酮的研究尚未见报道。研究拟以绿茶为原料,采用低共熔溶剂对其总黄酮进行提取,分析提取溶液的抗氧化活性,旨在为绿茶相关产品的开发提供依据。

**基金项目:**淮安市社科研究淮扬菜烹饪文化专项课题(编号:HYC-20-15)

**作者简介:**倪雪华(1975—),男,江苏食品药品职业技术学院讲师,硕士。E-mail:nxy2021y@126.com

**收稿日期:**2021-09-20

# 1 材料与方 法

## 1.1 材料与仪器

### 1.1.1 材料与试剂

绿茶:市售;

芦丁:HPLC≥98%,上海源叶生物科技有限公司;

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH):纯度 96%,上海麦克林生化科技有限公司;

乙酰胆碱:食品级,广州华智生物科技有限公司;

乳酸:食品级,山东谦顺化工有限公司;

维生素 C:食品级,维生药业(石家庄)有限公司;

甘油、无水乙醇、亚硝酸钠、尿素、草酸、氢氧化钠、硝酸铝、乙二醇:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

### 1.1.2 仪器与设备

电子天平:AL204 型,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;

高速万能粉碎机:2500Y 型,永康市铂欧五金制品有限公司。

## 1.2 试验方法

1.2.1 绿茶总黄酮提取 将绿茶粉碎,过 40 目筛,加入一定体积的低共熔溶剂,加热搅拌,过滤,收集提取溶液。

1.2.2 绿茶总黄酮含量测定 参照文献[12],按式(1)计算绿茶总黄酮提取率。

$$C = M_1 / M_2 \times 100\%, \tag{1}$$

式中:

C——总黄酮提取率,%;

M<sub>1</sub>——提取的总黄酮质量,g;

M<sub>2</sub>——样品的质量,g。

### 1.2.3 单因素试验

(1) 提取溶剂种类:固定液料比(V<sub>溶剂</sub> : m<sub>绿茶</sub>) 30 : 1 (mL/g),提取温度 80 ℃,提取时间 60 min,考察低共熔溶剂种类[n<sub>乙酰胆碱</sub> : n<sub>乳酸</sub> = 1 : 1, n<sub>乙酰胆碱</sub> : n<sub>乙二醇</sub> = 1 : 1, n<sub>乙酰胆碱</sub> : n<sub>甘油</sub> = 1 : 1, n<sub>乙酰胆碱</sub> : n<sub>草酸</sub> = 1 : 1]对绿茶总黄酮提取率的影响。

(2) 液料比:固定 80%乙酰胆碱-乳酸(n<sub>乙酰胆碱</sub> : n<sub>乳酸</sub> = 1 : 1)水溶液,提取温度 80 ℃,提取时间 60 min,考察液料比[V<sub>溶剂</sub> : m<sub>绿茶</sub> 分别为 10 : 1, 20 : 1, 30 : 1, 40 : 1, 50 : 1 (mL/g)]对绿茶总黄酮提取率的影响。

(3) 提取温度:固定 80%乙酰胆碱-乳酸(n<sub>乙酰胆碱</sub> : n<sub>乳酸</sub> = 1 : 1)水溶液,液料比(V<sub>溶剂</sub> : m<sub>绿茶</sub>) 30 : 1 (mL/g),提取时间 60 min,考察提取温度(60, 70, 80, 90, 100 ℃)对绿茶总黄酮提取率的影响。

(4) 提取时间:固定 80%乙酰胆碱-乳酸(n<sub>乙酰胆碱</sub> : n<sub>乳酸</sub> = 1 : 1)水溶液,液料比(V<sub>溶剂</sub> : m<sub>绿茶</sub>) 30 : 1 (mL/g),提取温度 80 ℃,考察提取时间(30, 45, 60, 75, 90 min)对绿茶总黄酮提取率的影响。

