

强倩,罗海青,张建梅,等.黑蒜加工过程中多酚含量变化及抗氧化活性[J].江苏农业科学,2017,45(24):176-179.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.24.047

黑蒜加工过程中多酚含量变化及抗氧化活性

强倩^{1,2},罗海青^{2,3},张建梅²,沈婷^{1,2},王新风²,胡卫成^{1,2},纪丽莲^{1,2,3}

(1. 淮阴师范学院/江苏省高校区域现代农业与环境保护协同创新中心,江苏淮安 223300; 2. 淮阴师范学院生命科学学院/江苏省环洪泽湖生态农业生物技术重点实验室,江苏淮安 223300; 3. 扬州大学食品科学与工程学院,江苏扬州 225127)

摘要:以黑蒜为试验材料,以白蒜为对照,采用福林-酚法对其加工过程中多酚含量的变化进行研究,并采用 DPPH 法、还原力、ABTS 法、ORAC 法对其抗氧化活性进行综合评价。结果表明,在黑蒜加工过程中多酚含量显著增加;加工后黑蒜的 DPPH 自由基清除率是白蒜的 3 倍;黑蒜加工前后的还原能力与其多酚含量呈正相关,相同浓度下黑蒜的还原力明显高于白蒜;ABTS⁺清除能力与黑蒜提取液浓度呈正相关,黑蒜 ABTS⁺清除率显著高于白蒜;加工后黑蒜的氧自由基吸收能力增强,显著高于白蒜的氧自由基吸收能力。结果表明,与普通的白蒜比较,发酵后的黑蒜具有更高的抗氧化活性。

关键词:黑蒜;自由基;多酚含量;抗氧化活性

中图分类号:TS255.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)24-0176-03

大蒜是一种古老的药食两用植物,在我国已有 2 000 多年的种植历史^[1],是我国的特色农产品和传统调味料,其性味温热,具有抗菌、抗氧化、降血糖、护肝及杀虫等性能^[2]。此外,大蒜作为一种具有多种生物学效应的传统药物,能缓解疲劳,增加体力,帮助消化,预防腹泻及蠕虫感染,可用于治疗心脏病和关节炎^[3]。相关研究表明,大蒜具有抗肿瘤功能,可诱导人体产生强烈的 TH1 免疫反应^[4]。我国大蒜消费主要以其原料和初级加工产品为主,其中腌渍蒜产品在大蒜的加工和贸易中占主要地位^[5]。目前,几种大蒜产品如脱水大蒜粉、大蒜精油、大蒜油浸膏和老化的大蒜提取物已被逐渐引入市场^[6]。

黑蒜,又名黑大蒜,是以新鲜大蒜为原料,在严格控制温度和湿度的情况下发酵而成的一种新型大蒜制品。黑蒜在加工过程中,自身的组织被破坏,其物质所发生的一系列酶促反应和非酶褐变反应,其中包括美拉德反应、焦糖化反应等^[7]。黑蒜在加工过程中变成黑色,同时,呈色物质本身也有一些生物活性。加工后的黑蒜无辛辣及刺激性气味,具有高含量的多糖、还原糖、蛋白质、酚类化合物、有机硫化合物和类黑素^[8],其中多酚类物质含量高 5 倍以上^[9],其超氧化物歧化酶活性高出 10 倍以上^[10],这使得生大蒜的抗氧化功效有了很大的提高,对保持人体健康起着积极作用。目前对黑蒜的相关文献报道很少,对黑蒜抗氧化机制的研究尚未清楚,为了对黑蒜的进一步开发利用提供科学依据,本试验对黑蒜的抗氧化性进行研究,并以 DPPH 清除率、Fe³⁺还原能力、

ABTS 清除率及氧自由基清除能力测定黑蒜的抗氧化能力,以期明确黑蒜的抗氧化能力,为黑蒜深加工利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

