

富硒菊花提取物的抗氧化活性及其对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活力的影响

赵子华,张斐然,韩永旭,李巧,张华峰*,王星宇*

中俄食品与健康科学国际联合研究中心 西北濒危药材资源开发国家工程实验室
陕西师范大学食品工程与营养科学学院,西安 710119

摘要:本研究比较了富硒菊花与普通菊花的抗氧化活性与 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶抑制作用。富硒菊花甲醇提取物清除 ABTS^{·+}、DPPH·、OH 自由基的 EC₅₀ 分别为 0.078 5、0.068 0、0.346 9 mg/mL,普通菊花分别为 0.128 9、0.121 2、0.313 3 mg/mL。富硒菊花提取物的总还原力与 ABTS^{·+}、DPPH· 自由基清除能力一定强于普通菊花。富硒菊花提取物抑制 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶的 IC₅₀ 分别为 2.190 9、4.123 9 mg/mL,普通菊花分别为 3.449 5、10.696 3 mg/mL。富硒菊花提取物的抗氧化活性以及 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶抑制率呈现出一定的剂量依赖性,量效关系拟合方程具有较高的拟合度。富硒菊花的抗氧化活性与 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶抑制作用普遍优于普通菊花,这可能与其中所含的多酚、黄酮类化合物有关。本研究为富硒菊花资源的科学开发和综合利用提供了参考。

关键词:富硒菊花;甲醇提取物;抗氧化活性; α -淀粉酶; α -葡萄糖苷酶

中图分类号:R961;Q946

文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2018.7.002

Antioxidant Activities and Effects on α -Amylase and α -Glucosidase of Extract from Se-enriched *Chrysanthemum morifolium*

ZHAO Zi-hua, ZHANG Fei-ran, HAN Yong-xu, LI Qiao, ZHANG Hua-feng*, WANG Xing-yu*

International Joint Research Center of Shaanxi Province for Food and Health Sciences,

National Engineering Laboratory for Resources Development of Endangered Crude Drugs in Northwest China,

College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China

Abstract: Antioxidant capacities and inhibitory activities against α -amylase and α -glucosidase of Se-enriched *Chrysanthemum morifolium* (SCM) and traditional *Chrysanthemum morifolium* (TCM) were systematically investigated. EC₅₀ values of methanol extract from SCM for ABTS^{·+}, DPPH· and OH radicals were 0.078 5, 0.068 0 and 0.346 9 mg/mL, respectively. And EC₅₀ values of methanol extract from TCM were 0.128 9, 0.121 2 and 0.313 3 mg/mL, respectively. Reducing power and ABTS^{·+}, DPPH· radical-scavenging activities of SCM were remarkably higher than those of TCM. IC₅₀ values of methanol extract from SCM for α -amylase and α -glucosidase were 2.190 9 and 4.123 9 mg/mL, respectively. And IC₅₀ values of methanol extract from TCM were 3.449 5 and 10.696 3 mg/mL, respectively. Both antioxidant activities and inhibitory effects on α -amylase and α -glucosidase were dose-dependent, and fit equations based upon dose-effect relationships possessed high goodness of fit. Antioxidant capacities and inhibitory activities against α -amylase and α -glucosidase of SCM were comparatively higher than those of TCM, which might be ascribed to polyphenols and flavonoids. This research may provide a basis for scientific exploitation and comprehensive utilization of SCM resource.

