

# 黑蒜非发酵法制备工艺与抗氧化活性研究

王喜波 于洁 张泽宇 徐晔晔 刘竞男 江连洲

(东北农业大学食品学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:** 为了提高黑蒜的生产效率、降低黑蒜的生产成本,将蒸制工艺与烘制工艺相结合,设计并优化了一种非发酵黑蒜制备工艺。研究表明,非发酵黑蒜的最佳制备工艺参数为:蒸制温度 127℃、蒸制时间 70 min、烘制温度 95℃、烘制时间 6.5 h,在此工艺条件下制得的黑蒜总酚质量比为 11.15 mg/g,含水率为 27.41%,还原糖和总酸质量比分别为 7.87 g/(100 g)和 36.09 g/kg。在 0.06~0.18 mg/mL 质量浓度范围内,黑蒜的还原能力是维生素 C 的 1.4 倍以上,说明黑蒜具有很强的抗氧化活性。与发酵工艺相比,总酚等活性成分含量相近,但极显著地缩短了黑蒜的制备时间、提高了生产效率、降低能耗,为功能性蒜制品的开发利用提供了技术基础。

**关键词:** 黑蒜;非发酵;工艺优化;抗氧化性

中图分类号: TS255.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2017)04-0321-06

## Non-fermentation Process Preparation of Black Garlic and Its Antioxidant Activity

WANG Xibo YU Jie ZHANG Zeyu XU Yeye LIU Jingnan JIANG Lianzhou

(College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** Garlic is one of the species in onion genus, which has been used as both a flavoring agent and a complementary medicine. Although garlic has many active components that contribute to its health benefits, including allicin and its derivatives, consumption of unprocessed raw garlic is limited due to its characteristic odor, taste and tendency to cause stomach upset. Aged black garlic was prepared through natural fermentation of whole garlic at controlled high temperature and humidity, a process that resulted in black cloves. Aiming to obtain a non-fermented black garlic with low cost of ownership, which combined the steaming process with roasting process. The influences of steaming temperature, steaming time, roasting temperature and roasting time on preparation process for black garlic were investigated. The optimum processing parameters for the preparation of black garlic were determined by combined use of single factor and orthogonal experiments. The results showed that the optimal combination was steaming temperature of 127℃, steaming time of 70 min, roasting temperature of 95℃ and roasting time of 6.5 h. Under the optimum conditions, the black garlic had total phenols of 11.15 mg/g, moisture of 27.41%, reducing sugar of 7.87 g/(100 g) and total acid of 36.09 g/kg, reducing capacity of black garlic was more than 1.4 times of that of vitamin C in the 0.06~0.18 mg/mL concentration range. This showed black garlic possessed strong antioxidant capacity. Compared with the fermentation process, the research significantly shortened the preparation time of black garlic, improved production efficiency, reduced energy consumption, provided technical basis for the development and utilization of functional garlic products.

**Key words:** black garlic; non-fermentation; process optimization; antioxidation

## 引言

大蒜是百合科葱属植物蒜的鳞茎,多用作调味

剂或中药<sup>[1]</sup>。大蒜中含硫的有机化合物是其功能作用的主要化学成分<sup>[2]</sup>,具有抗菌消炎<sup>[3]</sup>、降血脂<sup>[4]</sup>、抗氧化<sup>[5]</sup>等作用,已经成为我国特色的功能

收稿日期: 2016-08-08 修回日期: 2016-09-04

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAD22B01)和黑龙江省应用技术与开发计划项目(WB13C10201)

作者简介: 王喜波(1975—),男,副教授,主要从事粮食油脂及植物蛋白工程研究,E-mail: wangxibo@neau.edu.cn

通信作者: 江连洲(1960—),男,教授,博士生导师,主要从事粮食油脂及植物蛋白工程研究,E-mail: jlzname@163.com

性食物资源。但新鲜大蒜本身特有的辛辣味导致其消费市场不大,过度食用还会对人胃肠黏膜细胞造成一定程度的损伤,使之成为大蒜产业发展的瓶颈<sup>[6]</sup>。