1.2.4 正交优化试验 在单因素试验基础上,以 80%乙酰胆碱-乳酸(n<sub>乙酰胆碱</sub> : n<sub>乳酸</sub> = 1 : 1)水溶液为提取溶剂,以液料比、提取温度和提取时间为自变量,以总黄酮提取率为响应值,进行正交试验设计,优化绿茶总黄酮低共熔溶剂提取工艺。

1.2.5 DPPH 自由基清除能力测定 参照文献[13],以维生素 C 为对照组,重复 3 次,按式(2)计算 DPPH 自由基清除率。

$$X = (A_0 - A) / A_0 \times 100\%, \tag{2}$$

式中:

X——自由基清除率,%;

A<sub>0</sub>——不加入绿茶总黄酮提取液的吸光度;

A——加入绿茶总黄酮提取液的吸光度。

1.2.6 OH 自由基清除能力测定 参照文献[14],按式(2)计算 OH 自由基清除率。

1.2.7 数据处理 采用正交设计助手 II3.1 和 Excel 2016 软件进行数据分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 单因素试验

2.1.1 提取溶剂种类对绿茶总黄酮提取率的影响 由图 1 可知,4 种低共熔溶剂均可有效提取绿茶总黄酮,其中 80%乙酰胆碱-乳酸(n<sub>乙酰胆碱</sub> : n<sub>乳酸</sub> = 1 : 1)水溶液对绿茶总黄酮提取效果最佳。低共熔溶剂也被称为类离子液体,具有与离子液体类似的物理化学性质,能够快速进入绿茶细胞中将黄酮类物质溶出<sup>[15]</sup>;此外,不同浓度的低共熔溶剂水溶液可以调整低共熔溶剂的极性,使其与绿茶黄酮类物质的极性接近,利用相似相溶原理,最大程度将绿茶黄酮类物质溶出。因此,选择 80%乙酰胆碱-乳酸(n<sub>乙酰胆碱</sub> : n<sub>乳酸</sub> = 1 : 1)水溶液作为绿茶总黄酮的提取溶剂。

2.1.2 液料比对绿茶总黄酮提取率的影响 由图 2 可知,随着液料比的增加,绿茶总黄酮提取率先显著增加后

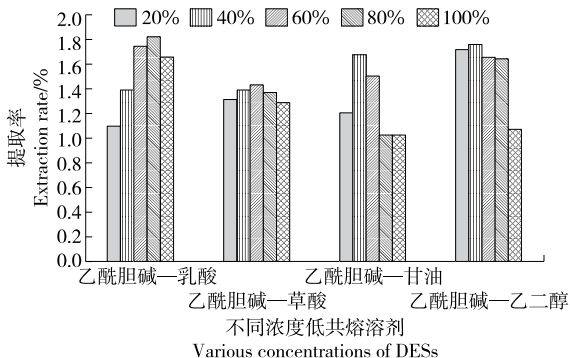


图 1 低共熔溶剂种类对绿茶总黄酮提取率的影响  
Figure 1 Effects of various concentrations of DESs on extraction ratio of total flavonoids from green tea

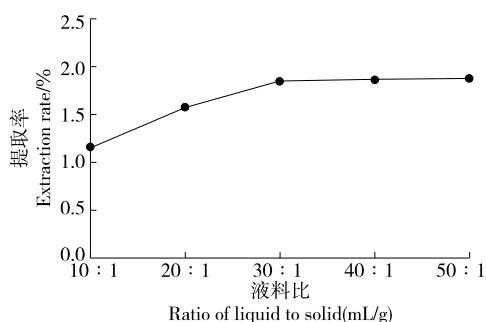


图2 液料比对绿茶总黄酮提取率的影响

Figure 2 Effects of ratio of liquid to solid on extraction ratio of total flavonoids from green tea

趋于平衡。当液料比( $V_{\text{溶剂}} : m_{\text{绿茶}}$ ) $>30 : 1$  (mL/g)时,绿茶总黄酮提取基本完成,提取率不再升高。因此,选择液料比为  $30 : 1$  (mL/g)进行后续试验。

