

中图分类号: R932; R284.1; R286.0 文献标志码: A 文章编号: 1006-4931(2024)09-0083-05
doi:10.3969/j.issn.1006-4931.2024.09.018



超细粉碎联合半仿生技术处理的没食子残留物物理性质和生物活性分析*

艾林¹, 李恺¹, 刘捷¹, 张若冰^{2Δ}

(1. 中国人民解放军空军军医大学空军第九八六医院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省药品监督管理局, 陕西 西安 710065)

摘要:目的 探讨经半仿生技术提取的没食子残留物(RTG)的物理性质和活性成分的变化,以及RTG的抗氧化能力。方法 通过超细研磨机处理RTG,按颗粒粒径分为A组(<100 μm RTG)、B组(100~300 μm RTG)和C组(>300 μm RTG),检测其水分、总灰分、水溶性、休止角、滑动角、崩溃角、体积密度、振实密度等物理特性;RTG经水和盐酸缓冲液的半仿生技术处理后,检测对人齿根膜韧带成纤维细胞增殖的影响及抗氧化能力。结果 随着粒径的增加,RTG的水分含量显著降低($P < 0.05$),总灰分显著增加($P < 0.05$),体积密度显著升高($P < 0.05$),休止角、滑动角和崩溃角均显著降低($P < 0.05$),振实密度显著升高($P > 0.05$)。颗粒粒径相同时,RTG的水溶性随温度的升高而升高($P < 0.05$);温度相同时,水溶性随颗粒粒径的增加而减小($P < 0.05$)。盐酸缓冲液组总多酚含量显著高于水处理组($P < 0.05$),且A组显著高于B组和C组($P < 0.05$)。盐酸缓冲液组的 OD_{510} 值显著高于水处理组($P < 0.05$);粒径越小,对细胞增殖作用越明显($P < 0.05$)。盐酸缓冲液组的DPPH、羟基自由基清除活性显著优于水处理组($P < 0.05$);粒径越小,RTG的抗氧化活性增加($P < 0.05$)。结论 RTG再利用在生物技术产品开发方面具有巨大潜力,可为提高没食子的质量和临床应用提供理论依据。

关键词:超细粉碎;半仿生技术;没食子;残留物;物理性质;生物活性

Physical Characteristics and Bioactivity Analysis of Residues of Turkish Gall Treated by Ultra - Fine Grinding Combined with Semi - Bionic Technology

AI Lin¹, LI Kai¹, LIU Jie¹, ZHANG Ruobing²

(1. No. 986 Air Force Hospital of Air Force Medical University of the PLA, Xi'an, Shaanxi, China 710054; 2. Shaanxi Medical Products Administration, Xi'an, Shaanxi, China 710065)

Abstract: Objective To investigate the physical characteristics and changes in active ingredients of residues of Turkish gall

* 基金项目:陕西省科技计划项目[2023-YBSF-175];2023年度陕西省中医药管理局秦创原中药创新研发项目[2022-QCYZH-011];2022年度军事医学提升计划项目[2021JSTS26]。