黑蒜是由新鲜大蒜在适宜温度和湿度环境下培养数天或数十天制成的食品<sup>[7]</sup>。与新鲜大蒜相比,黑蒜中糖分和总酸含量都显著提高,挥发性有机硫化物含量减少<sup>[8]</sup>,不仅去除了新鲜大蒜的蒜臭味,同时还赋予其软糯酸甜的口感,可直接食用。在生物活性方面,黑蒜提取液的超氧化物歧化酶活性、过氧化氢清除能力和总酚含量分别为鲜蒜提取液的13、10和7倍,表明黑蒜抗氧化能力明显高于新鲜大蒜<sup>[9]</sup>。

黑蒜的制备方法主要有固态发酵和液态发酵。固态发酵是传统的黑蒜加工工艺,虽然多位学者在预处理和发酵方面进行了一些改进<sup>[10-11]</sup>,但仍存在耗时太长、能耗过高的问题。罗苍学等<sup>[12]</sup>研究了液态黑蒜发酵工艺,料液质量比为2:1,破碎粒度为4 mm,采用分段变温发酵,将发酵时间缩短为11~13 d。相对于固态发酵和液态发酵,非发酵工艺是近年来黑蒜生产的新工艺,赵岩等<sup>[13]</sup>研究了黑蒜的非发酵制备工艺,把黑蒜加工时间缩短为1 d,降低了能耗成本,由该工艺制得的非发酵黑蒜总酚含量和氨基酸含量明显高于发酵黑蒜,对DPPH自由基清除能力是发酵黑蒜的近2倍。因此,在前人研究的基础上,本文研究一种非发酵黑蒜制备工艺,引入烘制工艺,以缩短黑蒜制备时间。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

白皮大蒜(市售);焦性没食子酸、碳酸钠、福林-酚、无水乙醇、氢氧化钠、葡萄糖、苯酚、亚硫酸钠、酒石酸钾钠、铁氰化钾、三氯乙酸、抗坏血酸,以上试剂均为分析纯。

BXM-30R型立式压力蒸汽灭菌器,上海博讯实业有限公司;N24120型电子天平,瑞士Ohaus公司;101-3A型电热鼓风干燥箱,余姚市东方电仪仪器厂;HH-4型数显恒温水浴锅,常州赛普实验仪器厂;LE438型pH计,梅特勒-托利多仪器有限公司;LD4-2A型台式低速离心机,北京众益中和生物技术有限公司;TU-1800型紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司。

### 1.2 黑蒜的制备工艺

工艺流程为:新鲜大蒜(约500 g)→去皮、清洗→均匀平铺在托盘中→高温高压蒸制→恒温烘制→空气冷却至室温(25℃)→成品黑蒜。

### 1.3 测定指标与方法

(1)总酚含量测定参照SONG等<sup>[14]</sup>的方法,采用福林-酚比色法。

样品液的制备:准确称取100 g黑蒜,加入200 mL蒸馏水,于组织捣碎机中打碎成浆。取10 g黑蒜浆置于圆底烧瓶中,加入300 mL体积分数为60%的乙醇,95℃回流浸提1 h,提取完成后过滤得到黑蒜提取液。

(2)含水率的测定参考GB 5009.3—2010;总酸含量的测定参考GB/T 12456—2008。

(3)还原糖的测定参照柳珊等<sup>[15]</sup>的方法,采用3,5-二硝基水杨酸(DNS)比色法进行测定。

### 1.4 单因素试验

#### 1.4.1 蒸制温度

在蒸制时间60 min,烘制温度90℃,烘制时间7 h的条件下,选取110、115、120、125、130℃5个蒸制温度研究黑蒜制备工艺,测定黑蒜的总酚含量、含水率、总酸含量和还原糖含量,确定最佳的蒸制温度。

