

发酵巴戟天中多糖、寡糖与蒽醌复配的 抗氧化活性研究

黄俊源, 罗志锋, 苏 艺, 袁晚晴, 黎 攀, 杜 冰*

(华南农业大学食品学院, 广州 510642)

摘 要: **目的** 研究发酵巴戟天中多糖、寡糖与蒽醌单独及复配后的抗氧化活性。**方法** 通过 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基、羟自由基、超氧自由基的清除率和线虫模型对 3 种有效组分的抗氧化活性进行测定。**结果** 多糖、寡糖与蒽醌单独作用及复配均对活性氧自由基具有清除作用, 复配组在低中质量浓度下清除 DPPH 自由基具有协同抗氧化作用; 以羟自由基为清除对象时, 在高质量浓度只有蒽醌+寡糖和多糖+寡糖+蒽醌组才存在协同作用; 以超氧自由基为清除对象时, 除了多糖+寡糖组在低质量浓度下表现为协同作用, 其余 3 组均在中质量浓度下表现为协同作用。此外, 复配组分对线虫的寿命延长和运动行为能力增强作用效果普遍优于单独作用。**结论** 发酵巴戟天中多糖、寡糖与蒽醌的含量较为丰富, 复配后具有良好的抗氧化效果, 本研究可为发酵巴戟天的开发提供基础数据。

关键词: 发酵巴戟天; 抗氧化活性; 多糖; 寡糖; 蒽醌; 复配

Study on antioxidant activity of the compound of polysaccharide, oligosaccharide and anthraquinone in fermented *Morinda officinalis* How.

HUANG Jun-Yuan, LUO Zhi-Feng, SU Yi, YUAN Wan-Qing, LI Pan, DU Bing*

(College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

ABSTRACT: Objective To study the antioxidant activities of polysaccharides, oligosaccharides and anthraquinones in fermented *Morinda officinalis* How. alone and in combination. **Methods** The scavenging rates of 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radical, hydroxyl free radical, superoxide free radical, and *Caenorhabditis elegans* How. model were used to determine the antioxidant activities of the 3 kinds of active components. **Results** Polysaccharides, oligosaccharides and anthraquinone alone and in combination had a scavenging effect on reactive oxygen free radicals, and the combination group had a synergistic antioxidant effect on DPPH free radicals at low and medium mass concentrations. When hydroxyl free radicals were used as scavengers, only the anthraquinone+oligosaccharide and polysaccharide+oligosaccharide+anthraquinone groups showed synergistic effects at high mass concentrations. When superoxide free radicals were used as scavengers, all three groups showed synergistic effects at medium mass concentrations, except for the polysaccharide+oligosaccharide group which showed synergistic effects

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-21)、广东省重点领域研发计划项目(2020B020226008)

Fund: Supported by the China Agriculture Research System of the Ministry of Finance and the Ministry of Agriculture and Rural Affairs (CARS-21), and the Key-area Research and Development Program of Guangdong Province (2020B020226008)

***通信作者:** 杜冰, 博士, 教授, 主要研究方向为中草药炮制及活性成分代谢调控、新资源食品开发和应用研究。E-mail: gzdubing@163.com

***Corresponding author:** DU Bing, Ph.D, Professor, College of Food Science, South China Agricultural University, Wushan Road No.483, Tianhe Direct, Guangzhou 510642, China. E-mail: gzdubing@163.com

at low mass concentrations. In addition, the effects of the compound components on *Caenorhabditis elegans* How. lifespan extension and enhanced locomotor behaviour were generally more effective than those of the *Caenorhabditis elegans* How. alone. **Conclusion** The content of polysaccharides, oligosaccharides, and anthraquinones in fermented *Morinda officinalis* How. are rich, the compound have a good antioxidant effect, this study can provide basic data for the development of fermented *Morinda officinalis* How..

KEY WORDS: fermented *Morinda officinalis* How.; antioxidant activity; polysaccharides; oligosaccharide; anthraquinone; compound

0 引言

巴戟天(*Morinda officinalis* How.)是茜草科巴戟属双子叶植物巴戟天的干燥根,广泛分布于热带、亚热带和温带地区,在亚洲尤其中国南方是最为著名的草本植物之一^[1-2]。根据国家卫生部[2002]51号《关于进一步规范保健食品原料管理的通知》^[3],巴戟天是作为保健食品原料之一,可以通过提取有效活性成分后,复方制作各种形式的保健食品,如复方口服液、含片、软糖等。

糖类和蒽醌是巴戟天的主要活性成分之一,其主要有提高机体免疫力、抗骨质疏松、抗抑郁、抗衰老、抗癌和治疗阳痿遗精等药理活性^[4-10]。巴戟天的炮制方法有蒸制、酒制、盐制、发酵等^[11-13],其中发酵法能通过微生物和酶的作用改变巴戟天原有的特性,进而有助于巴戟天内有效活性物质的释放^[13]。课题组前期的研究发现,相比于未发酵巴戟天,使用 DU-106(一种新型的乳酸芽孢杆菌)发酵巴戟天,糖类和游离蒽醌在内的多种活性物质的抗氧化能力均显著提升^[14]。巴戟天中多糖、寡糖与蒽醌都具有抗氧化活性^[14-17],而协同作用指的是物质按照一定配比组合的效果显著优于各个物质单独作用。越来越多的研究指出,将可食性植物的有效组分进行复配会在一定程度上增强其协同抗氧化作用^[18]。近年来,有关巴戟天的有效成分研究主要以其单独作用为主^[19-22],复配组合后协同或拮抗效应的研究却鲜有报道,尤其是将糖类与蒽醌进行复配。

