

枸杞原浆抗氧化及增强免疫活性研究

Antioxidant capacity and immunoenhancing activity of
Lycium barbarum protoplasm

杨 露¹ 赵 冉¹ 吴镇槐¹ 余建强^{1,2} 杨佳美^{1,2}

YANG Lu¹ ZHAO Ran¹ WU Zhen-huai¹ YU Jian-qiang^{1,2} YANG Jia-me^{1,2}

(1. 宁夏医科大学药学院,宁夏 银川 750004;2. 宁夏特色中医药现代化工程技术研究中心,宁夏 银川 750004)

(1. College of Pharmacy, Ningxia Medical University, Yinchuan, Ningxia 750004, China;

2. Ningxia Key Laboratory of Drug Innovation and Generic Drug Research, Yinchuan, Ningxia 750004, China)

摘要:目的:研究枸杞原浆的抗氧化及增强免疫力功效。
方法:通过建立急性肝损伤模型测定枸杞原浆的抗氧化能力;通过测定小鼠免疫器官指数、血清溶血素含量水平和足跖增厚程度等指标评价枸杞原浆的免疫活性。
结果:枸杞原浆低剂量组和中剂量组均可显著提高急性酒精肝损伤模型小鼠血清中谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)含量($P<0.05$, $P<0.01$)及肝脏组织中谷胱甘肽(GSH)含量($P<0.05$),显著降低小鼠肝脏组织中蛋白质羰基含量($P<0.05$, $P<0.01$)及丙二醛(MDA)含量($P<0.05$, $P<0.01$),表明枸杞原浆抗氧化活性良好。连续灌胃枸杞原浆45 d后,试验各组小鼠的脏器发育不受影响,且受试样品剂量组与正常组小鼠相比,血清溶血素含量水平($P<0.01$)、足跖增厚程度($P<0.05$)及吞噬指数($P<0.01$)显著提高,表明枸杞原浆具有增强免疫力的作用。
结论:食用一定剂量枸杞原浆具有良好的抗氧化和增强免疫活性。

关键词:枸杞原浆;抗氧化;急性酒精性肝损伤;增强免疫力

Abstract: Objective: This study focused on the antioxidant and immune enhancing effects of *L. barbarum* puree. **Methods:** The antioxidant capacity of *L. barbarum* puree was measured by establishing an acute liver injury model. The immune activity of *L. barbarum* protoplasm was evaluated by measuring the index of immune organs, the content of serum hemolysin and the degree of plantar thickening. **Results:** Both low and medium doses of *L. barbarum* puree could significantly increase the content of glutathione peroxidase (GSH PX) in serum ($P<0.05$, $P<0.01$) and glutathione (GSH) in liver tissue ($P<0.05$), and significantly decrease the content of protein carbonyl in liver tissue of mice with acute alcoholic liver injury ($P<0.05$, $P<0.01$) and the content of malondialdehyde (MDA) ($P<0.05$, $P<0.01$), and this indicate *L. barbarum* protoplasm had antioxidant activity.

After continuous gavage of *L. barbarum* protoplasm for 45 days, the organ development of normal mice was not affected. Compared to the untreated mice, the content of serum hemolysin ($P<0.01$) and the degree of foot thickening ($P<0.05$) and phagocytosis index ($P<0.01$) increased significantly, indicating that *L. barbarum* puree could enhance mice immunity.
Conclusion: Eating a certain dose of *L. barbarum* puree can enhance the antioxidant capacity and immune ability.

Keywords: *Lycium barbarum* protoplasm; antioxidant activity; acute alcoholic liver injury; immunoenhancing activity

枸杞子(*Lycium barbarum* L.)为茄科植物宁夏枸杞的干燥成熟果实^[1],富含多糖、黄酮和氨基酸等活性成分,具有抗氧化及增强免疫力等功效^[2-3],是中国传统的药食两用中药材。由鲜榨枸杞子制得的枸杞原浆,因其制备工艺可很大程度地避免干燥或熏制等加工方式而导致的营养成分流失和污染,且与传统枸杞泡水或泡酒等方式相比,可更充分地保留枸杞子原有的营养成分而倍受消费者青睐^[4-6]。