#### 1.4.2 蒸制时间

在蒸制温度125℃,烘制温度90℃,烘制时间7 h的条件下,研究蒸制时间分别为40、50、60、70、80 min时对黑蒜制备工艺的影响,测定黑蒜的总酚含量、含水率、总酸含量和还原糖含量,探究不同蒸制时间对黑蒜制备工艺的影响。

#### 1.4.3 烘制温度

在蒸制温度125℃,蒸制时间为60 min,烘制时间7 h的条件下,选取70、80、90、100、110℃5个不同的温度,以总酚含量、含水率、总酸含量和还原糖含量为指标研究烘制温度对黑蒜制备工艺的影响。

#### 1.4.4 烘制时间

在蒸制温度125℃,蒸制时间为60 min,烘制温度90℃的条件下,研究烘制时间分别为5.0、5.5、6.0、6.5、7.0 h时对黑蒜制备工艺的影响,比较不同烘制时间制得的成品黑蒜中总酚含量、含水率、总酸含量和还原糖含量的变化,确定最佳烘制时间。

### 1.5 正交试验设计

根据上述单因素试验,选定合适的水平,以总酚含量为指标设计正交试验,确定最佳的黑蒜制备工艺,其中因素与水平如表1所示。

表1 正交试验因素与水平

Tab.1 Factors and levels of orthogonal experiments

水平	因素			
	蒸制温度/℃	蒸制时间/min	烘制温度/℃	烘制时间/min
1	123	50	85	6.5
2	125	60	90	7.0
3	127	70	95	7.5

## 1.6 还原能力的测定

以还原能力作为黑蒜抗氧化活性的评价指标,参照马承慧等<sup>[16]</sup>的方法并略作改动。配制一系列浓度的乙醇提取液(具体配制方法参见1.3节)200  $\mu\text{L}$ ,加入2 mL 磷酸盐缓冲液(0.2 mol/L, pH 值6.6)和2 mL 质量分数为1%的铁氰化钾溶液,混匀,50 $^{\circ}\text{C}$ 反应20 min,流水冷却,加入2 mL 质量分数为10%的三氯乙酸溶液,离心10 min(4 000 r/min)。取2 mL 上清液,依次加入2 mL 蒸馏水、0.5 mL 质量分数为0.1%的 $\text{FeCl}_3$ 溶液,混匀,暗处反应10 min,在700 nm 波长下测定吸光度,平行试验3次取平均值。以维生素C为阳性对照评价其还原能力。

## 1.7 数据处理

所有试验重复3次取平均值,数据处理和分析采用SPSS 19.0、Origin 9.0及SigmaPlot 12.5软件。

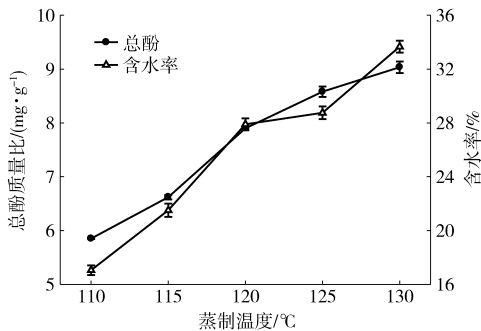


图1 蒸制温度对黑蒜品质的影响

Fig. 1 Effect of steaming temperature on black garlic quality

的蒸制温度。从图1可以看出,蒸制温度125 $^{\circ}\text{C}$ 时,由于压力和高温的协同作用,大蒜中的多聚糖逐渐分解为单糖、双糖,部分还原糖的—OH被氧化为有机酸的—COOH<sup>[19]</sup>,赋予黑蒜酸甜口感。

### 2.1.2 蒸制时间

热敏性果蔬具有多孔、向异性细胞结构<sup>[20]</sup>,含水率高。如图2所示,在蒸制时间为40 min时,得到的黑蒜成品含水率高达47.81%,这是由于蒸制时间较短,大蒜细胞尚未完全死亡,具有一定的持水性<sup>[21]</sup>。蒸制时间60 min时,大蒜细胞破碎,部分结合水暴露,在烘制时水分散失较快,含水率达到最低