因此本研究结合发酵巴戟天中糖类和蒽醌特性,探究发酵巴戟天中多糖、寡糖和蒽醌单独及复配的抗氧化效果,可以为药物有效成分间的复配应用提供一定的参考和数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

发酵巴戟天(已抽芯)委托无限极(中国)有限公司所制得,经广东药科大学中药标本馆主任刘基柱副教授鉴定为茜草科巴戟属双子叶植物巴戟天(*Morinda officinalis* How.)的干燥根发酵物;野生型线虫 N2 (*C. elegans* Bristol N2)由华南农业大学新资源食品与功能性原料评价及研究中心保藏并提供;胰蛋白胨、技术琼脂粉(广东环凯微生物

科技有限公司);链霉素硫酸盐(美国 Sigma 公司)。

其他试剂均为天津市大茂化学试剂厂分析纯。

1.2 仪器与设备

UV759 紫外分光光度计(上海精密科学仪器有限公司); ANKE TDL-5-A 离心机(上海安亭分析仪器有限公司); Laborata 4000 旋转蒸发器(德国 Heidolph 公司); Scan Speed 40 真空冷冻干燥机(丹麦 LaboGene 公司); 万分位电子天平(日本岛津公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 发酵巴戟天多糖、寡糖与蒽醌的提取纯化

参考文献[24-25],对发酵巴戟天中多糖、寡糖与蒽醌进行提取及分离纯化,将纯化后的多糖、寡糖与蒽醌用于后续实验。

1.3.2 自由基清除能力测试

本研究探究发酵巴戟天多糖、寡糖与蒽醌单独及复配对不同自由基清除能力的交互作用,基于测定得到 3 种有效组分样品的半抑制浓度(half maximal inhibitory concentration, IC₅₀, mg/mL),以其为基础配制 0.25 IC₅₀、0.5 IC₅₀、1 IC₅₀、2 IC₅₀、4 IC₅₀ 共计 5 个质量浓度,将有效组分间的各个浓度按质量体积比 1:1 混合(指将冷冻干燥后的有效组分称对应质量混合后定容至与单独组相同的体积),根据下述的方法测定混合后的抗氧化能力。药物联合指数(combination index, CI)值由 CompuSyn 软件分析计算,作为评价成分间是否存在协同或拮抗作用的指标。药效水平 Fa 值在本研究为对应的自由基清除率,当 CI 值<1 时表明两种组分间具有协同功效;CI 值=1 时表明两种组分间只有简单加和作用;CI 值>1 时表明两种组分间存在拮抗作用^[23]。

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除能力测定:将 2 mL 无水乙醇溶解的 DPPH 自由基溶液加入至实验组、阳性对照组和空白组的试管中,再分别将 2 mL 一系列质量浓度的有效组分、维生素 C (vitamin C, VC)溶液(0.2~1.0 mg/mL)和无水乙醇分别加至实验组、阳性对照组和空白组中,充分混匀后在室温下避光 30 min,在 517 nm 波长处检测其吸光度。每自由基清除率计算公式为式(1)。

$$\text{清除率}/\% = (1 - \frac{A_1 - A_2}{A_3}) \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中: A_1 为实验组的吸光值; A_2 为样品对照组的吸光值; A_3 为空白组的吸光值。

羟自由基清除能力测定: 参照 SMIRNOFF 等^[26]实验方法进行, 稍作修改。将 2 mL 一系列质量浓度的有效组分、VC 溶液(0.2~1.0 mg/mL)、2 mL 6 mmol/L FeSO_4 溶液和过氧化氢溶液分别加入实验组和阳性对照组, 在混匀后在室温下进行避光 10 min, 随后加入 2 mL 6 mmol/L 水杨酸溶液, 在混匀后室温下避光 30 min, 测定 510 nm 处的吸光度; 样品对照组在混匀后不添加水杨酸溶液, 加入 2 mL 蒸馏水测定吸光度; 空白组用 2 mL 蒸馏水替代样品溶液, 其他操作相同, 测得光密度自由基清除率计算公式为式(1)。

超氧阴离子自由基清除能力测定: 将 4 mL 一系列质量浓度的有效组分、VC 溶液(0.2~1.0 mg/mL)、5 mL Tris-HCl 缓冲液(pH 8.2, 50 mmol/L)加入实验组和阳性对照组, 充分混匀后在 25 °C 水浴 15 min, 加入 0.15 mL 3 mmol/L 邻苯三酚溶液, 混匀后加入 0.8 mL HCl 溶液终止反应, 在实验过程中设计样品对照组, 将蒸馏水作为对照; 空白组用 Tris 缓冲液替代样品溶液, 在 335 nm 波长处检测其吸光值。自由基清除率计算公式为式(2)。

$$\text{清除率}/\% = \left(\frac{B_1}{B_0} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中: B_1 为实验组吸光度; B_0 为用蒸馏水替代样品的空白组吸光度。

1.3.3 线虫抗氧化测试

(1)线虫的同期化

参考文献[25]的方法对线虫进行培养, 得 L4 期线虫。

(2)寿命的测定

将同期化的线虫分为对照组和实验组, 每板 30 条, 在 20 °C 下恒温培养。每天都观察并记录线虫的死亡数、存活数和丢失数, 直至最后一条线虫死亡即实验结束。培养基中全部线虫均死亡的时间平均值为平均寿命, 当培养基中线虫存活数量为原总数 10% 时的平均寿命为最高寿命。