第一作者:艾林,男,博士,副主任医师,研究方向为口腔内科学和口腔生物力学,(电子信箱)173861355@qq.com。

Δ通信作者:张若冰,女,博士,副主任药师,研究方向为口腔医学和药品监管,(电子信箱)375578739@qq.com。

- [25] 肖炜明,卜平,龚卫娟. 汉黄芩素抗肿瘤和免疫调节作用的研究进展[J]. 中国中药杂志,2014,39(16):3004-3009.
- [26] 南亚楠,李亚东,吴璐,等. 小檗碱对流感病毒感染小鼠肺与结肠损伤的保护作用研究[J]. 中国免疫学杂志,2021,37(9):1069-1073.
- [27] 张英睿,于志强,刘紫轩,等. 基于网络药理学和分子对接的清开灵注射液治疗新型冠状病毒肺炎(COVID-19)的作用机制探寻[J]. 中草药,2020,51(12):3201-3210.
- [28] JAFARZADEH A, NEMATI M, JAFARZADEH S. Contribution of STAT3 to the pathogenesis of COVID-19[J]. Microb Pathog, 2021, 154: 104836.
- [29] MIZUTANI T. Signal transduction in SARS-CoV-infected cells[J]. Ann N Y Acad Sci, 2007, 1102(1): 86-95.
- [30] HAN H, MA Q, LI C, et al. Profiling serum cytokines in COVID-19 patients reveals IL-6 and IL-10 are disease severity predictors[J]. Emerg Microbes Infect, 2020, 9(1): 1123-1130.
- [31] WANG Y, VAN BOXEL-DEZAIRE AH, CHEON H, et al. STAT3 activation in response to IL-6 is prolonged by the binding of IL-6 receptor to EGF receptor[J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 2013, 110(42): 16975-16980.
- [32] LONDRES HD, ARMADA JJ, MARTINEZ AH, et al. Blocking EGFR with nimotuzumab: a novel strategy for COVID-19 treatment[J]. Immunotherapy, 2022, 14(7): 521-530.
- [33] CROFT M. The role of TNF superfamily members in T-cell function and diseases[J]. Nat Rev Immunol, 2009, 9(4): 271-285.
- [34] AGGARWAL BB. Signalling pathways of the TNF superfamily: a double-edged sword[J]. Nat Rev Immunol, 2003, 3(9): 745-756.
- [35] GUO Y, HU K, LI Y, et al. Targeting TNF-alpha for COVID-19: Recent Advanced and Controversies[J]. Front Public Health, 2022, 10: 833967.
- [36] HARIHARAN A, HAKEEM AR, RADHAKRISHNAN S, et al. The Role and Therapeutic Potential of NF-kappa-B Pathway in Severe COVID-19 Patients[J]. Inflammopharmacology, 2021, 29(1): 91-100.

(收稿日期:2023-06-16;修回日期:2023-11-04)

(RTG) extracted by the semi - bionic technology and the antioxidant capacity of RTG. **Methods** RTG was processed through ultra - fine grinding and categorized into group A ($< 100 \mu\text{m}$), group B ($100 - 300 \mu\text{m}$ RTG), and group C ($> 300 \mu\text{m}$ RTG), according to the particle size. The physical characteristics of RTG were examined, including water, total ash content, water solubility, angle of repose, angle of slide, angle of collision, and bulk and vibrational densities, and other characteristics. RTG was treated with the semi - bionic technology with water and hydrochloric acid buffer to examine its effect on the proliferation and antioxidant capacity of human periodontal ligament fibroblast. **Results** With the increase of particle size, the moisture content significantly decreased ($P < 0.05$), the total ash content significantly increased ($P < 0.05$), the bulk density significantly increased ($P < 0.05$), the angle of repose, angle of sliding and angle of collapse significantly decreased ($P < 0.05$), while the vibrational density significantly increased ($P > 0.05$). For the same particle size, the water - soluble index (WSI) of RTG increased with the increasing temperature ($P < 0.05$). For the same temperature, the WSI of RTG decreased with increasing size ($P < 0.05$). The total polyphenol content (TPC) in the hydrochloric acid buffer group was significantly higher than that in the water treatment group ($P < 0.05$), and that in group A was significantly higher than that in group B and group C ($P < 0.05$). The OD_{510} value in the hydrochloric acid buffer group was significantly higher than that in the water treatment group ($P < 0.05$). The smaller the particle size, the more significant the proliferation effect of RTG on cells ($P < 0.05$). The DPPH and hydroxyl radical scavenging activity in the hydrochloric acid buffer group were significantly better than those in the water treatment group ($P < 0.05$). The smaller the particle size, the higher the antioxidant activity of RTG ($P < 0.05$). **Conclusion** The reuse of RTG has great potential in the development of biotechnology products, which can provide a theoretical basis for improving the quality and clinical application of Turkish gall.