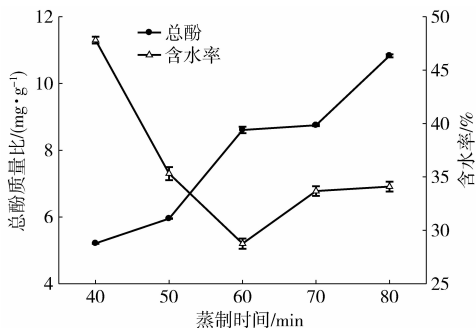


图2 蒸制时间对黑蒜品质的影响

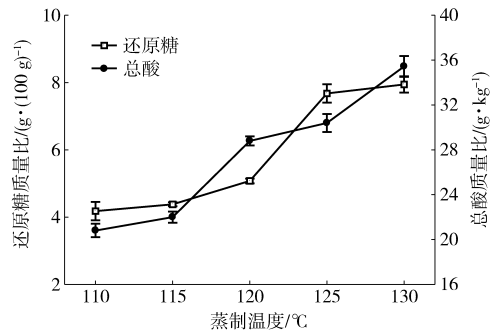
Fig. 2 Effect of steaming time on black garlic quality

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验

#### 2.1.1 蒸制温度

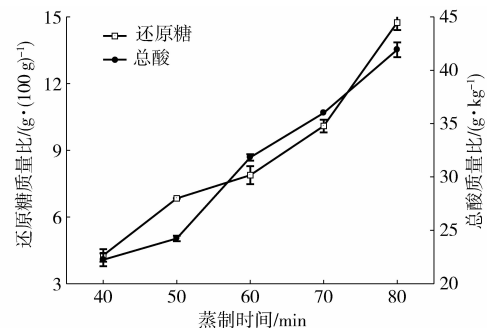
酚类物质是黑蒜中的重要功能性成分之一,总酚含量很大程度上反映了黑蒜的功能作用<sup>[17]</sup>。含水率与黑蒜的形态、口感关系紧密。从图1可以看出,随着蒸制温度的升高,总酚质量比几乎呈线性增加趋势,这可能是因为蒸制温度越高,压力越大,在压力和高温协同作用下,大蒜中其它化合物可以转化成多酚类物质<sup>[18]</sup>。同时,压力的升高破坏了大蒜的组织结构,疏松多孔的形态使水分子更易进入蒜中,因此,蒸制温度越高,含水率越大。含水率过高,黑蒜质地软烂,影响口感且不易储存;含水率过低,黑蒜干硬,咀嚼性差。综合考虑,125 $^{\circ}\text{C}$ 是较为适宜



值28.76%。而后随着蒸制时间的延长,更多的水分子进入到大蒜组织中,得到的成品黑蒜中含水率也略有提升。结合图2可以发现,总酚质量比、总酸质量比和还原糖质量比随着蒸制时间的延长而增加,在60 min时即可达到较高水平。综合考虑黑蒜的口感、质地和组织状态等因素以及生产成本,选择60 min为最适宜的蒸制时间。

#### 2.1.3 烘制温度

物料的干燥过程常伴有依赖水分发生的生物、物理、化学反应<sup>[22]</sup>。还原糖和总酸含量直接影响黑蒜的口感和褐变程度。从图3可以看出,随



着烘制温度的升高,还原糖和总酸的质量比均呈现出先增加后减小的趋势。这可能是因为高温既有利于大蒜中多糖的分解,生成更多的还原糖,也会加快美拉德反应进程<sup>[23]</sup>,还可促进还原糖的—OH被氧化为有机酸的—COOH<sup>[19]</sup>。烘制温度低于90℃时,多糖分解速度大于美拉德反应速度,还原糖质量比高于总酸质量比,之后随着烘制温度