研究^[2-3]表明,枸杞子具有良好的抗氧化及增强免疫力活性。Cristiane等^[7]通过秀丽隐杆线虫的存活率探究了枸杞原浆的安全性及抗衰老作用;Liu等^[8]采用枸杞汁来调节解毒途径预防DEHP诱导的肝毒性;Wang等^[9]采用枸杞汁来调节机体血糖。其中,抗氧化及增强免疫力功效作为人们关注度极高的健康保健作用,目前尚未见报道。

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划项目(编号:2021BEF02013,2021BEF02011)

作者简介:杨露,女,宁夏医科大学在读硕士研究生。

通信作者:杨佳美(1993—),女,宁夏医科大学实验助理师,硕士。

E-mail:2426153185@qq.com

收稿日期:2021-12-04 **改回日期:**2022-04-20

研究拟参考国食药监保化[2012]107号《关于印发抗氧化功能评价方法等9个保健功能评价方法的通知》中抗氧化功能评价方法和《保健食品检验与评价技术规范》(2003版)对华宝枸杞产业有限公司所生产的枸杞原浆进行抗氧化和增强免疫力功效评价,为更好地推广利用枸杞原浆及其制剂提供依据。

1 材料与方法

1.1 动物、材料与试剂

动物:SPF级ICR小鼠,雄性,标准体重,饲养于宁夏医科大学药效平台[温度(23±2)℃,相对湿度(55±5)%],分笼饲养,自由进食进水并每日更换,宁夏医科大学动物中心;

还原型谷胱甘肽(GSH)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、丙二醛(MDA)及总蛋白定量测定试剂盒:南京建成试剂有限公司;

蛋白质羰基测试盒及豚鼠血清:北京索莱宝科技有限公司;

枸杞原浆:华宝枸杞产业有限公司;

绵羊红细胞(2%,10%,20%):广州鸿泉生物科技有限公司;

都氏试剂:厦门海标科技有限公司;

碳酸钠及印度墨汁:上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

全自动酶标仪:Thermo 1510型,美国Thermo Fisher Scientific公司;

全自动样品冷冻研磨仪:JXFSTPRP-CL型,上海精信实业发展有限公司;

多功能离心机:Z323K型,德国赫墨公司;

电热恒温水浴锅:DK-S24型,北京长源实验设备厂;

紫外分光光度仪:UV-2501PC型,上海嘉鹏科技有限公司;

电子天平:YP202N型,上海精密科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 抗氧化功效动物试验设计 随机选取30只ICR小鼠进行3d的适应性喂养后,分为正常组、模型组及枸杞原浆低(8.33mL/kg)、中(16.67mL/kg)、高(33.33mL/kg)剂量组。灌胃45d,期间正常组与模型组给予0.5mL生理盐水。最后一次灌胃结束后,除正常组外,其他各组小鼠均在禁食16h后一次性给予体积分数为50%的食品级乙醇溶液进行灌胃造模处理^[10-11],小鼠灌胃量10mL/kg·BW(0.1mL/10g)。造模6h后将小鼠处死解剖并迅速取出其肝脏组织,于冰冷生理盐水中漂洗并用滤纸吸干表面水分后采用生理盐水将其低温匀浆,制备质量分数为10%肝脏组织匀浆液,2000r/min离心10min,留上清液待测^[12]。

1.3.2 抗氧化活性指标测定

(1) GSH、GSH-Px含量:二硫代二硝基苯甲酸显色分光光度法。

(2) MDA含量:硫代巴比妥酸法。

(3) 蛋白质含量:BCA显色分光光度法。

(4) 蛋白质羰基含量:分光光度法^[13]。

1.3.3 增强免疫力动物试验设计 选择正常组动物模型^[10],随机选取64只ICR小鼠进行3d的适应性喂养后,分为2个免疫组(其中免疫1组进行迟发变态反应试验和血清溶血素试验,免疫2组进行脏器与体重比值和碳廓清试验),每个免疫组ICR小鼠32只,每个试验组又各设定正常组、枸杞原浆低(8.33mL/kg)、中(16.67mL/kg)、高(33.33mL/kg)剂量组,其中正常组每天灌胃0.5mL生理盐水。