Key words: Se-enriched *Chrysanthemum morifolium*; methanol extract; antioxidant activity; α -amylase; α -glucosidase

收稿日期:2017-12-05 接受日期:2018-04-17

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(GK2016CSZ008, GK201703076);陕西省科学技术研究发展计划(2018ZD XM-SF-006, 2017GHJD-006);陕西省安康市汉阴县人民政府科技创新项目(2016)

*通信作者 Tel:86-29-85310517; E-mail: isaacsau@sohu.com, wangxingyu@snnu.edu.cn

菊花(*Chrysanthemum morifolium*)为菊科多年生宿根植物。据《名医别录》记载,菊花“味甘,无毒。主治腰痛去来陶陶,除胸中烦热,安肠胃,利五脉,调四肢”。菊花中含有氨基酸、微量元素、挥发油和黄酮类化合物等,具有抗菌、抗病毒、抗衰老等多种生

物活性^[1],在医药、食品工业中具有广泛用途。

糖尿病是严重影响人体健康的代谢性疾病,世界上约有4.0%的人口受到糖尿病威胁,到2050年这个数字可能上升至5.4%^[2]。糖尿病的发生、发展与氧化应激关系密切^[3,4]。研究菊花提取物的抗氧化活性,对于天然抗氧化剂和降血糖药物的筛选具有一定的参考意义。淀粉中的葡萄糖以 α -1,4糖苷键和 α -1,6糖苷键的形式连接。人体对食物中淀粉的消化吸收需要 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的参与。 α -淀粉酶抑制剂能够抑制唾液、肠道内淀粉酶的活性,阻碍食物中淀粉的消化吸收,从而起到降血糖作用^[5]。 α -葡萄糖苷酶抑制剂通常具有与单糖或寡糖类似的化学结构,可竞争性地抑制糖水解酶的活性,因此能够有效控制糖尿病患者餐后血糖水平^[6]。此外, α -葡萄糖苷酶抑制剂还能阻碍蛋白质和脂类的糖基化,具有抗癌、抗艾滋病病毒、抗动脉粥样硬化等作用。因此,开发新型的 α -葡萄糖苷酶抑制剂和 α -淀粉酶抑制剂引起了研究者的极大兴趣。我国传统医学认为菊花对糖尿病具有一定的疗效^[7]。研究菊花提取物的抗氧化活性及其对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制作用,有助于阐明菊花防治糖尿病的物质基础和作用机理。

传统的菊花中通常含有多种微量元素,但是硒元素的含量往往较低。硒是人体新陈代谢的必需元素之一,参与免疫调节、激素代谢和抗氧化防御等多种生理活动^[8]。我国大部分地区人均硒摄入量低于世界卫生组织和联合国粮农组织推荐标准,通过富硒食品或保健品来补充硒元素已经成为必然^[9]。陕西省安康市素有“中国硒谷”之称,出产的富硒菊花中硒的含量可达到普通菊花的数十倍。Ma等^[10]研究发现,富硒平菇多糖清除 $ABTS^{\cdot+}$ 、 $DPPH\cdot$ 自由基以及抑制小鼠成肌细胞氧化应激和细胞凋亡的能力明显强于普通平菇多糖。动物实验表明,部分富硒多糖的降血糖活性也高于普通多糖^[11]。但是迄今鲜见关于富硒菊花抗氧化、降血糖活性的研究报道。本研究以富硒菊花为试材,比较研究富硒菊花和普通菊花甲醇提取物的总还原力及其对 $ABTS^{\cdot+}$ 、 $DPPH\cdot$ 、 OH 自由基的清除能力,同时,分析2种菊花提取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活力的影响,以期以降血糖药物或功能性食品添加剂的筛选以及富硒菊花资源的开发利用提供参考。

1 材料与仪器

1.1 植物材料与试剂

富硒菊花由陕西省安康聚源实业有限公司提供,运用原子荧光光谱法测得硒含量为 $69\ \mu\text{g}/\text{kg}$,达到了富硒食品标准^[12];普通菊花购于浙江省药店,硒含量未达到富硒食品标准^[12];4-硝基酚- α -D-吡喃葡萄糖苷(PNPG)购于上海源叶生物科技有限公司;阿卡波糖购于德国Bayer公司;2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、维生素C(Vc)、 α -淀粉酶购于美国Sigma公司; α -葡萄糖苷酶购于上海生工生物公司;其它试剂购于国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器与设备