(3)线虫运动行为能力测定

挑取至少 15 条、培养时间为 3 d 的线虫放置于原始

的线虫生长培养基(nematode growth medium, NGM), 在线虫恢复运动 2 min 后, 记录 1 min 时间内头部摆动的总次数; 用相同方法记录 20 s 时间内躯体弯曲的总次数(20 s 内线虫躯体完成波长轨迹的次数)。

1.4 数据处理

数据结果采用 SPSS 26、CompuSyn 进行分析, Origin 9.8 软件进行可视化处理。

2 结果与分析

2.1 发酵巴戟天中有效组分的纯化

发酵巴戟天粗多糖经过一系列除杂处理以及过阴离子层析柱 DEAE-Sephrose Fast Flow 纯化后, 其总多糖纯度达到 98.3%; 粗寡糖组分经过 D-900 型离子交换大孔树脂纯化后, 其寡糖的纯度为 93.2%, 粗蒽醌经过 D101 大孔树脂纯化后, 其总蒽醌纯度达到了 96.5%。

2.2 多糖、寡糖与蒽醌单独及复配对自由基的清除作用

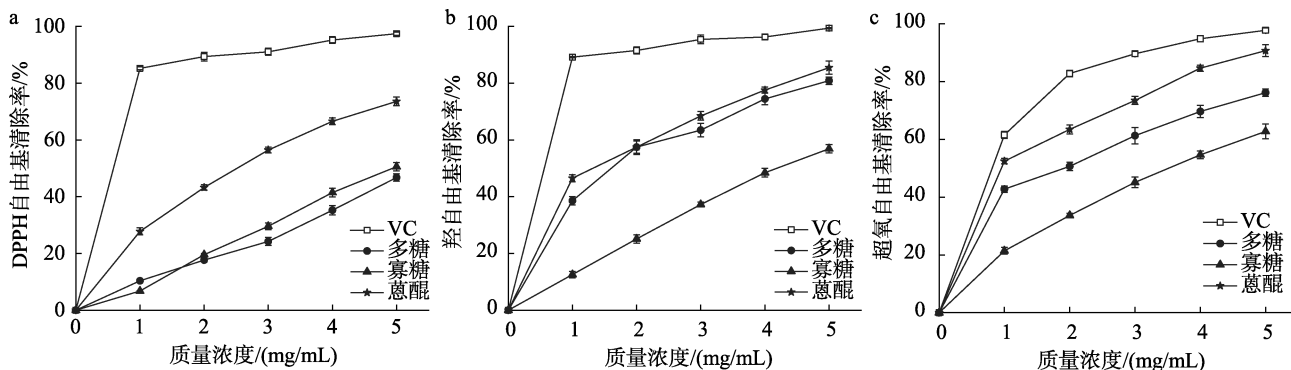
2.2.1 各组分不同质量浓度下单独对自由基的清除作用

由图 1 可知, 发酵巴戟天多糖、寡糖和蒽醌对 3 种自由基均具有一定的清除效果, 且呈剂量依赖关系。发酵巴戟天多糖、寡糖和蒽醌清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 分别为 5.302、4.738 和 2.687 mg/mL。同理, 多糖、寡糖和蒽醌清除羟自由基的 IC_{50} 分别为 1.734、4.326 和 1.322 mg/mL; 多糖、寡糖和蒽醌清除超氧自由基的 IC_{50} 分别为 1.821、3.64 和 0.88 mg/mL。虽然 3 种活性成分对自由基的清除能力始终低于 VC, 但也表现出一定的抗氧化潜力, 因此对多糖、寡糖与蒽醌单独作用及复配后的抗氧化效果进行探究。

2.2.2 多糖、寡糖与蒽醌不同质量浓度下单独及复配对自由基的清除作用

(1)各组分在不同质量浓度下单独及复配对 DPPH 自由基的清除作用

发酵巴戟天中多糖、寡糖与蒽醌在一系列质量浓度下



注: a 为多糖、寡糖和蒽醌对 DPPH 自由基清除率的影响; b 为多糖、寡糖和蒽醌对羟自由基清除率的影响; c 为多糖、寡糖和蒽醌对超氧自由基清除率的影响。

图 1 多糖、寡糖与蒽醌的自由基清除能力(n=3)

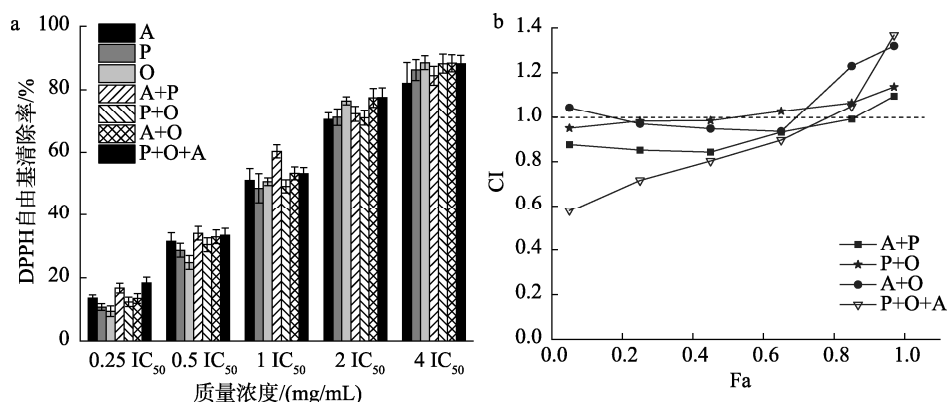
Fig.1 Free radical scavenging abilities of polysaccharides, oligosaccharides and anthraquinones (n=3)