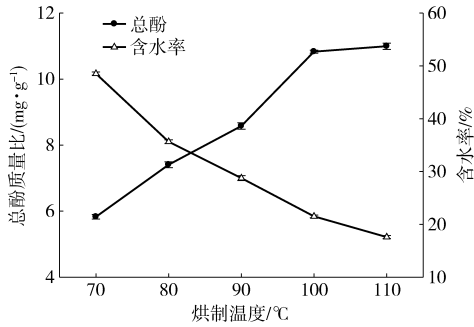


图3 烘制温度对黑蒜品质的影响

Fig. 3 Effect of roasting temperature on black garlic quality

#### 2.1.4 烘制时间

食品物料在干燥过程中,一般先经历恒速干燥阶段而后进入降速干燥阶段。图4中随着烘制时间的增加,黑蒜的含水率先缓慢减小而后急速下降,总酚质量比则呈现逐渐增加的趋势。乙酸、甲酸、琥珀酸、羟基丙酸等物质在鲜蒜中不存在,但随加工时间延长逐渐形成与积累<sup>[24]</sup>。由图4可以看出,黑蒜中

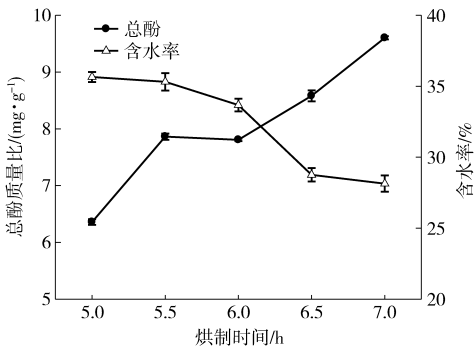


图4 烘制时间对黑蒜品质的影响

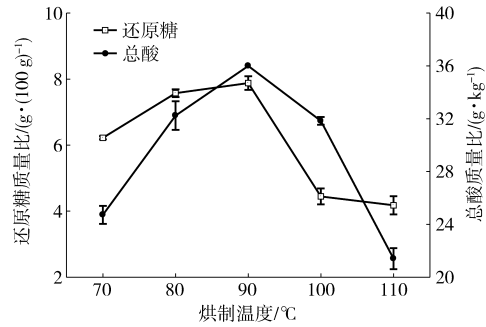
Fig. 4 Effect of roasting time on black garlic quality

## 2.2 黑蒜制备最佳工艺

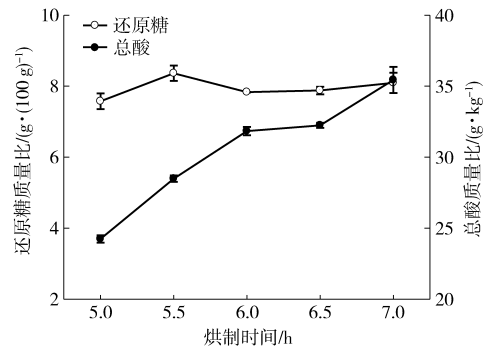
在单因素试验的基础上,选取蒸制温度、蒸制时间、烘制温度、烘制时间4个因素,每个因素取3个水平,选用 $L_9(3^4)$ 正交试验表,以总酚质量比为指标,确定黑蒜最佳制备工艺。

由表2直观分析结果可以看出,极差 $R$ 反映出4种因素对黑蒜总酚质量比影响从大到小依次为:烘制温度、蒸制时间、蒸制温度、烘制时间。从正交试验的9组结果来看,5号试验组的总酚质量比最高,其工艺为:蒸制温度125℃、蒸制时间60 min、烘

的升高,美拉德反应速度加快,同时还有一部分还原糖被氧化为有机酸,还原糖质量比迅速降低。因此,烘制温度90℃时,黑蒜中还原糖和总酸的质量比最高,有利于其酸甜口感的形成和类黑素的积累。图3中,90℃时黑蒜的含水率和总酚质量比分别为29.18%和8.58 mg/g,此时黑蒜的感官形态最佳。