2.1.3 提取温度对绿茶总黄酮提取率的影响 由图3可知,随着提取温度的升高,绿茶总黄酮提取率先升高后下降,当提取温度为  $80 \sim 90$  °C时,总黄酮提取率最大。这是因为提高提取温度有利于提取溶剂的传质,有利于绿茶黄酮类物质的溶出,此外,过高的提取温度也会导致绿茶黄酮类物质的氧化,使总黄酮提取率下降。因此,选择提取温度为  $80$  °C进行后续试验。

2.1.4 提取时间对绿茶总黄酮提取率的影响 由图4可

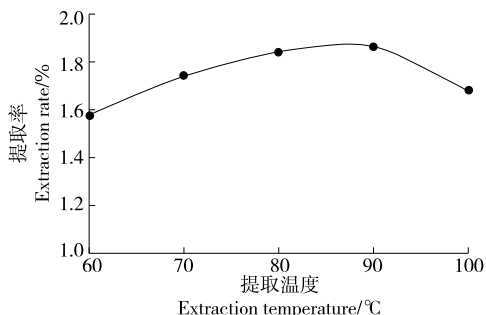


图3 提取温度对绿茶总黄酮提取率的影响

Figure 3 Effects of extraction temperature on extraction ratio of total flavonoids from green tea

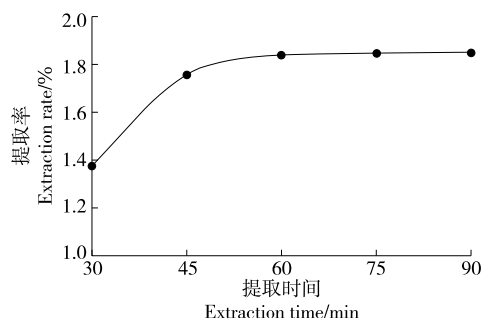


图4 提取时间对绿茶总黄酮提取率的影响

Figure 4 Effect of extraction time on extraction ratio of total flavonoids from green tea

知,随着提取时间的延长,绿茶总黄酮提取率先显著增加后趋于平衡。当提取时间 $>60$  min时,绿茶总黄酮提取过程基本完成,提取率不再升高。因此,选择提取时间为  $60$  min进行后续试验。

2.2 正交优化试验

在单因素试验基础上,以  $80\%$  乙酰胆碱-乳酸 ( $n_{\text{乙酰胆碱}} : n_{\text{乳酸}} = 1 : 1$ ) 水溶液为低共熔溶剂,以液料比、提取温度和提取时间为自变量,以绿茶总黄酮提取率为响应值,采用  $L_9(3^4)$  进行三因素三水平正交试验设计。试验因素及水平见表1,试验设计及结果见表2。

由表2可知,各因素对绿茶总黄酮提取率的影响程度依次为液料比 $>$ 提取温度 $=$ 提取时间,最优工艺条件为  $A_3B_3C_3$ ,即以  $80\%$  乙酰胆碱-乳酸 ( $n_{\text{乙酰胆碱}} : n_{\text{乳酸}} = 1 : 1$ ) 水溶液为低共熔溶剂,液料比 ( $V_{\text{溶剂}} : m_{\text{绿茶}}$ )  $40 : 1$  (mL/g),提取温度  $90$  °C,提取时间  $75$  min。

考虑到提取能耗和液料比影响提取体系总黄酮浓度问题,固定提取温度  $90$  °C,提取时间  $75$  min,比较液料比 ( $V_{\text{溶剂}} : m_{\text{绿茶}}$ ) 分别为  $40 : 1, 30 : 1$  (mL/g)时的黄酮提取率。结果表明,当液料比 ( $V_{\text{溶剂}} : m_{\text{绿茶}}$ ) 为  $40 : 1, 30 : 1$  (mL/g)时,绿茶总黄酮提取率分别为  $(1.89 \pm 0.005)\%$ ,  $(1.84 \pm 0.005)\%$ ,此时提取液中总黄酮质量浓度分别为

表1 正交试验因素及水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	A 液料比(mL/g)	B 提取温度/°C	C 提取时间/min
1	20 : 1	70	45
2	30 : 1	80	60
3	40 : 1	90	75