Key words: ultra - fine grinding; semi - bionic technology; Turkish gall; residues; physical characteristics; biological activity

中草药的药物活性成分主要存在于细胞质和细胞核间^[1-2]。目前,超细研磨技术可通过破坏细胞结构获得活性成分,快速、有效地发挥药物作用,广泛应用于中药加工^[3-4]。振动式超声波研磨机可在短时间内对草药材料与研磨介质进行混合、强力粉碎、挤压和剪切,打破植物或动物药材的细胞壁,提高生物利用率,改变材料的物理和化学性质(包括水分含量、水溶性等)^[5-6]。中草药半仿生提取方法模拟了药物通过胃肠道运输和吸收的环境,用不同pH值的溶剂和/或酶提取中草药中的活性成分,最大限度地发挥中药成分的功效,具有良好的应用前景^[7]。中药没食子是一种在壳斗科Fagaceae植物没食子树 *Quercus infectoria* Olivier上产生的幼虫虫瘿 *Cynips gallae tinctoriae* Olivier^[8-9]。没食子的有效成分没食子酸及其衍生物具有多种药用和工业用途,具有抗肿瘤、抗过敏、抗动脉硬化、抗血管生成、抗氧化、抗病毒、抗菌、抗炎、防辐射等作用^[10]。研究表明,通过优化提取方法获得的没食子残留物(RTG)中含有没食子酸和鞣花酸,可利用没食子废渣制成生物炭吸附苯酚污染物,实现废渣的资源化利用^[11-12]。目前,半仿生技术和振动型超声波研磨联合应用对RTG的影响还未见报道。因此,本研究中采用半仿生技术对振动型超声波研磨的RTG进行处理,探讨经半仿生技术提取的RTG的物理性质和活性成分的变化,以及RTG的抗氧化能力,为后续将RTG进行二次开发提供理论依据,同时为提高没食子的药用产品质量提供参考。现报道如下。

1 材料与方法

1.1 仪器、试药与细胞

仪器:LMJ400型超细振动研磨机(无锡富岛科技股份有限公司);S3500型粒度分析仪(美国Microtrac股份

有限公司);D180型CO₂培养箱(深圳市瑞沃德生命科技有限公司);IX71型倒置荧光显微镜(日本Olympus公司);DZF-6050型真空干燥箱(江苏新春兰科学仪器有限公司);S3500型粒度分析仪(美国Microtrac股份有限公司);Multiskan FC型酶标仪(赛默飞世尔科技<中国>有限公司)。

试药:没食子(中国新疆奇康哈博维药有限责任公司,批号为20161112);2,4,6-三(2-吡啶)-1,3,5-三嗪(TPTZ,批号为T1253),1,1-二苯基-2-苦味酸肼自由基(DPPH,批号为300267),水杨酸标准液(批号为W398500),Folin-Ciocalteu酚试剂(批号为F9252),DMEM培养基(批号为D0822),胎牛血清(FBS,批号为TMS-016),2,3-双(2-甲氧基-4-硝基-5-磺苯基)-2H-四氮唑-5-甲酰苯胺(XTT,批号为X4251),均购于西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司;青霉素钠(爱必信<上海>生物科技有限公司,批号为abs47048009);水为纯净水;其他试剂均为分析纯。

细胞:菌株牙龈单胞卟啉菌(ATCC 33277, *P. gingivalis*)和变形链球菌(ATCC 25175, *S. mutans*)由中国人民解放军空军军医大学第九八六医院检验科惠赠。

1.2 样品处理与分组

样品处理:利用粉碎机粉碎没食子,按料液比1:10(g/mL)加水,于80℃温度下浸提3次,每次1h,水提后,得残留物,干燥,得RTG。利用圆盘研磨机粗磨,在25℃温度下超细研磨机研磨成粉末。

分组:使用不同直径的筛子进行筛分RTG粉末,利用粒度分析仪按颗粒粒径分为A组($< 100 \mu\text{m}$ RTG)、B组($100 \sim 300 \mu\text{m}$ RTG)和C组($> 300 \mu\text{m}$ RTG),每个粉末样品至少记录3次测量结果。取浓盐酸