单独及复配后对 DPPH 自由基清除率的清除作用如图 2a 所示, 同时图 2b 的剂量-效应曲线可用来表示不同复配物之间存在的相互作用。各单独组与复配组对 DPPH 自由基清除能力均随着质量浓度的升高而增强, 呈剂量依赖性。在 $0.25 \sim 1 \text{ IC}_{50}$ 的浓度范围内, 蒽醌(A)单独作用对 DPPH 自由基清除能力优于多糖(P)或寡糖(O)的单独作用; 而在 2 IC_{50} 和 4 IC_{50} 的浓度下寡糖(O)单独的自由基清除能力相比蒽醌(A)与多糖(P)单独作用更占优。蒽醌+多糖(A+P)组、多糖+寡糖(P+O)和多糖+寡糖+蒽醌(P+O+A)组的 CI 值分别在药效水平(Fa) $0 \sim 0.8$ 、 $0 \sim 0.5$ 和 $0 \sim 0.7$ 的范围内小于 1, 存在协同作用, 图 2a 数据表明 DPPH 自由基清除率在小于 50% 时, 上述 3 种复配组的自由基清除率均高于其组成成分的单独作用; 同理可解释 A+P 组与 P+O+A 组 DPPH 自由基清除率分别在 80% 和 70% 以下的质量浓度时, 清除能力高于其组成成分的单独作用。而当 CI 值 > 1 时, 各组分间复配会存在拮抗作用, 从而导致复配组分的清除率与各成分单独清除效果差别不大甚至更低。综上, 组分复配会在中低浓度下对 DPPH 自由基有较好的清除能力, 但在高

浓度中会存在拮抗作用, 单独作用的组分与复配的清除能力无较大差别。

(2) 各组分在不同质量浓度下单独及复配对羟自由基的清除作用

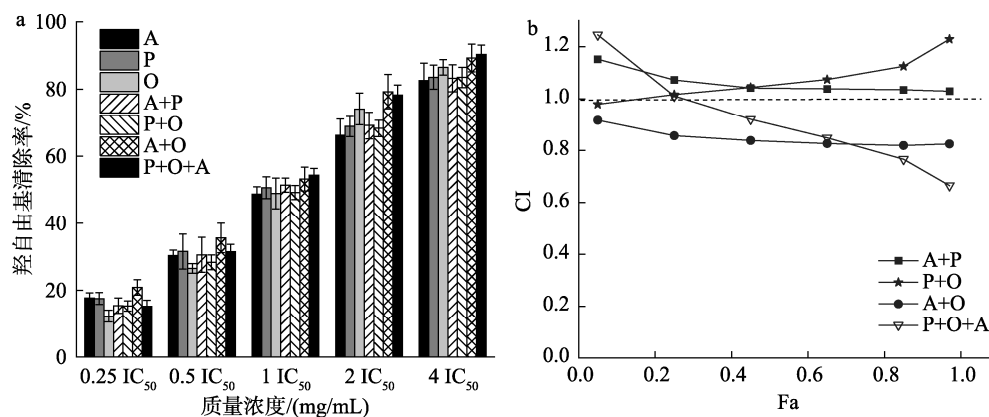
不同质量浓度的有效组分单独及复配对羟自由基的清除效果如图 3a 所示, 不同组分间在清除羟自由基时的相互作用可通过图 3b 的剂量-效应曲线分析。单独作用组与复配组对羟自由基的清除能力均呈剂量依赖性。其中 A+O 组 CI 值在各药效水平下均小于 1, 因此各质量浓度下, A+O 组对羟自由基清除能力均表现为协同作用, 由图 3a 可知其清除率均高于蒽醌与寡糖在相同质量浓度下的单独作用; 而 A+P 组 CI 值在各药效水平下均大于 1, 因此 A+P 对羟自由基的清除能力均表现为拮抗作用。当药效水平 $\text{Fa} > 0.11$ 时, P+O 组对羟自由基清除能力的 CI 值大于 1, 说明两者之间在此存在拮抗作用, 并且拮抗效果随着浓度的升高而加强, 而 P+O+A 组, 在药效水平 $\text{Fa} > 0.2$ 时, CI 值均小于 1, 且随质量浓度增大而降低, 表明当质量浓度大于 0.25 IC_{50} 时, 三者复配存在较好的协同抗氧化作用。



注: a 为样品单独及复配对 DPPH 自由基清除率的影响; b 为样品复配后 DPPH 自由基清除能力的剂量-效应曲线。

图 2 样品单独及复配对 DPPH 自由基的清除能力和剂量-效应曲线($n=3$)

Fig.2 DPPH free radicals scavenging abilities and dose-effect curves of samples alone and in combination ($n=3$)



注: a 为样品单独及复配对羟自由基清除率的影响; b 为样品复配后羟自由基清除能力的剂量-效应曲线。

图 3 样品单独及复配对羟自由基的清除能力和剂量-效应曲线($n=3$)

Fig.3 Hydroxyl free radicals scavenging abilities and dose-effect curves of samples alone and in combination ($n=3$)

(3)各组分不同质量浓度下单独及复配对超氧自由基的清除作用

由图 4b 可知, A+P 组与 P+O+A 组的 CI 值都呈现先下降后上升的趋势, 并且药效水平 Fa 都在 0.4-0.5 的范围内达到最小值, 说明两组复配在中等剂量浓度下协同抗氧化作用比较明显, 在高浓度的情况下组分间都会相互拮抗。而 P+O 组在 Fa 值>0.25 时, CI 值>1, 说明其均在低浓度下才能产生一定的协同作用。综上, 除了 P+O 组在低质量浓度下表现为协同作用, 其余 3 组均在中质量浓度下表现为协同作用, 因此在各复配组在高浓度下对超氧自由基清除效果在一定程度上会低于各组分的单独作用。