表2 正交试验设计及结果

Table 2 Design and results of orthogonal experiment

试验号	A	B	C	总黄酮提取率/%
1	1	1	1	1.22
2	1	2	2	1.58
3	1	3	3	1.63
4	2	1	2	1.74
5	2	2	3	1.85
6	2	3	1	1.76
7	3	1	3	1.78
8	3	2	1	1.74
9	3	3	2	1.89
<hr/>				
$k_1$	1.48	1.58	1.57	
$k_2$	1.78	1.72	1.74	
$k_3$	1.80	1.76	1.75	
R	0.32	0.18	0.18	

(49.6±0.26), (65.8±0.33) mg/mL。在绿茶总黄酮提取率相差较小的情况下,考虑到提取溶液中总黄酮质量浓度影响单位体积抗氧化活性强弱,确定低共熔溶剂提取绿茶总黄酮的最优工艺条件为以 60% 乙酰胆碱—乳酸 ( $n_{\text{乙酰胆碱}} : n_{\text{乳酸}} = 1 : 1$ ) 水溶液为低共熔溶剂,液料比 ( $V_{\text{溶剂}} : m_{\text{绿茶}}$ ) 30 : 1 (mL/g),提取温度 90 °C,提取时间 75 min,此条件下绿茶总黄酮提取率为 1.84%,总黄酮质量浓度为 65.8 mg/mL。

### 2.3 抗氧化活性

2.3.1 DPPH 自由基清除能力 由图 5 可知,绿茶总黄酮提取液和维生素 C 对 DPPH 自由基的清除率均表现为随其体积的增大而逐渐提高后趋于平衡。当加入液体体积为 0.04~0.12 mL 时,绿茶总黄酮提取液清除 DPPH 自由基能力强于维生素 C;当加入溶液体积 > 0.12 mL 时,两者清除 DPPH 自由基能力相当,说明绿茶总黄酮提取液具有很强的清除 DPPH 自由基能力。

2.3.2 OH 自由基清除能力 由图 6 可知,稀释 10 后的绿茶总黄酮提取液和维生素 C 对 OH 自由基的清除率均表现为随其体积的增大而逐渐提高后趋于平衡。当加入液体体积为 0.01~0.04 mL 时,绿茶总黄酮提取液清除 OH 自由基能力强于维生素 C;当加入溶液体积 > 0.04 mL 时,两者清除 OH 自由基能力相当,说明绿茶总黄酮提取液具有很强的清除 OH 自由基能力。

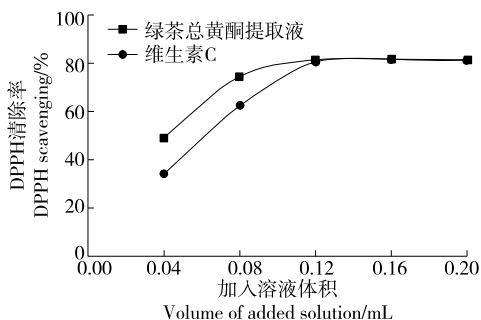


图 5 加入溶液体积对 DPPH 自由基清除率的影响  
Figure 5 Effect of volume of added solution on DPPH scavenging rate

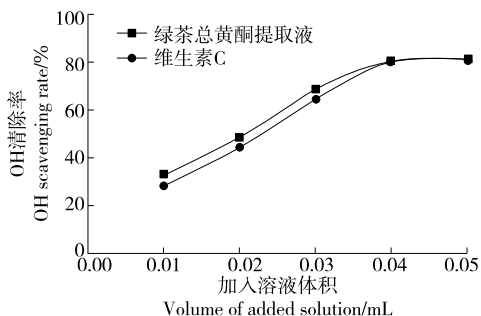


图 6 加入溶液体积对 OH 自由基清除率的影响  
Figure 6 Effect of volume of added solution on OH scavenging rate