234 mL,用水稀释至1 000 mL,置1 000 mL容量瓶中,加16.4 mL稀盐酸和800 mL水,充分混合,振荡,加水稀释至1 000 mL,得盐酸缓冲液(pH = 2)。取不同粒径RTG样品各1 g,精密称定,分别加50 mL盐酸缓冲液和纯净水,置37 °C恒温防光水浴中保持30 min,滤过,得盐酸缓冲液组和水处理组溶液。以不含RTG的水或盐酸缓冲液为基线组。

1.3 物理性质

RTG水分:清洗称量皿,烘干至恒定质量,称取样品,放入100~105 °C的烘箱中静置1.5 h,冷却后称定质量,再次烘干0.5 h,至恒定质量,计算水分。水分(%) = $(G_2 - G_1) / W$ 。式中, G_1 为烘干至恒定质量后称量皿的质量(g), G_2 为烘干至恒定质量后称量皿和样品的质量(g), W 为样品质量(g)。

总灰分:取不同粒径RTG样品(1 ± 0.1)g,均匀摊平在预先灼烧至质量恒定的灰皿中,放入预热不超过100 °C的马弗炉中缓慢升温至约500 °C,保持30 min后继续升至(815 ± 10)°C,灼烧1 h后冷却5 min,置干燥器中冷却至室温,至恒定质量。以最后1次灼烧后的质量为计算依据。

水溶性试验:将RTG样品分散在蒸馏水中(1:50, m/V),并于40,60,80,100 °C温度的水浴中混合45 min,离心(转速为4 000 r/min)20 min^[13],取上清液,干燥,称定质量,计算水溶性指数(WSI)。WSI(%) = $A/B \times 100\%$ 。式中, A 为干燥后上清液的质量(g), B 为粉末的质量(g)。

其他物理性质:采用智能粉末积分仪检测RTG样品的休止角、滑动角、碰撞角、体积密度、振实密度等物理特性。每次至少重复测试3次。

RTG样品总多酚含量(TPC)测定:取RTG样品1 g,加50 mL盐酸缓冲液和纯净水,于37 °C的恒温防光水浴中保持30 min,滤过,获得提取物,稀释,测定TPC。挥发提取物,用无菌水溶解,0.22 μm微孔无菌滤膜滤过,用于抑菌试验。

细胞增殖试验:选取患者7例,其中男3例,女4例;年龄(15.4 ± 3.6)岁。收集7例患者拔除的正畸前磨牙和/或第三磨牙,搔刮牙根获得正常牙周组织,用磷酸盐缓冲液(PBS)冲洗后剪为1~2 mm³的组织块。本研究方案已获中国人民解放军空军军医大学第九八六医院医学伦理委员会批准(批件号为202108006)。置DMEM(含50 mg/mL庆大霉素、50 mg/mL两性霉素B和10% FBS)培养基中,于CO₂培养箱(5% CO₂,37 °C、饱和湿度)中培养至贴壁生长。采用胰蛋白酶消化法(2%胰蛋白酶,0.2%EDTA)消化收集人齿根膜韧带成纤维细胞(HPDLF),传代培养,取第2~3代的HPDLF试验。将HPDLF以10⁵个/mL接种于96孔板,加入100 μL DMEM和10% FBS,CO₂培养箱(5% CO₂,37 °C、饱和湿

度)孵育24 h。去培养基,加入试验样品,静置2 h,吸弃溶液。将XTT试剂加入孔中,37 °C温度下孵育4 h,于510 nm波长处测定光密度(OD₅₁₀),每组重复测量3次,计算平均值。