1.3.4 增强免疫力功能指标测定

(1) 小鼠体质量和免疫器官指数:直接称量法。

(2) 迟发型变态反应:足跖增厚法。

(3) 血清溶血素抗体水平:半数溶血素法。

(4) 碳廓清吞噬指数:校正吞噬指数法^[10]。

1.4 数据分析

采用SPSS 23.0统计软件进行数据分析,各组数据均采用均数±标准差表示,多组数据间比较采用单因素方差分析(One-way ANOVA),“n”表示“每组小鼠只数”,以P<0.05为具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 枸杞原浆对小鼠体质量的影响

由表1可知,采用枸杞原浆连续灌胃45d后,各组小鼠的体重变化均无显著性差异,表明该枸杞原浆对小鼠体重要影响不显著。

2.2 枸杞原浆对小鼠抗氧化活性指标的影响

由表2可知,小鼠连续灌胃枸杞原浆45d后,与正常组相比,模型组小鼠肝脏组织内GSH含量显著低于正常组(P<0.01),MDA和蛋白质羰基含量均显著高于正常组(P<0.01,P<0.001),血清中GSH-Px含量显著低于正常组(P<0.001),表明急性酒精肝损伤动物模型造模

表1 枸杞原浆对不同组别小鼠体重的影响

Table 1 Effect of *L. barbarum* puree on body weight of mice in different groups (n=6) g

组别	初始体重	结束体重	体重增加
正常组	24.9±0.9	33.3±1.4	8.4±2.2
模型组	24.4±1.1	32.5±1.6	8.1±1.8
枸杞原浆低剂量组	24.4±1.0	32.2±0.9	7.8±1.4
枸杞原浆中剂量组	24.2±0.7	33.7±1.1	9.4±1.5
枸杞原浆高剂量组	24.6±1.0	33.8±1.8	9.3±1.4

表 2 枸杞原浆对小鼠肝组织中 MDA、GSH、蛋白质羰基含量及血清中 GSH-Px 活力的影响[†]

Table 2 Effects of *L. barbarum* puree on MDA, GSH and protein carbonyl content in liver tissue and GSH-Px activity in serum of mice (*n*=6)

组别	MDA 含量/ (nmol·mg ⁻¹ Pro)	GSH 含量/ (mg GSH·g ⁻¹ Pro)	蛋白质羰基含量/ (nmol·mg ⁻¹ Pro)	GSH-Px 活力/ (U·mL ⁻¹)
正常组	1.15±0.13	0.85±0.09	1.04±0.04	204.63±5.51
模型组	1.53±0.11 ^{# #}	0.68±0.08 ^{# #}	1.17±0.05 ^{# #}	188.91±4.45 ^{# #}
枸杞原浆低剂量组	1.38±0.14 [*]	0.83±0.14 [*]	1.06±0.06 ^{* *}	197.53±8.13 [*]
枸杞原浆中剂量组	1.16±0.05 ^{* * *}	0.80±0.11 [*]	1.08±0.08 [*]	197.78±3.60 [*]
枸杞原浆高剂量组	1.24±0.14 ^{* * *}	0.72±0.05	1.12±0.10	198.29±5.50 ^{* *}

[†] 与正常组相比, ^{# #}. *P*<0.01, ^{*} ^{# #}. *P*<0.001; 与模型组相比, ^{*}. *P*<0.05, ^{* *}. *P*<0.01,
* * *. *P*<0.001。