1510型全波长酶标仪:美国Thermo Fisher Scientific公司;722S型可见光分光光度计:上海仪电分析仪器有限公司;RE-52型旋转蒸发器:上海安亭实验仪器有限公司;LGJ-18C型真空冷冻干燥机:北京四环科学仪器厂;JPCQ0328型全数字式超声波清洗机:武汉嘉鹏电子有限公司;BS224S型电子天平:德国Sartorius公司;AFS-9700型原子荧光光度计:北京海光仪器公司。

2 实验方法

2.1 菊花预处理

挑拣去除菊花样品中的茎、叶等杂质,在 $45\ ^\circ\text{C}$ 干燥至恒重,粉碎后过80目药典筛,置于棕色瓶中保存。

2.2 菊花提取物制备

参考文献^[13]的方法制备菊花甲醇提取物,略有改动。称取菊花粉末20 g,加入400 mL甲醇,超声波辅助提取20 min(20 kHz,90 W, $45\ ^\circ\text{C}$)。在4 000 rpm条件下离心10 min,保留上清液,取残渣再次加入甲醇提取,重复3次,合并上清液。用旋转蒸发器真空浓缩后进行冷冻干燥,即得菊花甲醇提取物。

2.3 抗氧化活性测定

2.3.1 总还原力

参照文献^[14]的方法测定菊花总还原力,略有改动。取0.08 g菊花提取物,溶于40 mL去离子水中,制成样品储备液(下同)。实验设置样品组和对照组,样品组分别加入200、300、400、500和600 μL 样品储备液,用去离子水定容至1 mL,再各加入 $\text{pH}=6.8$ 的磷酸盐缓冲液3.0 mL和1%的铁氰化钾溶

液 2.5 mL,混匀后在 45 °C 温浴 30 min。迅速冷却,然后加入 10% 三氯乙酸溶液 3.0 mL。在 4 000 rpm 条件下离心 5 min,取上清液 3.0 mL,加入 2.0 mL 去离子水和 0.1% 三氯化铁溶液 1.0 mL。在 700 nm 波长处测定吸光值。以吸光值大小表示总还原能力强弱。阳性、阴性对照组分别以 Vc、去离子水代替样品储备液。

2.3.2 ABTS $^{\cdot+}$ 自由基清除能力

参考文献^[15]的方法测定菊花 ABTS $^{\cdot+}$ 自由基清除能力,略有改动。将 ABTS 溶液 and 过硫酸钾溶液等体积混合,避光反应(过夜)后用无水乙醇稀释,得到 ABTS $^{\cdot+}$ 溶液。实验设置样品组和对照组,样品组分别加入 10、20、30、40 和 50 μ L 样品储备液,用去离子水定容至 1 mL,再各加入 ABTS $^{\cdot+}$ 溶液 2 mL。在 30 °C 避光温浴 6 min,之后在 734 nm 波长处测定吸光值,计算 ABTS $^{\cdot+}$ 自由基清除率和半数有效浓度(EC_{50})。阳性、阴性对照组分别以 Vc、去离子水代替样品储备液。

2.3.3 DPPH \cdot 自由基清除能力

参考文献^[15]的方法测定菊花 DPPH \cdot 自由基清除能力,略有改动。用无水乙醇配制 DPPH \cdot 溶液。实验设置样品组和对照组,样品组分别加入 10、20、30、40 和 50 μ L 样品储备液,用去离子水定容至 1 mL,再各加入 DPPH \cdot 溶液 1 mL,在 37 °C 避光温浴 30 min,之后在 517 nm 波长处测定吸光值,计算 DPPH \cdot 自由基清除率和 EC_{50} 。阳性、阴性对照组分别以 Vc、去离子水代替样品储备液。