抗氧化能力:1)自由基清除试验。将0.1 mmol/L DPPH溶解于100%乙醇中,取100 μL,置100%乙醇(0.12~1.65 mg/mL)中,并与100 μL新制备的DPPH充分混合,避光孵育30 min,记录OD₅₁₀。计算清除DPPH自由基的能力。DPPH(%) = $(A_i - (A - A_j)) / A_i$ 。式中, A_i 为没有样品的DPPH溶液的吸光度, A 为与DPPH溶液混合的测试样品的吸光度, A_j 为没有DPPH溶液样品的吸光度。本研究中采用半数抑制浓度(IC₅₀)对RTG的抗氧化活性进行分析,IC₅₀值越低,抗氧化活性越强。2)羟基自由基清除试验。取10 mmol/L FeSO₄ 1 mL、10 mmol/L水杨酸乙醇溶液1 mL、0.31~2.83 g/mL的RTG提取物溶液1 mL、30% H₂O₂ 200 μL置试管中混合,振荡,于37 °C水浴中孵育45 min,冷却后测量OD₅₁₀,计算羟基自由基清除活性(HRSA)。HRSA(%) = $(A_0 - A_1) / A_0 \times 100\%$ 。式中, A_0 为对照的吸光度, A_1 为测试样品的吸光度。采用IC₅₀对RTG的抗氧化活性进行分析,IC₅₀值越低,抗氧化活性越强。

1.4 统计学处理

采用SPSS 21.0统计学软件分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用方差分析,组内两两比较采用SNK-q检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般物理性质

随着RTG粒径的增加($P < 0.05$),水分含量降低,总灰分增加($P < 0.05$),体积密度升高($P < 0.05$),休止角度、滑动角度和崩溃角度减小($P < 0.05$),振实密度升高($P > 0.05$)。详见表1。

表1 不同粒径RTG的一般物理性质

Tab. 1 General physical characteristics of RTG with different particle sizes

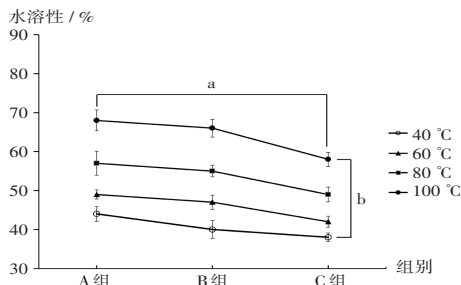
物理性质	A组	B组	C组
平均粒径($\bar{X} \pm s, \mu\text{m}$)	72.35 ± 1.27	246.51 ± 6.63 ^a	479.62 ± 5.44 ^{a,b}
水分($\bar{X} \pm s, \%$)	6.09 ± 0.16	4.72 ± 0.19 ^a	3.29 ± 0.08 ^a
总灰分($\bar{X} \pm s, \text{g}$)	1.78 ± 0.09	2.06 ± 0.14 ^a	2.29 ± 0.16 ^a
体积密度(g/cm^3)	0.33	0.48 ^a	0.61 ^{a,b}
振实密度(g/cm^3)	0.71	0.79	0.89 ^{a,b}
休止角($\bar{X} \pm s, ^\circ$)	53.19 ± 0.68	42.31 ± 0.55 ^a	36.72 ± 0.59 ^{a,b}
滑动角($\bar{X} \pm s, ^\circ$)	56.37 ± 0.26	45.88 ± 0.17 ^a	38.23 ± 0.11 ^{a,b}
崩溃角($\bar{X} \pm s, ^\circ$)	44.04 ± 0.05	37.12 ± 0.08 ^a	36.25 ± 0.06 ^{a,b}

注:与A组比较,^a $P < 0.05$;与B组比较,^b $P < 0.05$ 。图2、图3、图5、图6同。

Note: Compared with those in group A, ^a $P < 0.05$; Compared with those in group B, ^b $P < 0.05$ (for Tab. 1, Fig. 2 - 3, and Fig. 5 - 6).

2.2 水溶性

于40, 60, 80, 100 °C下, 不同粒径RTG在1 h内的水溶性曲线见图1。颗粒粒径相同时, 水溶性随温度的升高而升高 ($P < 0.05$); 温度相同时, 水溶性随粒径的增加而降低 ($P < 0.05$)。



注: 不同粒径两两比较, $^aP < 0.05$; 不同温度两两比较, $^bP < 0.05$ 。

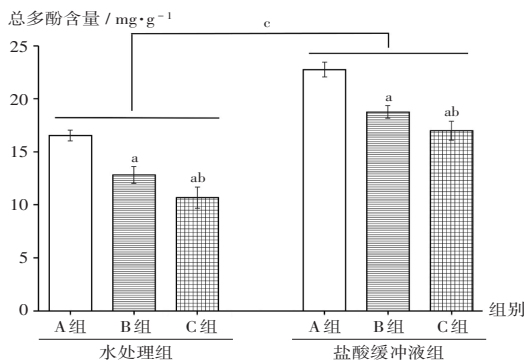
图1 不同粒径对RTG水溶性的影响

Note: Two - by - two comparisons for different particle sizes, $^aP < 0.05$; two - by - two comparisons for different temperature groups, $^bP < 0.05$.