成功。枸杞原浆低(8.33 mL/kg)、中(16.67 mL/kg)、高(33.33 mL/kg)剂量组小鼠肝脏组织中 GSH 含量均显著高于模型组(*P*<0.05), MDA 和蛋白质羰基含量均显著低于模型组(*P*<0.05, *P*<0.01, *P*<0.001), 血清中 GSH-Px 含量均显著高于模型组(*P*<0.05, *P*<0.01), 表明枸杞原浆可迅速提高肝损伤小鼠体内 GSH 及 GSH-Px 含量并降低 MDA 及蛋白质羰基含量, 抗氧化作用良好。GSH 可以清除体内过氧化氢及脂质过氧化物, 其在体内含量越高说明机体抗氧化活力越强^[10,14-16]; 机体可通过提高 GSH-Px 这类抗氧化物酶活力来强化机体清除自由基能力^[10,17]; 当机体遭受脂质过氧化时, 由于细胞膜内会产生大量不饱和脂肪酸, 以致组织损伤^[18], 其主要产物为具有细胞毒性的 MDA, 其含量的高低反映了氧化应激的强烈程度且与细胞氧化损伤程度呈正相关^[19]; 机体内氧化剂含量的升高会加速蛋白质的羰基化, 致使细胞遭受自由基的攻击与破坏, 体内蛋白质羰基含量越高, 可间接地反映出机体抗氧化能力越弱^[20-21]。

2.3 枸杞原浆对小鼠免疫力的影响

由表 3 可知, 经口给予小鼠不同剂量枸杞原浆 45 d 后, 与正常组相比, 枸杞原浆各剂量组小鼠脏器与体重的比值差异无统计学意义, 表明该枸杞原浆不影响小鼠的生长发育。枸杞原浆低(8.33 mL/kg)、中(16.67 mL/kg)、高(33.33 mL/kg)剂量组小鼠足跖的增厚程度、半数溶血值

及碳廓清吞噬指数均显著高于正常组(*P*<0.05, *P*<0.01, *P*<0.001), 表明枸杞原浆能够提高小鼠足跖肿胀程度、血清抗体水平及碳廓清吞噬指数, 具有良好的增强免疫力作用。迟发性变态反应是当机体被致敏性 T 细胞刺激时产生的一种细胞免疫反应, 小鼠足跖的肿胀程度可直观反映出迟发性变态反应的强弱^[22]; 血清溶血素水平通常采用半数溶血值来表示, 其水平的高低可反映出机体形成抗体的能力, 从而评价机体体液免疫功能能力的强度^[23]; 机体非特异性免疫功能的强弱与巨噬细胞的吞噬能力呈正相关, 碳廓清能力指数则代表巨噬细胞的吞噬能力^[24]。因此, 碳廓清能力的好坏可反映机体对巨噬细胞吞噬能力的强弱^[12]。

3 结论

采用小鼠体内试验对枸杞原浆进行抗氧化及免疫力活性探究。结果表明, 枸杞原浆可降低急性肝损伤模型小鼠体内脂质及蛋白质氧化产物水平, 减弱机体因脂质过氧化反应或活性氧引起的细胞损伤及机体氧化损伤, 提高体内抗氧化物酶等抗氧化物物质含量, 强化体内自由基反应系统的活力; 枸杞原浆不影响正常小鼠的生长发育, 可增强小鼠体内巨噬细胞吞噬活力, 血清溶血素水平及迟发变态反应, 促进机体单核—巨噬细胞功能、体液及细胞免疫活性, 表现出良好的免疫作用。但有关枸杞

表 3 枸杞原浆对小鼠免疫力的影响[†]

Table 3 Effect of *L. barbarum* puree on immuno-ability of mice (*n*=8)

组别	脾脏与体重比值/ (mg·g ⁻¹)	胸腺与体重比值/ (mg·g ⁻¹)	足趾肿胀度/ mm	半数溶血值	吞噬指数
正常组	3.06±0.47	1.22±0.38	0.72±0.19	199.56±2.19	2.13±0.29
枸杞原浆低剂量组	3.04±0.38	1.57±0.61	1.22±0.28 ^{* * *}	203.34±3.16 ^{* * *}	3.13±0.82 ^{* * *}
枸杞原浆中剂量组	3.17±0.45	1.57±0.17	1.02±0.21 ^{* * *}	212.10±2.39 ^{* * *}	2.72±0.45 [*]
枸杞原浆高剂量组	3.23±0.55	1.54±0.39	0.98±0.13 [*]	209.72±2.30 ^{* * *}	2.78±0.32 [*]