2.3.4 OH 自由基清除能力

参考文献^[14,16]的方法测定菊花 OH 自由基清除能力,略有改动。实验设置样品组和对照组,样品组分别加入 75、100、125、150 和 175 μ L 样品储备液,用去离子水定容至 1 mL,再加入 6 mmol/L 的 $FeSO_4$ 溶液和 6 mmol/L 的 H_2O_2 溶液各 1.0 mL,混匀后静置 15 min。然后加入 6 mmol/L 的水杨酸乙醇溶液 3.0 mL,在 37 °C 温浴 30 min,之后在 510 nm 波长处测定吸光值,计算 OH 自由基清除率和 EC_{50} 。阳性、阴性对照组分别以 Vc、去离子水代替样品储备液。

2.4 糖代谢相关酶系活力测定

2.4.1 对 α -淀粉酶的抑制作用

参考文献^[17,18]的方法分析菊花对 α -淀粉酶的抑制作用。以阿卡波糖为对照,计算 α -淀粉酶抑制率和半抑制浓度(IC_{50})。

2.4.2 对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用

参考文献^[5,18]的方法分析菊花对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用。以阿卡波糖为对照,计算 α -葡萄糖苷酶抑制率和 IC_{50} 。

2.5 数据处理

所有实验均设置 3 个重复。采用 Microsoft Excel 2010 软件录入、计算实验数据;采用 SPSS 13.0 软件进行显著性分析。

3 结果与分析

3.1 富硒菊花的总还原力

富硒菊花和普通菊花甲醇提取物的总还原力如图 1 所示。可以看出,在试验浓度范围内,随着菊花提取物浓度的增大,总还原力逐渐增强,说明菊花提取物的总还原力具有剂量依赖性。富硒菊花和普通菊花的甲醇提取物均具有一定的总还原力,并且前者的总还原力强于后者($P < 0.01$)。

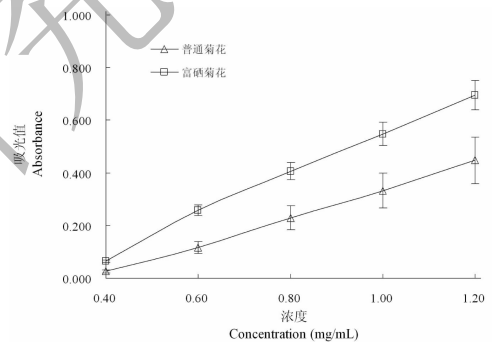


图 1 富硒菊花的总还原力

Fig. 1 Reducing power of Se-enriched *Chrysanthemum morifolium*

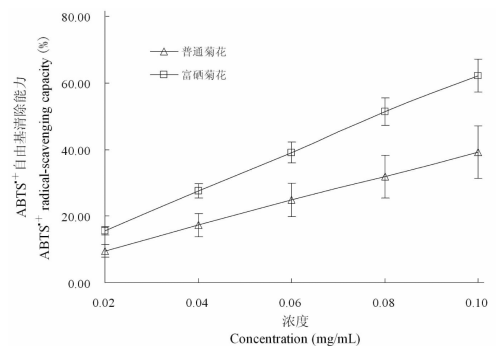


图 2 富硒菊花的 ABTS $^{\cdot+}$ 自由基清除能力

Fig. 2 ABTS $^{\cdot+}$ radical-scavenging activity of Se-enriched *Chrysanthemum morifolium*

3.2 富硒菊花对 ABTS $^{\cdot+}$ 自由基的清除作用

由图 2 可见,富硒菊花和普通菊花提取物均具

有清除 $ABTS^{\cdot+}$ 自由基的能力。在试验浓度范围内,自由基清除率随着提取物浓度的增大而提高。当浓度为 0.10 mg/mL 时,富硒菊花的清除率可达到 62.18% ,显示出较好的 $ABTS^{\cdot+}$ 清除能力。由表 1 可知,提取物浓度与自由基清除率之间数学模型

的相关系数 (R^2) 在 0.99 以上,说明该模型能够较准确地反映量效关系。富硒菊花提取物的 EC_{50} 低于普通菊花(表 1),提示富硒菊花对 $ABTS^{\cdot+}$ 自由基的清除能力强于普通菊花。但是富硒菊花和普通菊花提取物的 EC_{50} 均低于 V_c 。