2.3 线虫抗氧化活性

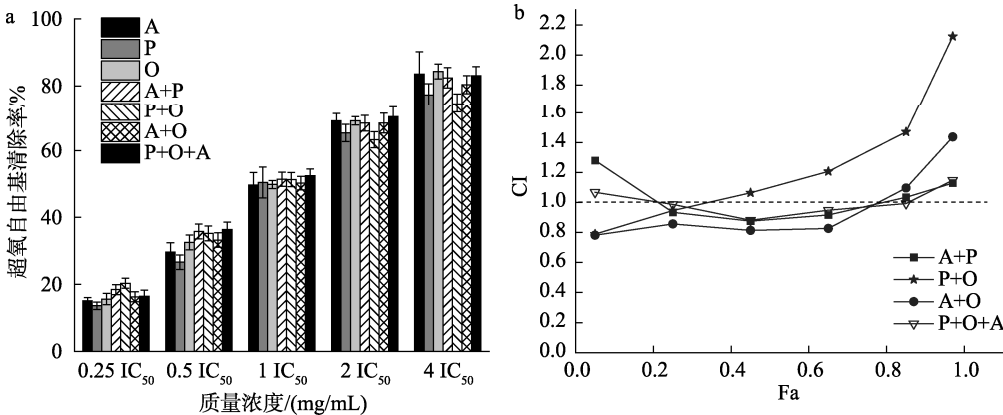
2.3.1 多糖、寡糖与蒽醌单独及复配对线虫寿命的影响

自由基是影响衰老的主要因子, 因此寿命是评价抗氧化能力较为直接的指标^[27-28], 抗氧化研究中的一个关键指标是寿命长短, 通过“2.2.2 (1)”部分可知 3 种组分具有较好协同抗氧化的浓度配比并以 DPPH 自由基清除率的各组分 IC_{50} 值为线虫实验的剂量浓度, 因此本研究对比了抗氧化有效组分在不同质量浓度下单独及复配对线虫寿命的影响。发酵巴戟天有效组分复配后对线虫寿命的影响如图 5 所示, 蒽醌+多糖(A+P)复配组在 0.5 IC_{50} 、1 IC_{50} 和 2 IC_{50} 3 个质量浓度下的线虫寿命提高率分别为 9.88%、23.05%和 36.40%均显著强于蒽醌(A)、多糖(P)单独作用时对寿命的能力, 说明蒽醌和多糖在延缓线虫衰老时具有协同作用, 且在 1 IC_{50} 的质量浓度下协同作用最明显; 多糖+寡糖(P+O)组的线虫平均寿命在 3 质量个浓度下分别为 12.24、13.08 和 14.48 d, 与对照组提高了 6.07%、13.34%和 25.48%, 结果表明两者复配在低、中质量浓度时没有明显的协同延长寿命效果, 在高质量浓度下有一定的协同相互作用; 蒽醌+寡糖(A+O)组线虫寿命提高率在 3 个质量浓度下分别为

14.82%、27.12%和 14.04%, 说明蒽醌和寡糖间在中、低质量浓度下具有一定的协同寿命延长作用, 但在高质量浓度下寿命提高率低于同一质量浓度蒽醌(32.15%)和寡糖(24.78%)单独作用的寿命提高率, 即存在拮抗作用; 蒽醌、多糖和寡糖 3 种组分复配时也与 A+O 组同样有先上升后下降的趋势, P+O+A 组在 3 个质量浓度下的线虫平均寿命分别为 13.53、15.28 和 13.54 d, 寿命提高率分别为 17.24%、32.41%和 26.00%, 结果表明在延长线虫寿命方面, 三者组分复配在低中质量浓度时具有协同作用, 在高质量浓度时具有拮抗作用。

2.3.2 多糖、寡糖与蒽醌单独与复配对线虫行为能力的影响

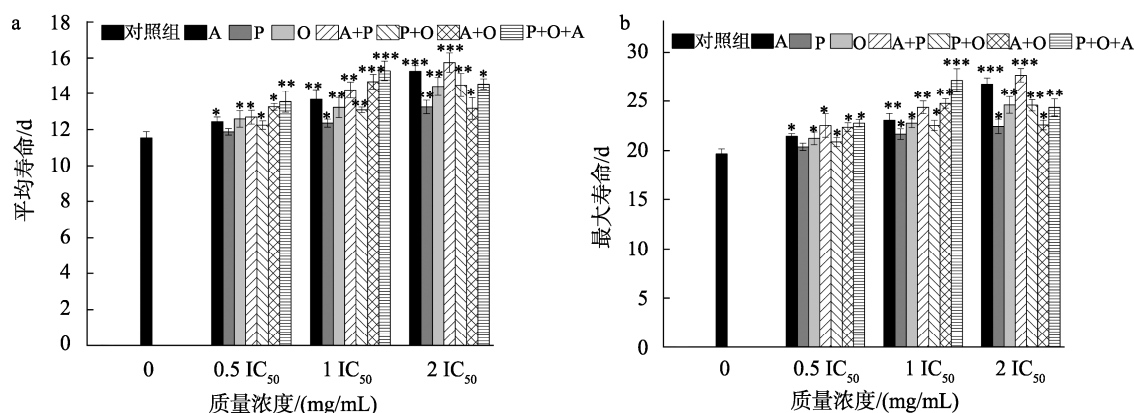
运动行为能力可用作衡量神经系统基本功能的指标, 因此也可以用来反应抗氧化剂对线虫的抗氧化保护作用, 进而判断发酵巴戟天多糖、寡糖与蒽醌单独及复配的抗氧化能力。身体弯曲频率和头部摆动次数反映了线虫的运动行为能力的指标之一^[29]。如图 6a 和图 6b 所示, 与对照组相比, 3 种有效组分单独作用均能显著增强线虫的头部摆动频率和身体弯曲频率, 且随着质量浓度的增大, 对线虫的运动行为能力增强效应更明显, 3 种组分单独作用对线虫的头部摆动频率和身体弯曲频率增强作用由强到弱依次为: 蒽醌(A)>寡糖(O)>多糖(P)。有效组分复配后均能在一定程度上提高线虫的头部摆动频率和身体弯曲频率, 与单一组分相比, P+O 组在高质量浓度(2 IC_{50})下才对运动行为能力有明显的协同增强效果, A+O 组在中质量浓度(1 IC_{50})时有轻微的协同效果, A+P 组以及 P+O+A 组在不同质量浓度下均对线虫的运动行为能力有协同促进作用, 且协同效果随着质量浓度的增大而更加显著, 其中质量浓度为 2 IC_{50} 的 P+O+A 组对线虫头部摆动频率和身体弯曲频率的协同增强效果最为明显, 分别为(132±2.3)次/min 和(31±2.0)次/20 s。