白蒜及黑蒜由菏泽天鸿果蔬有限公司提供;2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)、水溶性维生素 E(Trolox)、荧光素(FL)、2,2'-偶氮二异丁基脒二盐酸盐(ABAP)槲皮素(Quercetin)、没食子酸、福林试剂、碳酸钠、铁氰化钾、硫酸钾、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾、氯化铁、甲醇、无水乙醇均为分析纯。

DHG-9240A 型烘箱,上海精宏实验设备有限公司;Centrifuge 5418 型离心机,德国 Eppendorf 公司;分析天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司;ecan infinite M200PRO 酶标仪,瑞士 Tecan 公司;Q-250B3 高速多功能粉碎机,上海冰都电器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品提取液的制备 将新鲜的白蒜、黑蒜烘干至恒质量,加入粉碎机粉碎后,分别称取 1 g 白蒜、黑蒜样品机械粉,按 1:20 的料液比加入 50% 的乙醇溶液 20 mL,于 30 ℃ 超声提取 30 min,离心、过滤,用 50% 的乙醇定容至 20 mL 作为样品液待用。

1.2.2 黑蒜加工前后多酚含量的测定^[11]

1.2.2.1 多酚标准曲线的绘制 准确称取 0.02 g 没食子酸标准品置于烧杯中,用 80% 乙醇溶解后定容至 50 mL,得到 400 mg/mL 没食子酸标准溶液。用移液枪吸取没食子酸的标准溶液 0、12.5、25.0、50.0、75.0、100.0、150.0、200.0、250.0、300.0、350.0、400.0 μL,分别置于 12 支离心管中,向每支离心管中各加入 80% 乙醇至 0.2 mL。依次加入 1 mL 蒸馏水,0.2 mL 福林试剂,混匀静置 3 min 后,加入 0.6 mL 7.5% 碳酸钠,再次混匀,静置 40 min 后,在 D_{765 nm} 处测定其吸光度。并

收稿日期:2017-04-15

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2015BAD29B00);江苏高校品牌专业建设工程(编号:PPZY2015A018)。

作者简介:强倩(1991—),女,安徽天长人,硕士,助理实验师,研究方向为食品生物化学。E-mail:qiangqian9197@126.com。

通信作者:纪丽莲,博士,教授,研究方向为微生物与生化药学。E-mail:jll2663@sina.com。

以没食子酸浓度为横坐标,吸光值为纵坐标,绘制没食子酸标准曲线, $y = 0.0071x + 0.0169$, $r^2 = 0.9998$ 。式中 y 为吸光度; x 为多酚质量浓度 (mg/mL)。

1.2.2.2 样品测定 取制备好的白蒜、黑蒜乙醇提取液 1 mL,按照标准曲线的测定方法,在 D_{765} 处测定其吸光度。根据回归方程计算黑蒜加工过程中多酚含量,样品总多酚含量以每克样品中所含没食子酸的毫克数表示 (mg GA eq/g)。

1.2.3 黑蒜加工前后体外抗氧化能力的测定

1.2.3.1 清除 DPPH 自由基的测定 按浓度大小依次向 96 孔透明板中加入 100 μ L 白蒜、黑蒜提取液 (0.25、0.50、1.00、2.00、4.00、8.00 mg/mL),再分别加入 100 μ L 0.2 mmol/L 的 DPPH 溶液。依照相同的操作方法,将不同浓度的样品液分别与甲醇混匀作为空白组,DPPH 溶液与甲醇混匀作为对照组。室温避光静置 30 min 后,在 $D_{517\text{ nm}}$ 处测其吸光值,重复 3 次,每次 3 组平行,取平均值。