表 1 富硒菊花的抗氧化活性及其量效关系数学模型

Table 1 Antioxidant activity and mathematical model of dose-effect relationship of Se-enriched *Chrysanthemum morifolium*

样品 Sample	自由基 Radical	拟合方程 Fit equation	相关系数 R^2	EC_{50} (mg/mL)
富硒菊花 Se-enriched <i>C. morifolium</i>	$ABTS^{\cdot+}$	$y = 5.855 2x + 0.040 3$	0.999 6	0.078 5
	DPPH \cdot	$y = 6.857 5x + 0.033 7$	0.997 6	0.068 0
	$\cdot OH$	$y = 1.982 2x - 0.187 7$	0.993 5	0.346 9
普通菊花 Traditional <i>C. morifolium</i>	$ABTS^{\cdot+}$	$y = 3.690 2x + 0.024 2$	0.999 6	0.128 9
	DPPH \cdot	$y = 3.903 2x + 0.026 9$	0.996 0	0.121 2
	$\cdot OH$	$y = 2.690 5x - 0.343 0$	0.998 1	0.313 3
V_c	$ABTS^{\cdot+}$	$y = 0.077 6x + 0.022 2$	0.999 8	0.006 2
	DPPH \cdot	$y = 0.082 0x - 0.002 1$	0.997 1	0.006 1
	$\cdot OH$	$y = 3.928 4x - 0.104 3$	0.993 5	0.000 2

3.3 富硒菊花对 DPPH \cdot 自由基的清除作用

由图 3 可见,2 种菊花提取物均显示出一定的 DPPH \cdot 自由基清除能力,并且其清除活性具有剂量依赖性。当提取物浓度为 0.10 mg/mL 时,富硒菊花的自由基清除率可达到 70.68% ,表现出良好的自由基清除能力。由表 1 可知,富硒菊花提取物、普通菊花提取物、 V_c 的 EC_{50} 分别为 $0.068 0$ 、 $0.121 2$ 、 $0.006 1 \text{ mg/mL}$,表明富硒菊花提取物对 DPPH \cdot 自由基的清除能力强于普通菊花,但是同 V_c 相比,2 种菊花提取物对 DPPH \cdot 自由基的清除能力相对较弱。

由基的能力。在试验浓度范围内,随着菊花提取物浓度的增大,自由基清除率逐渐升高。当浓度较低时,富硒菊花提取物的清除率略高于普通菊花;当浓度较高时,普通菊花提取物的清除率略高于富硒菊花。在试验浓度范围内,富硒菊花与普通菊花提取物对 OH 自由基的清除能力没有显著差异 ($P > 0.05$),这与 $ABTS^{\cdot+}$ 、DPPH \cdot 自由基清除能力以及总还原力的趋势不完全一致。由表 1 可知,富硒菊花提取物、普通菊花提取物、 V_c 清除 OH 自由基的 EC_{50} 分别为 $0.346 9$ 、 $0.313 3$ 、 $0.000 2 \text{ mg/mL}$,提示富硒菊花提取物对 OH 自由基的清除能力与普通菊花接近,但弱于 V_c 。

综上可见,富硒菊花甲醇提取物的 $ABTS^{\cdot+}$ 、DPPH \cdot 自由基清除能力以及总还原力明显强于普通菊花,其 OH 自由基清除能力与普通菊花接近,提示富硒菊花的抗氧化活性优于普通菊花。硒是生命体抗氧化防御系统的重要参与者^[8]。大量研究表明,很多植物的硒蛋白、硒多糖及其它有机硒物质(如含硒多酚)具有较高的抗氧化活性^[19]。甲醇容易溶解多酚和黄酮类化合物等物质,富硒菊花甲醇提取物中可能含有较多的含硒多酚或其它有机硒物质,这可能是富硒菊花提取物抗氧化活性较高的主要原因。Molan 等^[20] 研究发现,富硒绿茶提取物的铁离子还原活性、DPPH \cdot 自由基清除能力、亚铁离子螯合活性均优于普通绿茶,其主要原因是前者含