的总酸质量比随烘制时间的延长不断增加,由此可以推测烘制过程是酸类物质生成的重要阶段。而还原糖的质量比只略有降低,可能是因为在烘制过程中,多糖的分解与美拉德反应同步进行,对还原糖质量比变化影响不大,仅小部分还原糖发生氧化反应生成有机酸。综合考虑烘制时间对总酚、含水率、总酸和还原糖4个因素的影响,确定7.0 h为最佳烘制时间。



制温度95℃、烘制时间6.5 h,制得的黑蒜中总酚质量比为11.04 mg/g;从正交试验结果分析来看,最佳工艺组合为 $A_3B_3C_3D_1$ ,即蒸制温度127℃、蒸制时间70 min、烘制温度95℃、烘制时间6.5 h。由于9组正交试验中没有最佳组合试验,因此需要进行最佳组合的验证试验,经过验证试验测得黑蒜总酚质量比为11.15 mg/g,含水率为27.41%,还原糖和总酸质量比分别为7.87 g/(100 g)和36.09 g/kg,表明正交试验结果正确,此方案为黑蒜制备最佳工艺。

表2 黑蒜制备正交试验设计与结果

Tab.2 Orthogonal experiment design and results for preparation of black garlic

试验序号	蒸制温度	蒸制时间	烘制温度	烘制时间	总酚质量比/ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )
1	1	1	1	1	8.28
2	1	2	2	2	9.92
3	1	3	3	3	10.49
4	2	1	2	3	9.43
5	2	2	3	1	11.04
6	2	3	1	2	10.08
7	3	1	3	2	10.31
8	3	2	1	3	9.78
9	3	3	2	1	11.01
$K_1$	28.689	28.020	28.140	30.330	
$K_2$	30.549	30.741	30.360	30.309	
$K_3$	31.080	31.581	31.839	29.700	
$k_1$	9.563	9.340	9.380	10.110	
$k_2$	10.183	10.247	10.120	10.103	
$k_3$	10.367	10.527	10.613	9.900	
$R$	0.804	1.187	1.233	0.210	

将所得数据进行方差分析,由于烘制时间  $R$  值最小,可以合并为误差项。由表3的方差分析结果可知,蒸制时间和烘制温度对黑蒜总酚含量有显著影响( $p < 0.05$ ),蒸制温度和烘制时间对黑蒜总酚含量影响不显著,与直观分析结果一致。

表3 黑蒜制备正交试验数据方差分析

Tab.3 Variance analysis of orthogonal experiment for preparation of black garlic

变异来源	偏差平方和	自由度	均方	$F$ 值	显著性
蒸制温度	1.063	2	0.531 5	12.506	
蒸制时间	2.309	2	1.154 5	27.165	*
烘制温度	2.312	2	1.156 0	27.200	*
烘制时间	0.095	2	0.047 5		
误差	0.090	2			
总和	5.779				

注: \* 表示差异显著。

## 2.3 抗氧化性

物质的还原能力通常被认为与其抗氧化能力密切相关<sup>[25]</sup>。按1.6节的方法在700 nm处测定黑蒜乙醇提取液的还原能力,以维生素C做阳性对照,吸光度越大,表示还原能力越强。如图5所示,在0.06~0.18 mg/mL质量浓度范围内,黑蒜和维生素C的还原能力均随着质量浓度的增加而增强,呈显著的量效关系,且黑蒜的还原能力始终高于维生素C,均在维生素C的1.4倍以上。由此可以看出该工艺制备的黑蒜具有很强的还原能力。