$$\text{DPPH 清除率} = (1 - \frac{D_1 - D_2}{D_3}) \times 100\%$$

式中: D_1 为 DPPH 溶液与样品液的吸光度之和; D_2 为样品液与提取溶剂的吸光度之和; D_3 为 DPPH 溶液与提取溶剂的吸光度之和。

1.2.3.2 Fe^{3+} 还原能力的测定^[12-13] 准确吸取 0.2 mL 不同浓度白蒜、黑蒜提取液 (0.625、1.250、2.500、5.000、10.000 mg/mL) 置于 5 支 2 mL 离心管中,分别加入 0.5 mL 0.2 mol/L pH 值 6.6 磷酸缓冲液和 0.5 mL 1% 铁氰化钾溶液,混匀后,于 50 $^{\circ}\text{C}$ 温度下水浴 20 min,然后加入 0.5 mL 10% 的三氯化铁溶液 (TCA),混合均匀,置于离心机中以 5 000 r/min 离心 5 min,取上清液 0.5 mL,加入 0.5 mL 蒸馏水和 0.1 mL 0.1% 氯化铁溶液,混匀后,静置 10 min,在 $D_{700\text{ nm}}$ 处测其吸光值,重复 3 次,每次 3 组平行,取平均值。

1.2.3.3 清除 ABTS^+ 自由基的测定 用 PBS (pH 值 = 7.4) 配制 7 mmol/L 的 ABTS^+ 溶液,将 7 mmol/L 的 ABTS 和 2.45 mmol/L 过硫酸钾等体积混合均匀,在室温下避光反应 12 ~ 16 h 生成 ABTS^+ 储备液,使用前用 PBS 稀释到 $D_{734\text{ nm}}$ 处吸光度为 0.66 ± 0.03 的工作液。取 20 μ L 不同浓度白蒜、黑蒜提取液 (0.25、0.50、1.00、2.00、4.00、8.00 mg/mL) 加到 96 孔透明酶标板中,分别加入 150 μ L 0.2 mmol/L ABTS^+ 储备液,以 PBS 作为对照,室温下反应 10 min 后,在 $D_{517\text{ nm}}$ 处测其吸光值,重复 3 次,每次 3 组平行,取平均值。

$$\text{ABTS}^+ \text{清除率} = \frac{D_0 - D}{D_0} \times 100\%$$

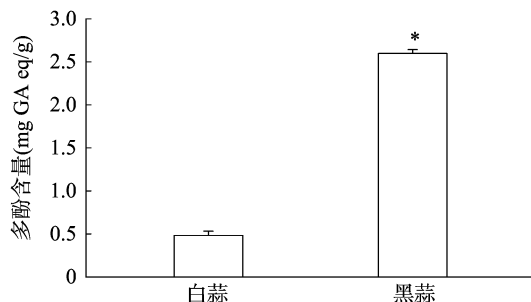
式中: D_0 为 ABTS^+ 工作液与 PBS 的吸光度之和; D 为 ABTS^+ 工作液与样品液的吸光度之和。

1.2.3.4 氧自由基吸收能力 (ORAC) 的测定 取不同浓度白蒜、黑蒜提取液 (0.25、0.50、1.00、2.00、4.00、8.00 mg/mL) 和 Trolox 标准液 (用 pH 值 = 7.4 的 75 mmol/L PBS 稀释) 20 μ L 加到 96 孔黑色酶标板中,分别加入 180 μ L FL,在 37 $^{\circ}\text{C}$ 条件下孵育 20 min,随后加入 20 μ L 119 mmol/L 的 ABAP 溶液。用 485 nm 激发波长和 535 nm 发射波长测定其荧光强度,测定时间间隔为 5 min,连续测定 35 次。ORAC 值以 Trolox 当量表达,单位为 mmol TE/g DW。

2 结果与分析

2.1 黑蒜加工前后多酚含量比较

多酚类物质含有多个酚基团,具有良好的抗氧化性和抗癌活性。多酚类物质种类很多、结构各异,其抗氧化性、生物利用率及对人体影响也有所不同,在食品医药中具有广泛的应用。多酚类物质的提取率不仅因溶剂种类、提取时间、提取温度、溶剂用量等条件的不同而存在差异,同时,在天然产物中多酚类物质因种类的不同,其含量也存在很大差异^[14]。本试验利用 50% 的乙醇分别对白蒜、黑蒜粉末进行提取,采用福林-酚法测定其多酚的含量,从图 1 可以看出,白蒜、黑蒜的多酚含量分别为 0.49、2.60 mg GA eq/g,二者差异显著。表明黑蒜在发酵过程中,多酚含量增加,本结果与连毅等的研究结果^[9]一致。安东认为,多酚类物质含量的增加可能是因为大化合物释放出更多的酚羟基,使多酚的相对含量升高^[15];Kwon 等指出,可能是在高温情况下其他化合物转化成了多酚类物质^[16]。表明黑蒜在发酵过程中多酚类物质增加,使黑蒜具有更好的抗氧化、抗癌活性。