注: a 为样品单独及复配对超氧自由基清除率的影响; b 为样品复配后超氧自由基清除能力的剂量-效应曲线。

图 4 样品单独及复配对超氧自由基的清除能力和剂量-效应曲线(n=3)

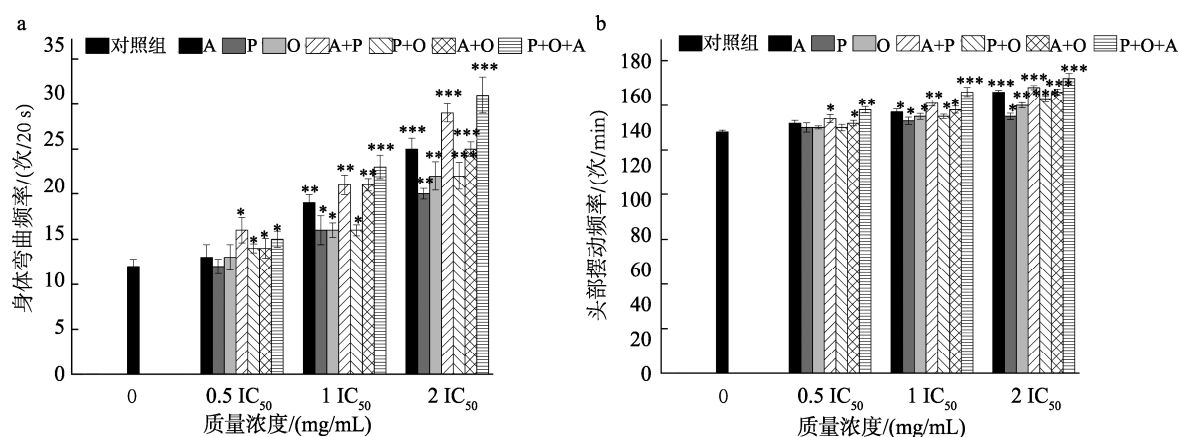
Fig.4 Superoxide free radicals scavenging abilities and dose-effect curves of samples alone and in combination (n=3)



注: a 为质量浓度对线虫平均寿命的影响; b 为质量浓度对线虫寿命最大寿命的影响; 与同一图中对照组相比, *表示有显著差异, $P < 0.05$; **表示有极显著差异, $P < 0.01$; ***表示有强极显著差异, $P < 0.001$ 。

图 5 不同质量浓度下单剂及复配对线虫寿命的影响($n=3$)

Fig.5 Effects of *Caenorhabditis elegans* lifespan alone and in combination at different mass concentrations ($n=3$)



注: a 为质量浓度对身体弯曲频率的影响; b 为质量浓度对头部摆动频率的影响; 与同一图中对照组相比, *表示有显著差异, $P < 0.05$, **表示有极显著差异, $P < 0.01$, ***表示有强极显著差异, $P < 0.001$ 。

图 6 不同质量浓度下单剂及复配对线虫行为能力的影响($n=3$)

Fig.6 Effects of *Caenorhabditis elegans* behavioral abilities alone and in combination at different mass concentrations ($n=3$)

3 讨论与结论

DPPH 自由基、羟自由基、超氧自由基等活性氧自由基(reactive oxygen species, ROS), 属于正常代谢所产生的物质, 维持着人体内的抗氧化系统平衡^[23]。当 ROS 代谢异常时, 过多的 ROS 会导致生物膜及其他组织遭到破坏, 从而引发糖尿病、心血管病等慢性疾病^[30]。本研究以体外抗氧化实验和线虫抗氧化实验来对发酵巴戟天多糖、寡糖与蒽醌的单独与抗氧化协同作用进行评价, 研究表明各成分单独、两两和三者复配均有较好的自由基清除能力且不同抗氧化活性成分的作用效果与活性氧自由基种类差异也存在关联; 不同的抗氧化活性成分所形成的效用, 与活性氧自由基种类差异也存在关联, 在协同抗氧化过程中, 具备不同作用机制的物质可以形成互补, 从而提高抗氧化效果, 但两种抗氧化活性强的活性物质相互结合却有可能出现拮