Fig. 1 Effects of RTG with different particle sizes on WSI

2.3 总多酚含量

盐酸缓冲液组总多酚含量显著高于水处理组 ($P < 0.05$), B组和C组总多酚含量均显著高于A组 ($P < 0.05$)。详见图2。



注: 与水处理组比较, $^cP < 0.05$ 。图3、图5、图6同。

图2 不同处理条件下RTG中总多酚含量

Note: Compared with those in the water treatment group, $^cP < 0.05$ (for Fig. 2 - 3, and Fig. 5 - 6).

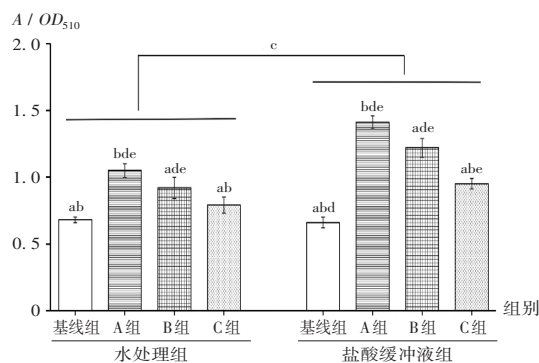
Fig. 2 Total polyphenol content in RTG under different treatment conditions

2.4 细胞增殖

与基线组比较, 经水处理后的A组和B组的 OD_{510} 显著升高 ($P < 0.05$), 盐酸缓冲液组的 OD_{510} 值显著升高 ($P < 0.05$), 且粒径越小, 增殖作用越明显 ($P < 0.05$); 与水处理组比较, 盐酸缓冲液组的 OD_{510} 值显著升高 ($P < 0.05$)。详见图3和图4。

2.5 抗氧化活性

DPPH自由基清除活性: 随着粒径的增加, 清除活性减小 ($P < 0.05$); 盐酸缓冲液组清除活性显著优于水处理组 ($P < 0.05$)。详见图5。



注: 与C组比较, $^dP < 0.05$; 与基线组比较, $^eP < 0.05$ 。

图4 不同处理条件下RTG细胞增殖情况

Note: Compared with those in group C, $^dP < 0.05$; Compared with those in the baseline group, $^eP < 0.05$.

Fig. 4 Effects of RTG on cell proliferation under different treatment conditions

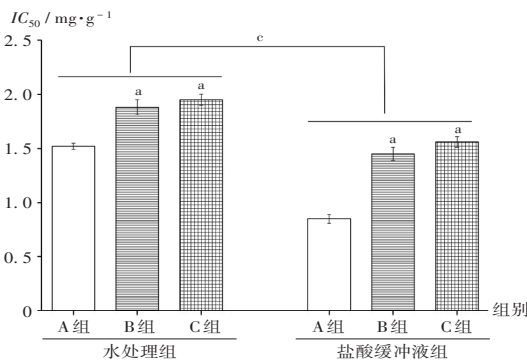


图5 不同处理条件下RTG的DPPH自由基清除活性

Fig. 5 DPPH radical scavenging activity of RTG under different treatment conditions