“*”表示处理后黑蒜与白蒜间差异显著 ($P < 0.05$)。图2~图5同
图1 黑蒜加工前后多酚含量比较

2.2 黑蒜加工前后体外抗氧化活性

酚类物质组成比较复杂,其种类和含量随着植物品种、成熟度、季节域等不同有很大差异,单一的抗氧化方法很难完全有效地对其含量及活性进行测定,而且不同的方法研究结果也存在很大差异,且缺乏可比性。因此,选用多种方法对其进行研究,力求全面对其抗氧化活性进行评价。

2.2.1 黑蒜加工前后对 DPPH 自由基的清除作用 DPPH 是一种具有单电子、稳定的氮中心的自由基,广泛用于动植物提取物或者食品的抗氧化特性评价。当自由基清除剂存在时,DPPH 自由基接受一个电子或氢原子,形成稳定的化合物,使其溶液从深紫色变为淡黄色,变色程度与其接受的电子数量成定量关系,可通过吸光值大小来判断清除能力。本研究用酶标仪对其吸光值进行测定。从图 2 可以看出,黑蒜在加工前后对 DPPH 自由基都有清除能力,且随着样品浓度的增加,DPPH 的清除能力增强,黑蒜加工前后半抑制浓度 IC_{50} (指对 DPPH 自由基清除率达到 50% 时所需样品的浓度) 分别为 13.98、5.99 mg/mL,与王卫东等所报道的黑蒜的自由基的清除率是普通大蒜的 3 倍结论^[17]一致。这可能是由于黑蒜加工过程中多酚含量增加,抗氧化能力增强,对自由基的清除能力也增强。

2.2.2 黑蒜加工前后的还原力 还原力是用来评价抗氧化剂活性的常用方法,根据样品本身的还原作用,给出电子清除

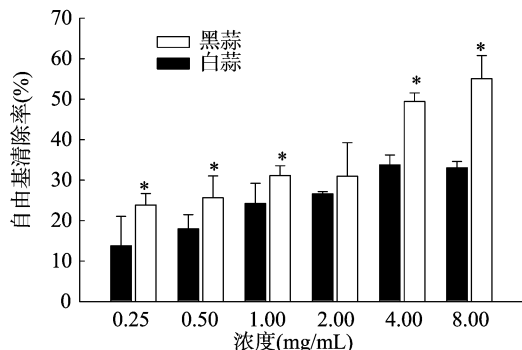


图2 黑蒜加工前后对 DPPH 自由基的清除能力

自由基,样品作为一种还原剂,其还原能力越强,抗氧化能力越强,反之越弱。相关文献报道,样品中的多酚类化合物可作为一种很强的天然抗氧化剂,具有很强的抗氧化性,可以通过测定其还原力来评价其抗氧化能力。从图 3 可以看出,不同质量浓度下白蒜与黑蒜提取液还原能力的强弱,相同浓度下黑蒜的还原力明显高于白蒜,在低浓度情况下白蒜和黑蒜的还原力不明显,当浓度达到 2.5 mg/mL 时,黑蒜的还原力为白蒜的 1.82 倍,且随着提取液浓度的升高,还原能力也逐渐升高。相关文献报道样品的还原能力强弱与样品中所含的多酚类物质呈正相关性^[18],本试验中,白蒜总酚的含量 0.49 mg GA eq/g,而黑蒜的总酚含量达到 2.60 mg GA eq/g,是白蒜的 5 倍之多,从而证实了黑蒜的还原能力强于白蒜。