抗作用, 这可能是因为过高的质量浓度或过强的活性物质会一定程度阻碍修复再生, 难以形成稳定的氧化还原循环系统^[31]。

为了进一步研究发酵巴戟天多糖、寡糖与蒽醌单独及复配对线虫的抗氧化相关指标, 研究发现各成分单独及复配时均能提升线虫的寿命和运动行为能力, 并且寿命提高率随着质量浓度增大而提高, 有效组分 A+P 与 P+O 组在高质量浓度下具有协同效果, A+O 与 P+O+A 组则为拮抗作用, 与活性氧自由基清除的结果接近, 说明抗氧化剂可能通过对活性氧自由基的清除而达到提高线虫存活率的效果; 而在运动行为能力的研究中, 复配组与单独作用相比, 对线虫身体弯曲频率和头部摆动频率提高作用更加明显。因此本研究证明了发酵巴戟天中多糖、寡糖与蒽醌 3 种成分单独和复配均能起到一定的抗氧化保护作用, 但尚未对其协同抗氧化的具体机制进行探讨。该研究可以为日后研究巴

戟天中有效组分的提取提供一定参考,有利于促进巴戟天中有效组分复配使用提供新的研究思路。

参考文献

- [1] YIP KM, XU J, ZHOU SS, *et al.* Characterization of chemical component variations in different growth years and tissues of *Morinda officinalis* radix by integrating metabolomics and glycomics [J]. *J Agric Food Chem*, 2019, 67(26): 7304–7314.
- [2] 宫璐, 汪鹏, 谭瑞湘, 等. 南药巴戟天的全球产区划[J]. *世界中医药*, 2017, 12(5): 986–988.
- GONG L, WANG P, TAN RX, *et al.* Global producing area of south Chinese medicine *Morinda officinalis* How. [J]. *World Chin Med*, 2017, 12(5): 986–988.
- [3] 中华人民共和国国家卫生健康委员会公告. 卫生部关于进一步规范保健食品原料管理的通知[EB/OL]. [2002-03-11]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/gfxwj/201304/e33435ce0d894051b15490aa3219cdc4.shtml> [2022-04-16]. The People's Republic of China National Health and Health Commission Announcement. Ministry of Health on further standardizing the management of health food ingredients notice. [EB/OL]. [2002-03-11]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/gfxwj/201304/e33435ce0d894051b15490aa3219cdc4.shtml> [2022-04-16].
- [4] LI XJ, MA SY, CHENG D, *et al.* Research of *Morinda officinalis* How's oligosaccharide extraction and antidepressant effects [J]. *Bulg Chem Commun*, 2017, 49: 162–167.
- [5] WU YJ, LIU YM, LIU LE, *et al.* Determination of polysaccharide from Chinese medicine *Morinda officinalis* How. and its trace elements analysis [J]. *Guangpuxue Yu Guangpu Fenxi*, 2005, 25(12): 2076–2078.
- [6] QIU ZK, LIU CH, GAO ZW, *et al.* The inulin-type oligosaccharides extract from *Morinda officinalis*, a traditional Chinese herb, ameliorated behavioural deficits in an animal model of post-traumatic stress disorder [J]. *Metab Brain Dis*, 2016, 31(5): 1143–1149.
- [7] ZHANG JH, XIN HL, XU YM, *et al.* *Morinda officinalis* How.—A comprehensive review of traditional uses, phytochemistry, and pharmacology [J]. *J Ethnopharmacol*, 2018, 213: 230–255.
- [8] WANG JH, XU SQ, MEI Y, *et al.* A high-quality genome assembly of *Morinda officinalis*, a famous native southern herb in the Lingnan region of southern China [J]. *Hortic Res*, 2021, 8(1): 135.
- [9] SONG B, WANG FJ, WANG W. Effect of aqueous extract from *Morinda officinalis* F.C. How on microwave-induced hypothalamic-pituitary-testis axis impairment in male Sprague-Dawley rats [J]. *J Evid-Based Compl Altern Med*, 2015, 2015: 360730.
- [10] ZHU M, WANG C, WANG X, *et al.* Extraction of polysaccharides from *Morinda officinalis* by response surface methodology and effect of the polysaccharides on bone-related genes [J]. *Carbohydr Polym*, 2011, 85(1): 23–28.
- [11] 梁丽金, 林伟雄, 张志鹏, 等. 蒸制时间对盐巴戟天含量及特征图谱的影响研究[J]. *现代中药研究与实践*, 2020, 34(3): 42–47.
- LIANG LJ, LIN WX, ZHANG ZP, *et al.* Study on the effect of steaming time on content and characteristic chromatogram of salt-steamed *Morinda officinalis* Radix [J]. *Res Pract Chin Med*, 2020, 34(3): 42–47.
- [12] 吴文辉, 管莉, 魏玉玲, 等. 基于能量代谢的巴戟天盐、酒炙炮制增效作用对比研究[J]. *中医药临床杂志*, 2021, 33(9): 1750–1753.
- WU WH, GUAN L, WEI YL, *et al.* Comparative study on the synergistic effect of energy metabolism in *Morinda officinalis* which processing by salt or wine [J]. *Clin J Tradit Chin Med*, 2021, 33(9): 1750–1753.
- [13] 李倩. 巴戟天炮制过程中化学成分变化规律的研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2015.
- LI Q. Study on the changes of the chemical component in *Morinda officinalis* Radix during processing [D]. Guangzhou: Guangzhou University of Chinese Medicine, 2015.
- [14] 谭丽容, 代文豪, 罗志锋, 等. 不同菌种发酵对巴戟天活性成分含量的影响[J]. *中国酿造*, 2018, 37(12): 121–125.
- TAN LR, DAI WH, LUO ZF, *et al.* Effect of fermentation with different strains on active components content in *Morinda officinalis* How. [J]. *China Brew*, 2018, 37(12): 121–125.
- [15] 沈杰, 马恩耀, 赵志敏, 等. 巴戟天多糖的提取、分离及生物活性研究进展[J]. *中药新药与临床药理*, 2020, 31(2): 246–250.
- SHEN J, MA ENY, ZHAO ZM, *et al.* Research progress on extraction, separation, and biological activities of polysaccharides from *Morinda officinalis* radix [J]. *Tradit Chin Drug Res Clin Pharmacol*, 2020, 31(2): 246–250.
- [16] 冯峰. 巴戟天寡糖成分研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2011.
- FENG F. Study on the composition of *Morinda officinalis* oligosaccharides [D]. Guangzhou: Guangzhou University of Chinese Medicine, 2011.
- [17] 黄清霞, 覃川娴, 何泽源, 等. 巴戟天化学成分、药理作用及质量标志物预测分析[J/OL]. *中华中医药学刊*: 1-16. [2022-05-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1546.r.20211231.1856.094.html>
- HUANG QX, QIN CX, HE ZY, *et al.* Chemical components and pharmacological action for *Morinda officinalis* How and predictive analysis on Q-marker [J/OL]. *Chin Arch Tradit Chin Med*: 1-16. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1546.r.20211231.1856.094.html>
- [18] ZHAO B, LAN T, LI H, *et al.* Antioxidation activity of *Moringaoleifera* Lam. leaves extract on soybean oil during both storage and thermal treatment [J]. *J Food Process Preserv*, 2019, 43(8): e13975.1-e13975.11.
- [19] 马燕妮, 张清华, 刘玉红, 等. 桑叶黄酮与鬼针草黄酮组分配伍抗氧化协同作用研究[J]. *食品与药品*, 2013, 15(3): 160–161.
- MA YN, ZHANG QH, LIU YH, *et al.* Synergistic antioxidant activity of flavonoids from the leaf of *Morus alba* L. and *Bidens bipinnata* L. [J]. *Food Drugs*, 2013, 15(3): 160–161.
- [20] ZHANG H, LI J, XIA J, *et al.* Antioxidant activity and physicochemical properties of an acidic polysaccharide from *Morinda officinalis* [J]. *J. Food Process Preserv*, 2013, 58: 7–12.
- [21] CHEN XY, WANG RF, LIU B. An update on oligosaccharides and their esters from traditional Chinese medicines: Chemical structures and biological activities [J]. *J Evid-Based Compl Altern Med*, 2015. DOI: 10.1155/2015/512675
- [22] CHOU TC. Drug combination studies and their synergy quantification using the chou-talalay method [J]. *Cancer Res*, 2010, 70(2): 440–446.
- [23] 潘瑶. 日常膳食中四种水果/蔬菜提取物及其中四种主要的植物化学物质相互作用规律及机制的探讨[D]. 南昌: 南昌大学, 2021.
- PAN Y. Research on mechanism and rules of antioxidant interaction among four daily fruits/vegetables extract and four phytochemicals [D]. Nanchang: Nanchang University, 2021.
- [24] 黄少杰, 罗志锋, 陶倩, 等. 发酵巴戟天中多糖和寡糖降血糖作用研究[J]. *食品与发酵工业*,