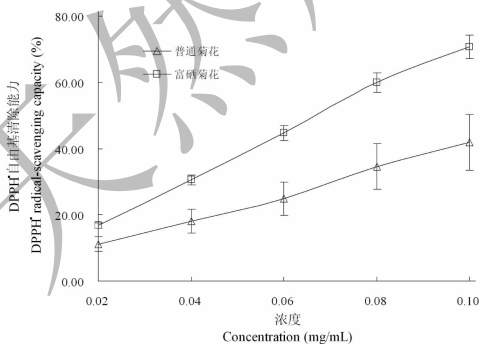


图 3 富硒菊花的 DPPH \cdot 自由基清除能力

Fig. 3 DPPH \cdot radical-scavenging activity of Se-enriched *Chrysanthemum morifolium*

3.4 富硒菊花对 OH 自由基的清除作用

由图 4 可见,2 种菊花提取物均具有清除 OH 自

有更多的多酚。本研究涉及的富硒菊花与普通菊花的产地不同,其多酚、黄酮类化合物的含量也可能不同,这或许是两者抗氧化能力差异较大的另一个重要原因。

3.5 富硒菊花对 α -淀粉酶活力的影响

富硒菊花和普通菊花提取物对 α -淀粉酶活力的影响如图5所示。可以看出,在试验浓度范围内,

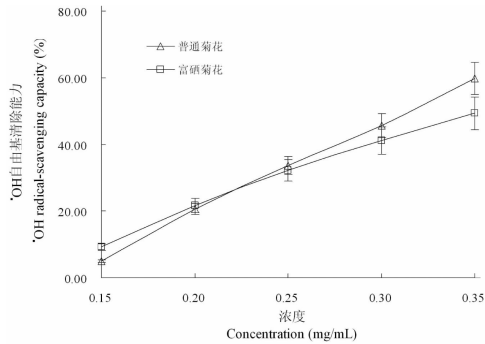


图4 富硒菊花的OH自由基清除能力

Fig. 4 OH radical-scavenging activity of Se-enriched *Chrysanthemum morifolium*

菊花提取物的 α -淀粉酶抑制率随着提取物浓度的增加而升高。当浓度为2.50 mg/mL时,富硒菊花的抑制率可达到57.58%。由表2可知,富硒菊花提取物、普通菊花提取物、阿卡波糖的 IC_{50} 分别为2.190 9、3.449 5、0.800 9 mg/mL,暗示2种菊花提取物对 α -淀粉酶的抑制作用均不及阿卡波糖,但富硒菊花提取物的抑制作用强于普通菊花。

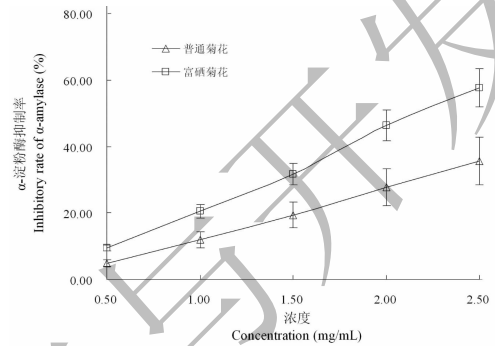


图5 富硒菊花对 α -淀粉酶的抑制作用

Fig. 5 Inhibitory activity of Se-enriched *Chrysanthemum morifolium* against α -amylase

表2 富硒菊花对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制作用及其量效关系数学模型

Table 2 Inhibitory activities against α -amylase and α -glucosidase and mathematical model of dose-effect relationship of Se-enriched *Chrysanthemum morifolium*