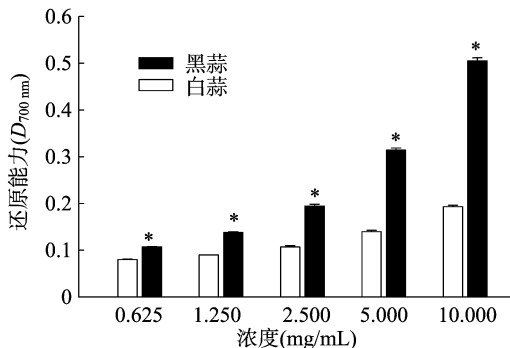
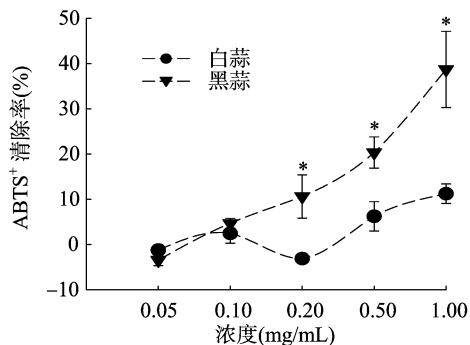


图3 黑蒜加工前后的还原力

2.2.3 黑蒜加工前后对 ABTS⁺ 自由基的清除 从图 4 可以看出,黑蒜加工前后 ABTS⁺ 清除能力与浓度呈正相关性,即随着样品浓度的增加,清除率逐渐升高,黑蒜 ABTS⁺ 清除率明显高于白蒜,且随着样品浓度的增大清除能力差别明显。在浓度为 0.05 mg/mL 时,白蒜、黑蒜提取液对 ABTS⁺ 没有清除作用,随着浓度的增大,当浓度为 0.50 mg/mL 时,白蒜的清除率为 6.23%,黑蒜的清除率为 20.35%;当浓度为 1 mg/mL 时,白蒜的清除率为 11.23%,黑蒜的清除率为 38.71%,即随着浓度的增加,白蒜、黑蒜的清除率都在上升,且黑蒜的清除能力强于白蒜。这可能是由于浓度的增大,白蒜、黑蒜中活性成分含量升高。总体来看,黑蒜提取液的 ABTS⁺ 自由基的清除能力明显优于白蒜,一方面可能与多酚含量有关,黑蒜在加工过程中多酚含量是白蒜的 5 倍以上;另一方面可能与多酚的形态有关,黑蒜在加工过程中可能产生很多游离多酚类物质且其具有很强的 ABTS⁺ 自由基清除能力。因此,黑蒜对 ABTS⁺ 的清除率明显高于白蒜。

图4 黑蒜加工前后对 ABTS⁺ 自由基的清除能力

2.2.4 黑蒜加工前后对氧自由基的清除能力 ORAC 抗氧化原理是指自由基能破坏荧光探针,使荧光强度发生变化,其变化的大小反映自由基破坏的程度。抗氧化剂可以抑制由自由基引起的荧光变化,而抑制程度能反映其对自由基的抗氧化能力的大小。从图 5 可以看出,无论是白蒜、黑蒜均显示出对氧自由基清除能力,但是黑蒜的清除能力比白蒜的要强,白蒜的氧自由基吸收能力为 324.43 $\mu\text{mol TE/g DM}$,黑蒜吸收能力达到了 984.56 $\mu\text{mol TE/g DM}$,二者差异显著。这与 DPPH、Fe³⁺ 还原能力的结果一致,这是由于黑蒜中的多酚含量明显高于白蒜。