综上,绿茶总黄酮提取液具有很强的抗氧化活性,可能是因为低共熔溶剂中乙酰胆碱和乳酸均为食品级,不需蒸发溶剂可直接作为油脂抗氧化添加剂<sup>[16]</sup>、功能饮料食品原料<sup>[17]</sup>来源。

## 3 结论

试验表明,低共熔溶剂提取绿茶总黄酮的最优工艺条件为以 80% 乙酰胆碱—乳酸 ( $n_{\text{乙酰胆碱}} : n_{\text{乳酸}} = 1 : 1$ ) 水溶液为低共熔溶剂,液料比 ( $V_{\text{溶剂}} : m_{\text{绿茶}}$ ) 30 : 1 (mL/g),提取温度 90 °C,提取时间 75 min,此条件下绿茶总黄酮提取率为 1.84%,总黄酮质量浓度为 65.8 mg/mL。抗氧化活性试验表明,一定质量浓度范围内,绿茶总黄酮提取液对 DPPH 自由基和 OH 自由基的清除能力强于维生素 C,说明此绿茶总黄酮提取液具有较强的抗氧化作用,无需蒸发回收溶剂,可直接作为潜在的功能性食品原料或添加剂来源。后续应开展多种功能活性评价研究,以及绿茶总黄酮的组分分析和特性研究。此外,低共熔溶剂的活性、毒性及代谢途径有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] 旷春桃,李湘洲,王玉霞,等. 大叶冬青叶中总黄酮测定方法和提取工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(6): 49-51.  
KUANG Chun-tao, LI Xiang-zhou, WANG Yu-xia, et al. Study on determination methods and extraction process of total flavonoids in leaves of *Ilex latifolia*[J]. Food Science, 2009, 30(6): 49-51.
- [2] 汪秋安,周冰,单扬. 天然黄酮类化合物的抗氧化活性和提取技术研究进展[J]. 化工生产与技术, 2004, 11(5): 29-35.  
WANG Qiu-an, ZHOU Bing, SHAN Yang. Progress on antioxidant activation and extracting technology of flavonoids [J]. Chemical Production and Technology, 2004, 11(5): 29-35.
- [3] 陈金娥,杨雯婷,刘勇麟,等. 微波萃取—响应面法优化绿茶黄酮提取工艺[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(3): 19-23.  
CHEN Jin-e, YANG Wen-ting, LIU Yong-lin, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of flavonoids of green tea using response surface analysis[J]. Food Research and Development, 2013, 34(3): 19-23.
- [4] 赵熙,粟本文,郑红发,等. 响应面法优化超声波辅助提取绿茶总黄酮工艺的研究[J]. 茶叶科学, 2010, 30(4): 295-301.  
ZHAO Xi, SU Ben-wen, ZHENG Hong-fa, et al. Study on optimization of ultrasound-assisted extraction technology of total flavonoids from green tea by response surface methodology[J]. Tea Science, 2010, 30(4): 295-301.
- [5] 丘苑新,张泽雄,何娣,等. 超声波辅助提取桉树叶黄酮及其抗氧化、抑菌能力研究[J]. 食品与机械, 2021, 37(6): 174-178.  
QIU Yuan-xin, ZHANG Ze-xiong, HE Di, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction technology of flavonoids from pomelo leaves and its antioxidant and antibacterial capabilities[J]. Food & Machinery, 2021, 37(6): 174-178.
- [6] TAYLOR K M, TAYLOR Z E, HANDY S T. Rapid synthesis of au-