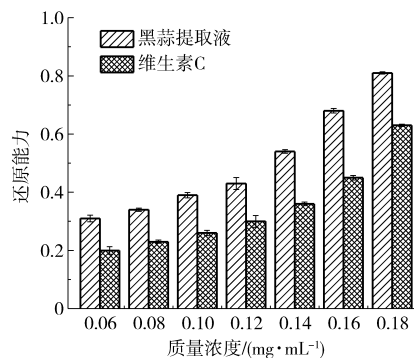


图5 黑蒜对铁离子的还原力

Fig.5 Ferric ion reducing capacity of garlic

## 3 结束语

以总酚质量比、含水率、总酸质量比和还原糖质量比4个指标为依据,对影响黑蒜制备工艺的4个因素(蒸制温度、蒸制时间、烘制温度和烘制时间)进行单因素分析,并以总酚质量比为指标设计正交试验,得出在蒸制温度127℃、蒸制时间70 min、烘制温度95℃、烘制时间6.5 h时制得的黑蒜总酚质量比最高,且在此工艺条件下制得的黑蒜含水率为27.41%,还原糖和总酸质量比为7.87 g/(100 g)和36.09 g/kg。研究了黑蒜的抗氧化活性,结果表明:在0.06~0.18 mg/mL质量浓度范围内,黑蒜的还原能力高于维生素C。

## 参 考 文 献

- CHEN Y C, KAO T H, TSENG C Y, et al. Methanolic extract of black garlic ameliorates diet-induced obesity via regulating adipogenesis, adipokine biosynthesis, and lipolysis[J]. Journal of Functional Foods, 2014,9: 98-108.
- TSAI C W, CHEN H W, SHEEN L Y, et al. Garlic: health benefits and actions[J]. Biomedicine, 2012, 2(1): 17-29.
- KOLAGASI O, SARI F, AKAR M. Normal pregnancy and healthy child after continued exposure to gliclazide and ramipril during pregnancy[J]. Annals of Pharmacotherapy, 2009, 43(1): 147-149.
- TOLEDANO-MEDINA M A, PEREZ-APARICIO J, MORENO-ROJAS R, et al. Evolution of some physicochemical and antioxidant properties of black garlic whole bulbs and peeled cloves[J]. Food Chemistry, 2016, 199: 135-139.
- KIM S H, JUNG E Y, KANG D H, et al. Physical stability, antioxidative properties, and photoprotective effects of a functionalized formulation containing black garlic extract [J]. Journal of Photochemistry and Photobiology Biology, 2012, 117(48): 104-110.
- 马丽娜,李峰杰,陈坚,等.大蒜主要活性成分及药理作用研究进展[J].中国药理学通报,2014,30(6):760-763.  
MA Li'na, LI Fengjie, CHEN Jian, et al. Research advances in garlic's main active ingredients and their pharmacological effects