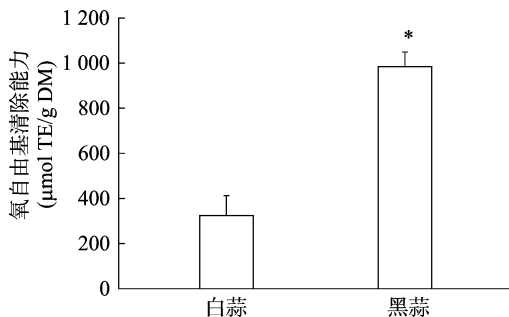


图5 黑蒜加工前后对氧自由基的清除能力

3 结论

与普通的白蒜相比,黑蒜以其极高的营养价值和保健价值受到很多消费者欢迎。黑蒜加工前后的多酚含量存在显著差异,经发酵后的黑蒜多酚含量增加了 4 倍以上,使黑蒜具有更好的抗氧化、抗癌活性。黑蒜加工过程中多酚含量增加,抗氧化能力增强,使得加工后的黑蒜对 DPPH 自由基清除能力增加了 1 倍多。黑蒜加工前后的还原能力与其多酚含量呈正相关,相同浓度下,经发酵后的黑蒜的还原力明显高于白蒜;ABTS⁺ 清除能力与浓度呈正相关,黑蒜 ABTS⁺ 清除率明显高于白蒜,且随着样品浓度的增大清除能力差别明显。黑蒜加工前后都具有对氧自由基清除能力,但加工后的黑蒜的清除能力显著高于白蒜。黑蒜在加工过程中多酚含量增加,加工后的黑蒜对 DPPH 的清除率、还原能力、ABTS⁺ 自由基清除率及对氧自由基的清除能力都显著高于白蒜,表明黑蒜抗氧化能力远远高于加工前普通白蒜。本研究结果为黑蒜研究及发展提供了理论依据,并为大蒜市场发展提供了广阔前景。

参考文献:

- [1] 单峰,黄璐琦,郭娟,等. 药食同源的历史和发展概况[J]. 生命科学,2015,27(8):1061-1069.

谢冬娣,李丹梅,龚振维. 木瓜蛋白酶复合剂抑制淮山酶促褐变的应用[J]. 江苏农业科学,2017,45(24):179-182.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.24.048

木瓜蛋白酶复合剂抑制淮山酶促褐变的应用

谢冬娣,李丹梅,龚振维

(贺州学院食品与生物工程学院,广西贺州 542899)

摘要:以淮山、木瓜蛋白酶等为试验材料,研究木瓜蛋白酶复合剂对鲜切淮山的褐变防控效果,探索生物酶法在淮山鲜切加工中的应用。以多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)、褐变度(BD)为考察指标,在木瓜蛋白酶、抗坏血酸、氯化钠以及柠檬酸单一抑制剂对淮山褐变控制效果研究的基础上,采用正交试验,确定复合抑制剂在淮山褐变控制中的最佳组合。结果表明:柠檬酸、抗坏血酸和木瓜蛋白酶单一抑制剂对于防止鲜切淮山的褐变具有较好的效果,而NaCl溶液对于防止鲜切淮山的褐变效果不明显。采用柠檬酸、抗坏血酸和木瓜蛋白酶进行防褐变正交试验所筛选的最佳浓度组合为0.40%柠檬酸+0.20%木瓜蛋白酶+0.20%抗坏血酸,影响主次顺序为柠檬酸>木瓜蛋白酶>抗坏血酸。验证试验结果表明,BD值为0.194、PPO活性为0.21 U/mL、POD活性为9.2 U/mL的抑制褐变效果优于试验对照组。

关键词:木瓜蛋白酶;复合抑制剂;鲜切淮山;酶促褐变

中图分类号: TS255.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)24-0179-04

鲜切果蔬保持了果蔬原有的新鲜状态,又经过了加工而使产品清洁卫生,是满足现代都市人快速生活节奏的一种果蔬加工方式。淮山(Yam)为薯蓣科薯蓣属薯蓣的根茎,别称怀山药、淮山药,是药食同源的蔬菜。鲜切淮山在加工和贮藏