- rones under mild conditions using a combination of microwaves and deep eutectic solvents[J]. *Tetrahedron Lett*, 2017, 58(3): 240-241.
- [7] PAIVA A, CRAVEIRO R, AROSO I, et al. Natural deep eutectic solvents - solvents for the 21st century[J]. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2014, 2(5): 1 063-1 071.
- [8] ZHUANG Bo, DOU Li-li, LI Ping, et al. Deep eutectic solvents as green media for extraction of flavonoid glycosides and aglycones from *Platycladif Cacumen* [J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2017, 134: 214-219.
- [9] BHUSHAN P C T, JADEJA G C. Microwave-assisted extraction for recovery of polyphenolic antioxidants from ripemango (*Mangifera indica* L.) peel using lactic acid/sodium acetate deep eutectic mixtures[J]. *Food Science and Technology International*, 2020, 26(1): 78-92.
- [10] RIBERIO B D, COELHO M A Z, MARRYCHO I M. Extraction of saponins from sisal (*Agavesisalana*) and jua (*Ziziphusjoazeiro*) with cholinium-based ionic liquid and deep eutectic solvents[J]. *European Food Research and Technology*, 2013, 237: 965-975.
- [11] VAN OSCH D J G P, ZUBEIR L F, VAN DEN BRUINHORST A, et al. Hydrophobic deep eutectic solvents as water-immiscible extractants[J]. *Green Chemistry*, 2015, 17(9): 4 518-4 521.
- [12] 谭传波, 田华, 赖琼玮, 等. 鲜榨山茶油中生物活性物质研究[J]. *粮食与油脂*, 2019, 32(11): 19-21.
- TAN Chuan-bo, TIAN Hua, LAI Qiong-wei, et al. Research on bioactive substances from fresh pressed camellia oil[J]. *Journal of Cereals & Oils*, 2019, 32(11): 19-21.
- [13] LI Xi-can, LIN Jing, GAO Yao-xiang, et al. Antioxidant activity and mechanism of *Rhizoma Cimicifugae* [J]. *Chemistry Central Journal*, 2012, 6(1): 140.
- [14] 张丽君, 李敏, 王静, 等. 石榴皮中黄酮类物质的提取及抗氧化研究[J]. *化学工程师*, 2021, 35(9): 65-68.
- ZHANG Li-jun, LI Min, WANG Jing, et al. Study on the extraction and antioxidant activity of flavones from pomegranate [J]. *Chemical Engineer*, 2021, 35(9): 65-68.
- [15] 李杰, 吴艳芳, 王新胜, 等. 低共熔溶剂提取枳实中黄酮类成分的工艺研究[J]. *应用化工*, 2020, 49(12): 3 078-3 082.
- LI Jie, WU Yan-fang, WANG Xin-sheng, et al. Extraction of flavonoids from *Fructus AurantiiImmaturo* by deep eutectic solvent[J]. *Applied Chemical Industry*, 2020, 49(12): 3 078-3 082.
- [16] 熊颖, 钟海雁, 周波. 低共熔溶剂杏仁种皮提取物对油茶籽油氧化稳定性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2021, 36(5): 102-107.
- XIONG Ying, ZHONG Hai-yan, ZHOU Bo. Effects of Apricot Kernel Coat Extracts with deep eutectic solvents on oxidation stability of camellia seed oil[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2021, 36(5): 102-107.
- [17] 阮怿航. 富含天然活性成分的速溶茶加工工艺及其新产品研发[D]. 福州: 福建农林大学, 2020: 7-38.
- RUAN Yi-hang. Research on processing technique of instant tea rich in nature active ingredients and its products [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2020: 7-38.
- 
- (上接第 158 页)
- [17] 段宙位, 陈婷, 何艾, 等. 大孔树脂纯化沉香叶黄酮工艺优化及纯化前后抗氧化性比较[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(17): 161-166.
- DUAN Zhou-wei, CHEN Ting, HE Ai, et al. Optimization of purification of flavonoids from aloes leaves with macroporous resin and comparison of antioxidant capacity of crude and purified flavonoids[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(17): 161-166.
- [18] 莫大美, 吴荣书, 杨俊, 等. 大孔树脂纯化三角梅红色素工艺[J]. *食品工业*, 2016, 37(8): 116-120.
- MO Da-mei, WU Rong-shu, YANG Jun, et al. Study on purification process of the red pigment from *bougainvillea* by macroporous resin[J]. *The Food Industry*, 2016, 37(8): 116-120.
- [19] 王金玲, 姚丽敏, 旷慧. 榛子壳棕色素的分离纯化及其理化性质的研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2016, 35(7): 770-777.
- WANG Jin-ling, YAO Li-min, KUANG Hui. Purification and characterization of brown pigment from hazelnut shells[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2016, 35(7): 770-777.
- [20] 刘琦. 大孔树脂对短梗五加多酚的纯化效果及多酚的抗疲劳作用研究[J]. *保鲜与加工*, 2020, 20(4): 171-177.
- LIU Qi. Study on the purification of polyphenols extract from *Anthropanax sessiliflorus* by macroporous resin and its anti-fatigue effect[J]. *Storage and Process*, 2020, 20(4): 171-177.
- [21] 黄俊生, 林燕如. 大高良姜黄色素化学结构的初步鉴定[J]. *中国调味品*, 2011, 36(11): 109-112.
- HUANG Jun-sheng, LIN Yan-ru. Preliminary identification on chemical structure of yellow pigment from *Alpinia galangal* (L.) Willd[J]. *China Condiment*, 2011, 36(11): 109-112.
- [22] 张海悦, 徐鹤, 王蕾. 黑葵花籽壳红色素的纯化及主要成分结构鉴定[J]. *食品科学*, 2010, 31(17): 36-40.
- ZHANG Hai-yue, XU He, WANG Lei. Purification and structural identification of the major component of the red pigment from black sunflower seed shell[J]. *Food Science*, 2010, 31(17): 36-40.
- [23] 王金亭, 吴广庆, 鞠秀萍. 紫荆花红色素化学结构的初步鉴定[J]. *中国食品添加剂*, 2010(4): 97-100.
- WANG Jin-ting, WU Guang-qing, JU Xiu-ping. Preliminary identification on chemical structure of red pigment from flowers of *Cercis chinensis* bge.[J]. *China Food Additives*, 2010(4): 97-100.
- [24] 胡燕, 陈忠杰, 王清章. 莲藕中褐变色素的提取和结构初步鉴定[J]. *食品科技*, 2013, 38(3): 223-229.
- HU Yan, CHEN Zhong-jie, WANG Qing-zhang. Extraction and structure identification of browning pigment in lotus root[J]. *Food Science and Technology*, 2013, 38(3): 223-229.