[†] 与正常组相比, ^{*}. *P*<0.05, ^{* *}. *P*<0.01, ^{* * *}. *P*<0.001。

原浆中发挥抗氧化及增强免疫力活性的化学成分确定及作用机制还有待进一步探究。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京: 中国医药出版社, 2020: 260.
- State Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of the people's republic of China: 1st[M]. Beijing: China Press of Traditional Chinese Medical, 2020: 260.
- [2] 陈浩, 张皓洁, 师亮, 等. 枸杞多糖对帕金森病小鼠的抗氧化作用和神经保护效应[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2018, 44(10): 613-618.
CHEN H, ZHANG H J, SHI L, et al. Antioxidant and neuroprotective effects of *Lycium barbarum* polysaccharides on Parkinson's disease mice[J]. Chinese Journal of Nervous and Mental Diseases, 2018, 44(10): 613-618.
- [3] 陈博, 宋小娜, 宋彦, 等. 枸杞多糖对癫痫大鼠学习记忆能力的影响及抗氧化应激作用[J]. 中国中医药科技, 2020, 27(2): 204-207.
CHEN B, SONG X N, SONG Y, et al. Effects of *Lycium barbarum* polysaccharide on learning and memory ability and antioxidant stress in epileptic rats[J]. Chinese Journal of Traditional Medical Science and Technology, 2020, 27(2): 204-207.
- [4] 马微. 枸杞原浆制作方法研究[J]. 中国食品, 2021, 44(9): 71-73.
MA W. Study on preparation method of *Lycium barbarum* puree[J]. China Food, 2021, 44(9): 71-73.
- [5] 马晓娟, 谢有发, 余银芳, 等. 发酵枸杞原浆中多糖、活菌数的变化规律[J]. 食品安全导刊, 2019, 13(28): 62-65.
MA X J, XIE Y F, YU Y F, et al. Changes of polysaccharides and viable bacteria in fermented *Lycium barbarum* puree[J]. China Food Safety Magazine, 2019, 13(28): 62-65.
- [6] 沈垚垚. 维生素C及柠檬酸对于鲜枸杞原浆的抗氧化研究[J]. 食品安全导刊, 2020, 14(36): 132, 134.
SHEN Y Y. Antioxidant effects of vitamin C and citric acid on fresh *Lycium barbarum* pulp[J]. China Food Safety Magazine, 2020, 14(36): 132, 134.
- [7] DE FREITAS R C, RAMOS B J, VALANDRO S M, et al. Goji berry (*Lycium barbarum* L.) juice reduces lifespan and premature aging of *Caenorhabditis elegans*: Is it safe to consume it? [J]. Food Res Int, 2021, 144: 110297.
- [8] LIU H, ZHOU X, HUANG S, et al. *Lycium barbarum* polysaccharides and wolfberry juice prevent DEHP-induced hepatotoxicity via PXR-regulated detoxification pathway[J]. Molecules, 2021, 26(4): 1-14.
- [9] WENG X Q, LIN B X, WANG C G, et al. The regulation of 100% *Lycium Barbarum* juice supplement in HPA axis and serum glucose balance during increasing resistance training [J]. Chin J Physiol, 2021, 37(5): 482-485.
- [10] 魏好程, 邵杰, 何传波, 等. 鲍内脏多糖体内抗氧化及增强小鼠免疫活性[J]. 食品科学, 2018, 39(9): 140-144.
- WEI H C, SHAO J, HE C B, et al. In vivo antioxidant capacity and immunoenhancing activity in mice of polysaccharides from abalone viscera[J]. Food Science, 2018, 39(9): 140-144.