中极易产生褐变,严重影响其外观,不利于销售。目前对鲜切淮山褐变的控制主要采用物理方法^[1-4],也常使用化学护色方法^[5-7],但有一定局限性,极少有使用生物酶法的报道。由于木瓜蛋白酶已经被证实对抑制酶促褐变有显著效果^[6-8],但目前却尚未有将其用于抑制鲜切淮山褐变的研究。笔者将木瓜蛋白酶结合抗坏血酸(AA)、氯化钠(NaCl)以及柠檬酸(CA),以单一抑制剂对淮山褐变控制效果的研究为基础,采用正交试验优化,研究安全环保的木瓜蛋白酶复合抑制剂对鲜切淮山酶促褐变的影响,以期探索生物酶法在淮山鲜切加工中的应用,为鲜切淮山加工贮藏生产实践提供理论依据。

收稿日期:2016-06-26

基金项目:广西科学研究与技术开发计划(编号:桂科合 14251003);

广西贺州市科学研究与技术开发计划(编号:贺科攻 1541005)。

作者简介:谢冬娣(1968—),女,广西贺州人,副教授,主要从事果蔬贮藏与加工方面的研究。E-mail:xiedongdi@163.com。

[2] Rahman K, Lowe G M. Garlic and cardiovascular disease: a critical review[J]. Journal of Nutrition, 2006, 136(3): 736-740.

[3] Choi I S, Cha H S, Lee Y S. Physicochemical and antioxidant properties of black garlic[J]. Molecules, 2014, 19(10): 16811-16823.

[4] Wang D, Feng Y H, Liu J, et al. Black garlic (*Allium sativum*) extracts enhance the immune system[J]. Med Arom Plant Sci Biotech, 2010, 4(1): 37-40.

[5] 张桂芝, 张延杰, 莫红丽, 等. 黑蒜的研究进展[J]. 轻工科技, 2015(10): 19-21.

[6] Amagase H, Petesch B L, Matsuura H, et al. Intake of garlic and its bioactive components[J]. Journal of Nutrition, 2001, 131(3): 955-962.

[7] Beveridge T, Franze K, Harrison J. Clarified natural apple juice: production and storage stability of juice and concentrate[J]. Journal of Food Science, 1986, 51(2): 411-414.

[8] Queiroz Y S, Ishimoto E Y, Bastos D H, et al. Garlic (*Allium sativum* L.) and ready-to-eat garlic products: in vitro antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2009, 115(1): 371-374.

[9] 连毅, 乔旭光, 李燕, 等. 大蒜多酚氧化酶特性的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 290-293.

[10] 王雪峰, 沈颂东, 连玉官, 等. 大蒜超氧化物歧化酶的分离纯化

及其性质的研究[J]. 安徽农业科学, 2001, 29(3): 408-409.

[11] 胡君萍, 杨建华, 王新玲, 等. 新疆沙枣果实不同部位总酚的含量测定[J]. 食品科学, 2010, 31(6): 220-222.

[12] Dorman H J, Kosar M, Kahlos K, et al. Antioxidant properties and composition of aqueous extracts from *Mentha* species, hybrids, varieties, and cultivars[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2003, 51(16): 4563-4569.

[13] 焦中高, 刘杰超, 王思新. 黑莓红色素抗氧化活性的研究[J]. 食品科技, 2003(8): 63-65.

[14] 尧渝, 江和源, 袁新跃. 茶叶功能成分提取制备专题(二) 茶多酚的提取制备技术[J]. 中国茶叶, 2009(2): 11-13.

[15] 安东. 黑蒜加工工艺的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.

[16] Kwon O C, Woo K S, Kim T M, et al. Physicochemical characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) on the high temperature and pressure treatment[J]. Korean Journal of Food Science and Technology, 2006, 38(3): 331-336.

[17] 王卫东, 王滢, 王超, 等. 美拉德反应对大蒜营养成分和抗氧化性的影响[J]. 食品科技, 2013(4): 42-44.

[18] Zhu K X, Huang S, Peng W, et al. Effect of ultrafine grinding on hydration and antioxidant properties of wheat bran dietary fiber[J]. Food Research International, 2010, 43(4): 943-948.