样品 Sample	酶 Enzyme	拟合方程 Fit equation	相关系数 R^2	IC_{50} (mg/mL)
富硒菊花 Se-enriched <i>C. morifolium</i>	α -淀粉酶	$y = 0.244 1x - 0.034 8$	0.997 4	2.190 9
	α -葡萄糖苷酶	$y = 0.100 9x + 0.083 9$	0.994 3	4.123 9
普通菊花 Traditional <i>C. morifolium</i>	α -淀粉酶	$y = 0.154 4x - 0.032 6$	0.999 0	3.449 5
	α -葡萄糖苷酶	$y = 0.040 5x + 0.066 8$	0.990 3	10.696 3
阿卡波糖 Acarbose	α -淀粉酶	$y = 0.195 4x + 0.343 5$	0.992 1	0.800 9
	α -葡萄糖苷酶	$y = 2.275 8x + 0.323 6$	0.992 3	0.077 5

3.6 富硒菊花对 α -葡萄糖苷酶活力的影响

由图6可见,2种菊花提取物对 α -葡萄糖苷酶均具有一定的抑制作用,并且其抑制率呈现出剂量依赖性。当提取物浓度为5.00 mg/mL时,富硒菊花提取物的 α -葡萄糖苷酶抑制率可达到59.20%。由表2可知,富硒菊花提取物、普通菊花提取物、阿卡波糖的 IC_{50} 分别为4.123 9、10.696 3、0.077 5 mg/mL,提示富硒菊花提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用强于普通菊花,但二者的抑制效果皆不如阿卡波糖。

综上所述,富硒菊花甲醇提取物对 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶的抑制活性均高于普通菊花。研究

表明,很多植物的多酚、黄酮类化合物都具有较高的 α -葡萄糖苷酶、 α -淀粉酶抑制活性。富硒菊花的 α -葡萄糖苷酶、 α -淀粉酶抑制作用可能与其所含的多酚、黄酮类化合物等有关。

4 结语

本研究测定了富硒菊花和普通菊花甲醇提取物的ABTS \cdot^+ 、DPPH \cdot 、OH自由基清除活性以及总还原力,分析了2种菊花提取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活力的影响。结果表明,2种菊花提取物均具有一定的抗氧化活性和 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶抑制作用。富硒菊花提取物的ABTS \cdot^+ 、DPPH \cdot

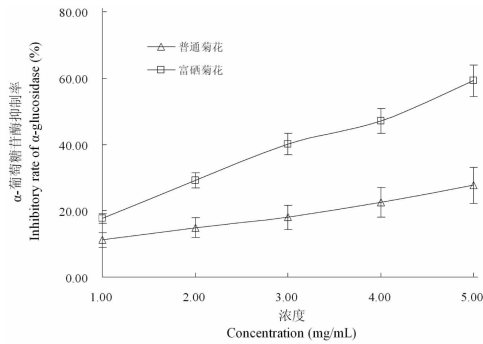


图6 富硒菊花对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用

Fig.6 Inhibitory activity of Se-enriched *Chrysanthemum morifolium* against α -glucosidase

自由基清除能力以及总还原力明显强于普通菊花,提示富硒菊花的抗氧化活性优于普通菊花。富硒菊花提取物对 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶的抑制活性也高于普通菊花。富硒菊花较高的体外抗氧化活性和较强的 α -葡萄糖苷酶、 α -淀粉酶抑制作用可能与其所含的多酚、黄酮类化合物等有关。本研究为富硒菊花资源的开发利用以及降血糖活性物质的筛选提供了参考。今后可通过细胞、动物实验等进一步阐明富硒菊花的抗氧化、降血糖作用及其机制。