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2022.01.026

# 复合营养粉对 STZ 大鼠的辅助降血糖效果

## Auxiliary hypoglycemic effect of compound nutritional powder on STZ rats

生庆海<sup>1</sup> 刘成<sup>1</sup> 潘丽娜<sup>2</sup> 汪家琦<sup>2</sup> 贾艳菊<sup>1</sup>SHENG Qing-hai<sup>1</sup> LIU Cheng<sup>1</sup> PAN Li-na<sup>2</sup> WANG Jia-qi<sup>2</sup> JIA Yan-ju<sup>1</sup>

(1. 河北经贸大学生物科学与工程学院, 河北 石家庄 050061; 2. 澳优乳业[中国]有限公司, 湖南 长沙 410200)

(1. College of Bioscience and Bioengineering, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang, Hebei 050061, China; 2. Ausnutria Dairy [China] Co., Ltd., Changsha, Hunan 410200, China)

**摘要:**目的: 评估复合营养粉对链脲佐菌素(STZ)诱导的 2 型糖尿病大鼠(STZ 大鼠)的辅助降血糖功能。方法: 对 SD 大鼠静脉注射 STZ 以构建胰岛损伤 2 型糖尿病模型, 按 1.68, 3.35, 6.70 g/kg 剂量连续 30 d 经口灌胃给予复合营养粉, 测定空腹血糖及糖耐量指标, 考察复合营养素对 STZ 大鼠的影响。结果: 复合营养粉对 STZ 大鼠的空腹血糖指标、糖耐量指标均为阳性; 对 STZ 大鼠体重无明显影响。结论: 复合营养粉对 STZ 大鼠具有辅助降血糖功能。