- [J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2014, 30(6): 760-763. (in Chinese)
- 7 BAE S E, CHO S Y, WON Y D, et al. Changes in S-allyl cysteine contents and physicochemical properties of black garlic during heat treatment [J]. Food Science and Technology, 2014, 55(1): 397-402.
- 8 周广勇, 缪冶炼, 陈介余, 等. 黑大蒜贮藏中主要成分和自由基清除能力的变化[J]. 中国食品学报, 2010, 10(6): 64-71. ZHOU Guangyong, MIAO Yelian, CHEN Jieyu, et al. Changes in the main components and free radical scavenging ability of black garlic during storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science & Technology, 2010, 10(6): 64-71. (in Chinese)
- 9 SATO E, KOHNO M, HAMANO H, et al. Increased anti-oxidative potency of garlic by spontaneous short-term fermentation[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2007, 61(4): 157-160.
- 10 王海粟, 吴昊, 杨绍兰, 等. 不同工艺黑蒜的品质比较分析[J]. 现代食品科技, 2014, 30(7): 230-236, 257. WANG Haisu, WU Hao, YANG Shaolan, et al. Quality characteristics of black garlic with different processing procedures[J]. Modern Food Science & Technology, 2014, 30(7): 230-236, 257. (in Chinese)
- 11 安东. 黑蒜加工工艺的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011. AN Dong. Studies on the processing technology of black garlic [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- 12 罗仓学, 苏东霞, 陈树雨. 液态黑蒜发酵工艺优化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(18): 292-297. LUO Cangxue, SU Dongxia, CHEN Shuyu. Optimization of liquid-fermentation technology for black garlic [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(18): 292-297. (in Chinese)
- 13 赵岩, 张雪伦, 唐国胜, 等. 非发酵黑蒜的制备及其质量评价[J]. 食品科技, 2014, 39(8): 91-95. ZHAO Yan, ZHANG Xuelun, TANG Guosheng, et al. Preparation and quality evaluation of non-fermented black garlic [J]. Food Science & Technology, 2014, 39(8): 91-95. (in Chinese)
- 14 SONG X H, LIU S Q, LIU Y Y, et al. Technology optimization for microwave-assisted extraction of polyphenols from black garlic [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2012, 44(5): 110-113.
- 15 柳珊, 吴树彪, 张万钦, 等. 白腐真菌预处理对玉米秸秆厌氧发酵产甲烷影响实验[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊2): 124-129. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=2013s224&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2013s224&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.024. LIU Shan, WU Shubiao, ZHANG Wanqin, et al. Effect of white-rot fungi pretreatment on methane production from anaerobic digestion of corn stover [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 2): 124-129. (in Chinese)
- 16 马承慧, 王群, 刘牧. 3种松科植物松针多酚的体外抗氧化活性评价[J]. 西南农业学报, 2016, 29(5): 1063-1067. MA Chenghui, WANG Qun, LIU Mu. Evaluation of antioxidant activity of pine polyphenols from three pinaceae species in vitro [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2016, 29(5): 1063-1067. (in Chinese)
- 17 LI N Y, LU X M, HOU B P, et al. Effect of freezing pretreatment on the processing time and quality of black garlic [J]. Journal of Food Process Engineering, 2015, 38(4): 329-335.
- 18 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 & Technology, 2006, 38(3): 331-336.
- 19 石杰, 姬妍茹, 刘宇峰, 等. 黑蒜加工过程中风味物质的变化研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(1): 48-51. SHI Jie, JI Yanru, LIU Yufeng, et al. Study on changes of flavor substances during processing of black garlic [J]. China Condiment, 2015, 40(1): 48-51. (in Chinese)
- 20 DATTA A K. Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. II: property data and representative results [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(1): 96-110.
- 21 陈子兴, 许明娇, 黄雪松. 加工工艺因素对黑蒜营养素与功效成分的影响[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(1): 35-39. CHEN Zixing, XU Mingjiao, HUANG Xuesong. Effects of processing parameters on nutrient and functional components of black garlic [J]. Food and Nutrition in China, 2016, 22(1): 35-39. (in Chinese)
- 22 MAJSV Boekel. Kinetic modeling of food quality: a critical review [J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2008, 7(1): 144-158.
- 23 徐建国, 徐刚, 张绪坤, 等. 利用核磁共振成像技术分析胡萝卜干燥过程中内部水分传递[J]. 农业工程学报, 2013, 29(12): 271-276. XU Jianguo, XU Gang, ZHANG Xukun, et al. Moisture transport in carrot during hot air drying using magnetic resonance imaging [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(12): 271-276. (in Chinese)
- 24 KIM J S, KANG O J, GWEON O C. Comparison of phenolic acids and flavonoids in black garlic at different thermal processing step [J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(1): 80-86.
- 25 钟成, 徐国娟, 吴晓英, 等. 保压时间对黑蒜部分营养成分和抗氧化作用的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(3): 49-52, 136. ZHONG Cheng, XU Guojuan, WU Xiaoying, et al. Effect of dwell time on partial nutrients and antioxidant capacity of black garlic [J]. Modern Food Science & Technology, 2014, 30(3): 49-52, 136. (in Chinese)