- [11] 刘志东, 郭本恒, 王荫榆. 抗氧化活性检测方法的研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2008, 20(3): 563-567.
LIU Z D, GUO B H, WANG Y Y. Methods to determine antioxidant activity[J]. Natural Product Research and Development, 2008, 20(3): 563-567.
- [12] 马丽艳, 胡昂, 刘志东, 等. 扇贝抗氧化肽对衰老小鼠体内抗氧化活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(19): 5 159-5 163.
MA L Y, HU A, LIU Z D, et al. Antioxidant function of peptides from scallop by-product in aged mice in vivo[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(19): 5 159-5 163.
- [13] 张静丽, 王宏勋, 张雯, 等. 灵芝、枸杞多糖复合抗氧化作用[J]. 食品与机械, 2004, 20(6): 11-12, 46.
ZHANG J L, WANG H X, ZHANG W, et al. Compound antioxidant effect of *Ganoderma lucidum* and *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. Food & Machinery, 2004, 20(6): 11-12, 46.
- [14] VVOLPI N, TARUGI P. Influence of chondroitin sulfate charge density, sulfate group position, and molecular mass on Cu²⁺-mediated oxidation of human low-density lipoproteins: Effect of normal human plasma derived chondroitin sulfate[J]. J Biochem, 1999, 125(2): 297-304.
- [15] LIU J D, LIU W B, ZHANG D D, et al. Dietary reduced glutathione supplementation can improve growth, antioxidant capacity, and immunity on Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Fish and Shellfish Immunol, 2020, 100: 300-308.
- [16] 王川南, 吴天祥, 雷露. 不同年份酱香型白酒对小鼠抗疲劳及肝损伤试验的研究[J]. 酿酒科技, 2019, 40(10): 36-40.
WANG C N, WU T X, LEI L, et al. Study on anti fatigue and liver injury of Maotai Baijiu liquor in different years[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2019, 40(10): 36-40.
- [17] 王诗洋, 王枭, 徐祖清, 等. 苦杏仁苷通过抑制氧化应激及炎症反应减轻四氯化碳诱导的大鼠肝纤维化作用[J]. 现代免疫学, 2020, 40(6): 471-475, 481.
WANG S Y, WANG X, XU Z Q, et al. Amygdalin attenuates carbon tetrachloride induced liver fibrosis in rats by inhibiting oxidative stress and inflammatory response[J]. Current Immunology, 2020, 40(6): 471-475, 481.
- [18] EL-NEWARY S A, SHAFFIE N M, OMER E A. The protection of *Thymus vulgaris* leaves alcoholic extract against hepatotoxicity of alcohol in rats[J]. Asian Pacific J of Tropical Med, 2017, 10(4): 341-351.
- [19] ABE K, KIMURA H. The possible role of hydrogen sulfide as an endogenous neuromodulator[J]. Neur, 1996, 16(3): 1 066-1 071.
- [20] SAITO K, JIN D H, OGAWA T, et al. Antioxidative properties of tripeptide libraries prepared by the combinatorial chemistry[J]. J Agricul and Food Chem, 2003, 51(12): 3 668-3 674.