**关键词:** 复合营养粉; STZ 大鼠; 高血糖模型; 降血糖

**Abstract: Objective:** This study focuses on evaluating the auxiliary blood glucose-lowering function of self-made compound nutritional powder in type 2 diabetic rats. **Methods:** SD rats were intravenously injected with STZ to construct a pancreatic islet injury type 2 diabetes model. The compound nutritional powder was given by oral gavage at doses of 1.68, 3.35 and 6.70 g/kg for 30 days. Fasting blood glucose and blood glucose were measured after 30 days. Glucose tolerance index to investigate the effect of compound nutrients on STZ rats. **Results:** The compound nutritional powder was positive for the fasting blood glucose and glucose tolerance indexes of STZ rats; it had no significant effect on the body weight of STZ rats. **Conclusion:** The compound nutritional powder has an auxiliary function of lowering blood sugar in STZ rats.

**Keywords:** compound nutritional powder; STZ rats; hyperglycemia model; hypoglycemic effect

中国糖尿病患者占全球首位, 是一个不容忽视的问题<sup>[1]</sup>。糖尿病发病率增长迅速, 并呈年轻化的趋势, 未来

20 年将会有 7 亿人患病<sup>[2]</sup>, 其种类不一<sup>[3-4]</sup>, 其中 2 型糖尿病(T2DM)的人数最多, 占 90% 以上<sup>[5]</sup>。T2DM 的发生是由于体内  $\beta$  细胞衰竭使得胰岛素减少或缺失, 从而造成患者对血糖的控制减弱而引起的一种代谢疾病<sup>[6-8]</sup>。其潜伏期较长, 通常会引起脂代谢、蛋白代谢异常, 最终可能导致糖尿病性肾病<sup>[9]</sup>、视网膜病<sup>[10-11]</sup>、心血管疾病<sup>[12-14]</sup>等一系列并发症。

对于糖尿病患者而言, 稳定血糖在正常水平是治疗的关键和目的。目前大多数患者通过临床治疗来控制血糖, 但口服降糖药或注射胰岛素可能会对人体产生或多或少的副作用和耐药性<sup>[15-16]</sup>, 因此寻求非药物治疗的方法来降低血糖是非常有必要且有意义的, 比如食用一些有效的天然植物, 例如印度阿育吠陀药、非洲传统医学、日本贡布医学和中草药<sup>[17]</sup>, 从而减少药物治疗对人体可能造成的危害。T2DM 患者可通过改变自身的摄食种类和数量来改善血糖状况, 这对治疗 T2DM 是一项十分重要的措施<sup>[18-19]</sup>。研究<sup>[20]</sup>表明, T2DM 患者经 3~6 个月的干预治疗后, HbA1c 在非药物治疗下的下降效果可以与现有的临床药物治疗的相媲美, 且持续性的干预治疗有助于改善血糖状况, 避免药物产生的副作用。

赤藓糖醇是一种天然甜味剂, 通常用于食品和制药行业, 由于其卡路里含量几乎为零, 因此是糖尿病患者或超重人群的理想蔗糖替代品<sup>[21]</sup>。杏仁含有丰富的苦杏仁甙、维生素、纤维素、蛋白质、糖类和微量元素等, 对降血糖和 HbA1c 具有积极意义<sup>[22]</sup>。菊粉是一种膳食纤维, 有助于控制血糖<sup>[23-24]</sup>, 且可以降低 T2DM 患者的血糖和 HbA1c<sup>[25]</sup>。罗汉果甜苷是一种天然降糖成分, 其甜度为蔗糖的 300 倍、热量为零, 对肥胖、糖尿病等具有防治作用, 可在各类食品中按生产需要适量使用<sup>[26]</sup>。

课题组自主研发的复合营养粉是在全脂乳粉中添加杏仁粉、赤藓糖醇、菊粉、罗汉果甜苷等制成, 其水分含量为 1.97%, 葡萄糖生成量为 11.07%, GI 值为 27.74。前期

基金项目: 河北省重点研发项目(编号: 20327105D)

作者简介: 生庆海 (1970—), 男, 河北经贸大学教授, 博士。

E-mail: 1951037151@qq.com

收稿日期: 2021-10-18