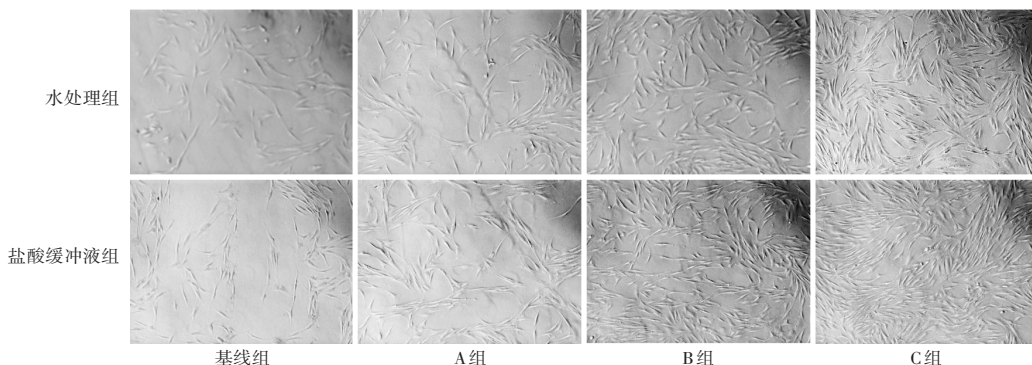


图3 不同处理条件下细胞增殖情况 (×40)

Fig. 3 Cell proliferation under different treatment conditions (×40)

羟基自由基清除活性:随着粒径的减小,清除活性增加($P < 0.05$);盐酸缓冲液处理组清除活性显著优于水处理组($P < 0.05$)。详见图6。

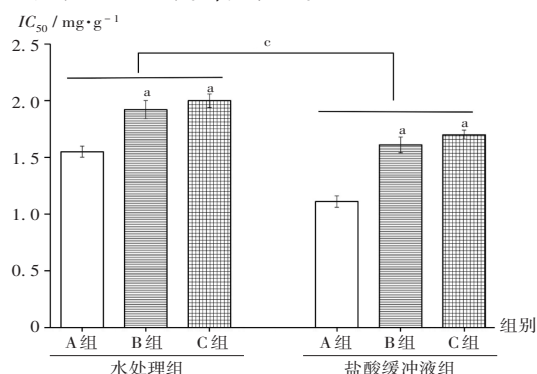


图6 不同处理条件下RTG的羟基自由基清除活性

Fig. 6 Hydroxyl radical scavenging activity of RTG under different treatment conditions

3 讨论

3.1 对RTG物理性质的影响

近年来,超细研磨技术在中药加工中得到了广泛应用^[14],在农业、电子材料、节能技术和其他行业中发挥了越来越重要的作用^[15-16]。振动式超声波研磨机可改变材料的物理和化学性质,包括水分含量、水溶性等^[17]。超细研磨会导致药物的物理和生物特性发生重要变化,提高机体的吸收率和生物利用度,增强疗效,减少毒副作用^[18-19]。

不同粒径RTG的水分含量随粒径的减少而增加($P < 0.05$)。推测是由于较大的比表面积促进与空气中水分的吸收。高温燃烧后,有机成分挥发后剩余的无机成分为纯灰烬,小颗粒尺寸允许完全燃烧,颗粒直径小的总灰分含量较少。

本研究结果显示,当平均粒径减小时,RTG的体积密度和振实密度均显著降低($P < 0.05$),这可能是由于粒径的减小导致了颗粒间空隙的缩小。粒径小于100 μm的粉末的休止角、滑动角和崩溃角均显著大于较大粒径的粉末($P < 0.05$),表明经过超细研磨RTG的流动性随颗粒尺寸的减小而减弱,推测可能是由于RTG在保湿后易凝结,聚合物倾向于以“金字塔”的角度排列。本研究结果显示,中草药粉末的质量可通过颗粒大小、体积密度、振实密度、流动性来控制。颗粒粒径相同时,水溶性随温度的升高而升高;温度相同时,水溶性随粒径的增加而减小。推测是由超细研磨后表面积和表面能的增加而导致。

3.2 对TRG生物活性的影响

本研究中通过振动式超细研磨机制备了不同粒径的粉末,研究了不同粒径对RTG成分、物理性能和抗氧化性能的影响。结果显示,超细研磨能有效降低RTG的粒径、物理性质,包括含水量、水溶性、总灰分、体积密度、振实密度、休止角、滑动角和崩溃角,有助于产生DPPH、羟基自由基的清除活性。同时,本研究中采用半