(下转第 28 页)

- WANG H, OUYANG S Y, HUANG S, et al. Optimization of drying conditions for dried potato slices[J]. Food Research and Development, 2018, 39(12): 33-38.
- [6] 李洪江, 杨林青. 花生仁薄层干燥试验研究[J]. 农业工程学报, 1992, 8(2): 56-62.
- LI H J, YANG L Q. A study on thin-layer drying of peanut kernels[J]. Journal of Agricultural Engineering, 1992, 8(2): 56-62.
- [7] 张建军, 王海霞, 马永昌, 等. 辣椒热风干燥特性的研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 298-301.
- ZHANG J J, WANG H X, MA Y C, et al. Experimental research on hot-air drying properties of capsicum[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2008, 24(3): 298-301.
- [8] 黄珊, 王修俊, 沈畅萱. 白萝卜薄层热风干燥特性及其数学模型[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 137-143.
- HUANG S, WANG X J, SHEN C X. Drying characteristics and mathematical model on hot-air drying of Chinese radish slices[J]. Food & Machinery, 2017, 33(8): 137-143.
- [9] CHEN J S. Food oral processing: A review[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(1): 1-25.
- [10] 于立波. 干脆性食品咀嚼过程中振动信号的分析研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017: 3.
- YU L B. Analysis of vibration signal during chewing of dry-crisp food[D]. Changchun: Jilin University, 2017: 3.
- [11] SAELEAW M, SCHLEINING G. A review: Crispness in dry foods and quality measurements based on acoustic-mechanical destructive techniques[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 105 (3): 387-399.
- [12] TANIWAKI M, KOHYAMA K. Mechanical and acoustic evaluation of potato chip crispness using a versatile texture analyzer[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 112(4): 268-273.
- [13] JIA Y Y, KHALIFA I, HU L L, et al. Influence of three different drying techniques on persimmon chips' characteristics: A comparison study among hot-air, combined hot-air-microwave, and vacuum-freeze drying techniques[J]. Food and Bioproducts Processing, 2019, 118: 67-76.
- [14] ZHANG C, ZHAO W, YAN W X, et al. Effect of pulsed electric field pretreatment on oil content of potato chips[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 135: 110198.
- [15] GOUYO T, MESTRES C, MARAVAL I, et al. Assessment of acoustic-mechanical measurements for texture of French fries: Comparison of deep-fat frying and air frying[J]. Food Research International, 2020, 131: 108947.
- [16] 黄碧竹. 基于声音信号食品脆性检测方法的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015: 3-6.
- HUANG B Z. Measurement method of food crispness based on acoustic signal[D]. Changchun: Jilin University, 2015: 3-6.
- [17] ANDREANI P, DE MORAES J O, MURTA B H P, et al. Spectrum crispness sensory scale correlation with instrumental acoustic high-sampling rate and mechanical analyses[J]. Food Research International, 2020, 129: 108886.
- [18] 宋义敏, 邢同振, 赵同彬, 等. 岩石单轴压缩变形场演化的声音发射特征研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(3): 534-542.
- SONG Y M, XING T M, ZAHO T B, et al. Acoustic emission characteristics of deformation field development of rock under uniaxial loading[J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(3): 534-542.
- [19] EDMISTER J A, VICKERS Z M. Instrumental acoustical measures of crispness in foods[J]. Journal of Texture Studies, 1985, 16(2): 153-167.
- [20] DUIZER L. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures[J]. Trends in Food Science & Technology, 2001, 12(1): 17-24.
- [21] 胡慧丽, 吴中华, 董晓林, 等. 马铃薯片脆性的力学和声学测量[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 22-27.
- XU H L, WU Z H, DONG X L, et al. Mechanical and acoustic measurement of potato chip crispness[J]. Food Science, 2020, 41 (21): 22-27.
- [22] 刘勇, 徐娜, 陈骏飞, 等. 不同干燥方法对三七药材外观性状与内在结构及其品质的影响[J]. 中草药, 2019, 50(23): 5 714-5 723.
- LIU Y, XU N, CHEN J F, et al. Effects of different drying methods on appearance and internal components of Notoginseng Radix et Rhizoma[J]. Chinese Medicinal Herb, 2019, 50(23): 5 714-5 723.
- [23] ROJO F J, VINCENT J F V. Objective and subjective measurement of the crispness of crisps from four potato varieties[J]. Engineering Failure Analysis, 2009, 16(8): 2 698-2 704.

(上接第 21 页)

- [21] DÁVALOS A, MIGUEL M, BARTOLOMÉ B, et al. Antioxidant activity of peptides derived from egg white proteins by enzymatic hydrolysis[J]. Food Protection, 2004, 67(9): 1 939-1 944.
- [22] 罗晓航. PEF 结合酶法提取鲍鱼脏器粗多糖及其抗氧化活性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012: 60-61.
- LUO X H. Extraction of crude polysaccharide from abalone viscera by PEF combined with enzyme and its antioxidant activity[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012: 60-61.
- [23] 李晓梅, 鞠玉琳. 中药“FH”对小鼠血清溶血素和淋巴细胞转化的影[J]. 延边大学农学学报, 2005, 27(3): 197-200.
- LI X M, JU Y L. Effects of traditional Chinese medicine "FH" on serum hemolysin and lymphocyte transformation in mice[J]. Agricultural Science Journal of Yanbian University, 2005, 27 (3): 197-200.
- [24] 孔晨先, 肖波, 柳全文, 等. 山药多糖对动物机体免疫调节作用的 Meta 分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(19): 206-213.
- KONG C X, XIAO B, LIU Q W, et al. Meta analysis of immune regulation of yam polysaccharide on animals[J]. Food Research and Development, 2021, 42(19): 206-213.