参考文献

- Lin LZ, Harnly JM. Identification of the phenolic components of chrysanthemum flower (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) [J]. *Food Chem*, 2010, 120:319-326.
- Jin M, Huang Q, Zhao K, et al. Biological activities and potential health benefit effects of polysaccharides isolated from *Lycium barbarum* L. [J]. *Int J Biol Macromol*, 2013, 54:16-23.
- Jackson SP, Bartek J. The DNA-damage response in human biology and disease [J]. *Nature*, 2009, 461:1071-1078.
- Quan N(全娜), Wang Q(玉琦), Li X(李宣仪), et al. Antioxidant capacity and inhibitory activity against DNA damage of leaves and fruits of *Lycium barbarum* [J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2018, 30:134-140.
- Tadera K, Minami Y, Takamatsu K, et al. Inhibition of α -glucosidase and α -amylase by flavonoids [J]. *J Nutr Sci Vitaminol*, 2006, 52:149-153.
- Kim KY, Nam KA, Kurihara H, et al. Potent α -glucosidase inhibitors purified from the red alga *Grateloupia elliptica* [J]. *Phytochemistry*, 2008, 69:2820-2825.
- Chen S(陈少华), Sun Y(孙玉萍), Chen X(陈秀杉), et al. Effect of Jiangtanggang on blood glucose, sensitivity of insulin and blood viscosity in non-insulin dependant diabetes mellitus [J]. *Chinese J Integr Tradit Western Med*(中国中西

医结合杂志), 1997, 11:666-668.

- Smrkolj P, Pograjc L, Hlastan-Ribic C, et al. Selenium content in selected Slovenian foodstuffs and estimated daily intakes of selenium [J]. *Food Chem*, 2005, 90:691-697.
- Bhatia P, Aureli F, D' Amato M, et al. Selenium bioaccessibility and speciation in biofortified *Pleurotus* mushrooms grown on selenium-rich agricultural residues [J]. *Food Chem*, 2013, 140:225-230.
- Ma L, Zhao Y, Yu J, et al. Characterization of Se-enriched *Pleurotus ostreatus* polysaccharides and their antioxidant effects *in vitro* [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 111:421-429.
- Jin M, Lu Z, Huang M, et al. Effects of Se-enriched polysaccharides produced by *Enterobacter cloacae* Z0206 on alloxan-induced diabetic mice [J]. *Int J Biol Macromol*, 2012, 50:348-352.
- Ankang Municipal Administration of Quality and Technology Supervision(安康市质量技术监督局). DB 6124. 01-2010 Classification standard of selenium content in Se-enriched foods[S]. Ankang Local Standard(安康市地方标准), 2010-11-8.
- Šamec D, Valek-Žulj L, Martinez S, et al. Phenolic acids significantly contribute to antioxidant potency of *Gynostemma pentaphyllum* aqueous and methanol extracts [J]. *Ind Crops Prod*, 2016, 84:104-107.
- Tseng YH, Yang JH, Mau JL. Antioxidant properties of polysaccharides from *Ganoderma tsugae* [J]. *Food Chem*, 2008, 107:732-738.
- Zhang HF, Zhang X, Yang XH, et al. Microwave assisted extraction of flavonoids from cultivated *Epimedium sagittatum*: extraction yield and mechanism, antioxidant activity and chemical composition [J]. *Ind Crop Prod*, 2013, 50:857-865.
- Arantes V, Milagres AM, Filley TR, et al. Lignocellulosic polysaccharides and lignin degradation by wood decay fungi: the relevance of nonenzymatic Fenton-based reactions [J]. *J Ind Microbiol Biotechnol*, 2011, 38:541-555.
- He Q, Lv Y, Yao K, et al. Effects of tea polyphenols on the activities of α -amylase, pepsin, trypsin and lipase [J]. *Food Chem*, 2007, 101:1178-1182.
- Yu ZL, Gao HX, Zhang Z, et al. Inhibitory effects of *Ligustrum robustum* (Rxb.) Blume extract on α -amylase and α -glucosidase [J]. *J Funct Foods*, 2015, 19:204-213.
- Sheng Y, Liu G, Wang M, et al. A selenium polysaccharide from *Platycodon grandiflorum* rescues PC12 cell death caused by H_2O_2 via inhibiting oxidative stress [J]. *Int J Biol Macromol*, 2017, 104:393-399.
- Molan AL, Flanagan J, Wei W, et al. Selenium-containing green tea has higher antioxidant and prebiotic activities than regular green tea [J]. *Food Chem*, 2009, 114:829-835.