- HUANG SJ, LUO ZF, TAO Q, *et al.* Research on hypoglycemic effect of polysaccharides and oligosaccharides from fermented *Morinda officinalis* [J]. *Food Ferment Ind*, 2022, 48(7): 43–49.
- [25] 彭东, 罗志锋, 陶倩, 等. 发酵巴戟天中蒽醌提取及其抗氧化与降血糖活性[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(7): 214–223.
- PENG D, LUO ZF, TAO Q, *et al.* Extraction of anthraquinone from fermented *Morinda officinalis* and its antioxidant and hypoglycemic activities [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2022, 43(7): 214–223.
- [26] SMIRNOFF N, CUMBES QJ. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes [Z].
- [27] CHANDRASEKARAN A, IDELCHIK MDPS, MELENDEZ JA. Redox control of senescence and age-related disease [J]. *Redox Biol*, 2017, 11: 91–102.
- [28] 赵建平, 吴丽敏, 鲁晓娜, 等. 白术乙醇提取物对秀丽隐杆线虫寿命的影响及其机制研究[J]. *中国药房*, 2021, 32(4): 418–424.
- ZHAO JP, WU LM, LU XN, *et al.* Study on the effects of *Atractylodes macrocephala* ethanol extracts on life span of *Caenorhabditis elegans* and its mechanism [J]. *China Pharm*, 2021, 32(4): 418–424.
- [29] 张佳丽. 米糠来源植物甾醇对秀丽隐杆线虫多巴胺神经元保护作用的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
- ZHANG JL. The protective effects of phytosterols from rice bran on the dopaminergic neurons of *C. elegans* [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [30] 郑建仙. 功能性食品学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2019.
- ZHENG JQ. Functional foods [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2019.
- [31] PEYRAT-MAILLARD MN, CUVELIER ME, BERSET C. Antioxidant activity of phenolic compounds in 2,2'-azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride (AAPH)-induced oxidation: Synergistic and antagonistic effects [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2003, 80(10): 1007–1012.

(责任编辑: 韩晓红 张晓寒)

作者简介

黄俊源, 硕士研究生, 主要研究方向为食品新产品与保健食品。
E-mail: pophly459@stu.scau.edu.cn

杜冰, 博士, 教授, 主要研究方向为中草药炮制及活性成分代谢调控、新资源食品开发和应用研究。
E-mail: gzdubing@163.com