仿生技术提取RTG,采用XTT法评估细胞增殖能力,通过测量线粒体脱氢酶活性,可显示细胞的生理状况信息。结果显示,RTG含有活性成分,且粒径越小增殖作用越明显,经盐酸缓冲液处理优于水处理。未来研究中将继续确定RTG是否可在更长时间内提高细胞活力。

参考文献

- [1] 寇福兵. 超微粉碎板栗粉理化性质及其对面条加工特性的影响[D]. 重庆:西南大学,2022.
- [2] 迟晓君,吴凡,卫晨,等. 超微粉碎技术在特殊医学用途配方食品中的应用与展望[J]. 中国果菜,2022,42(1):48-51.
- [3] 刘慧君,黄菲,张瑞芬,等. 龙眼果肉多糖超微粉碎-酶解提取工艺优化及其免疫活性[J]. 中国食品学报,2020,20(3):112-120.
- [4] 黎恩立. 金钗石斛抗抑郁活性及超微粉碎对其理化性质影响的初步研究[D]. 广州:广东药科大学,2018.
- [5] 符群,李卉,王振宇,等. 超微粉碎提高薇菜粉活性成分的生物利用率[J]. 现代食品科技,2018,34(4):45-50.
- [6] 张建梅,罗艳艳,罗海青,等. 超微粉碎对黑蒜粉末物理性质及抗氧化能力的影响[J]. 食品工业科技,2018,39(10):51-57.
- [7] 韦建荣,王真,万近福,等. 从文献分析看半仿生提取技术在中药提取中的应用[J]. 时珍国医国药,2010,21(10):2648-2650.
- [8] 艾林,高鹏,李恺,等. 没食子水提物对实验性牙周炎的改善作用[J]. 中国药业,2021,30(20):39-43.
- [9] 艾林,李恺,高鹏,等. 没食子水提物对体外培养口腔生物膜的影响[J]. 中国药业,2022,31(22):41-45.
- [10] KUDO Y, KUDO SE, MIYACHI H, et al. Changes in halitosis value before and after Helicobacter pylori eradication: A single - institutional prospective study [J]. J Gastroenterol Hepatol, 2022, 37(5):928-932.
- [11] BANJAR AA, HASSAN SM, ALYAFI RA, et al. Self - perceived halitosis among young adults undergoing orthodontic treatment[J]. Int J Dent Hyg, 2022, 20(3):479-486.
- [12] DONG HK, JUN HC, YOUNG JC. Anti - inflammatory Activity of Extracts from Ultra - Fine Ground Saururus chinensis Leaves in Lipopolysaccharide - Stimulated Raw 264. 7 Cells[J]. Journal of Applied Biological Chemistry, 2016, 59(1):103-111.
- [13] 黄晓东. 中药黄连超微粉碎技术研究[D]. 上海:华东理工大学,2011.
- [14] 李婷婷,杨焱,刘艳芳,等. 超微粉碎对桑黄子实体粗多糖理化性质和刺激巨噬细胞活性的影响[J]. 天然产物研究与开发,2015,27(2):333-337.
- [15] 贾牛群,张名位,唐小俊,等. 低温超微粉碎对龙眼果肉全粉物理性质的影响[J]. 广东农业科学,2012,39(12):96-100.
- [16] 陈菊红,顾正彪,洪雁. 湿法超微粉碎对马铃薯渣的改性及其物理性质的影响[J]. 食品与发酵工业,2008,34(10):58-62.
- [17] 张林,袁佳璐,王志磊,等. 超微粉碎辅助超声波提取葡萄酒泥多酚条件优化[J]. 中国酿造,2023,42(5):220-225.
- [18] 吴红霞,万燕君,张裕中. 甜玉米粒物理性质及其皮渣超微粉碎的研究[J]. 玉米科学,2007(3):150-152.
- [19] 黄红卫,邱燕翔. 超细粉碎酶解鲜骨粉功能性调味料的研究[J]. 食品科技,2005(9):91-93.

(收稿日期:2023-07-12;修回日期:2023-11-03)