

DOI: 10. 14188/j. ajsh. 2020. 02. 014

糖化变温的不同处理对黑蒜品质的影响

李超峰, 沈银涵, 吴雯雯, 唐伯平*, 王靖雯, 雷晓萌

(盐城师范学院 江苏省盐土生物资源研究重点实验室/江苏省滩涂生物资源与环境保护重点实验室/江苏滩涂生物农业协同创新中心, 江苏 盐城 224007)

摘要: 以大蒜为原料, 在高温高湿环境下, 采用由 5% 食盐水浸泡 6 h, -80 °C 冷冻 6 h, 45 °C 恒湿酶活 1 d, 恒湿变温糖化, 45 °C 干燥 5 d 等工艺过程组成的黑蒜加工新工艺, 以感官评价与理化指标检测相结合的方法, 开展了黑蒜加工糖化变温的不同处理条件对黑蒜色泽、气味、口感、还原糖、总酚和还原力的影响研究。结果表明: 糖化变温参数变温前 80 °C 4 d, 变温后 65 °C 1 d 为最佳。所加工的黑蒜为黑褐色, 无辛辣味、酸甜适口, 软糯有弹性; 总糖、还原糖和总酚含量分别为 69.06%、32.14% 和 0.67%, 且具有较好还原力。

关键词: 黑蒜; 糖化变温; 感官评价; 总糖; 还原糖; 总酚

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 2096-3491(2020)02-0254-08

Effect of temperature change in saccharifying on the quality of black garlic

LI Chaofeng, SHEN Yinhan, WU Wenwen, TANG Boping*, WANG Jingwen, LEI Xiaomeng

(Jiangsu Key Laboratory for Bioresources of Saline Soils / Jiangsu Provincial Key Laboratory of Coastal Wetland Bioresources and Environmental Protection / Jiangsu Synthetic Innovation Center for Coastal Bio-agriculture, Yancheng Teachers University, Yancheng 224007, Jiangsu, China)

Abstract: In hot and humid environment, the garlic was processed with a new technology. The garlic was immersed in 5% salt water for 6 h, frozen at -80 °C for 6 h, activated in constant humidity at 45 °C for 1 d, saccharified under constant humidity and variable temperature, then dried at 45 °C for 5 d, after which the black garlic was produced. The effect of temperature change in the saccharifying step was evaluated with the color, odor, taste, reducing sugar, total phenol and reducing power of the black garlic by sense organ criterion combined with physical-chemical index. The results showed that 80 °C during 4 d and 65 °C during 1 d was the optimal setting in the saccharifying process. The black garlic produced is dark brown, without spicy taste, soft, elastic and has a taste of sweet and sour. The content of total sugar, reducing sugar and total phenolic in the black garlic produced are 69.06%, 32.14% and 0.67%, respectively and strong reducing power was also detected.

Key words: black garlic; saccharifying at variable temperature; sensory evaluation; total sugar, reducing sugar; total phenolic

0 引言

大蒜作为人们生活中最重要的调味品, 不仅含

有氨基酸、维生素、糖类和微量元素, 还含有蒜氨酸、蒜酶, 以及被破坏后生成的大蒜素等含硫化合物^[1]。研究证明, 大蒜具有极高的杀菌、抗感染、抗

收稿日期: 2019-10-05 修回日期: 2019-12-04 接受日期: 2020-03-09

作者简介: 李超峰(1979-), 女, 博士, 副研究员, 主要从事生物资源的开发和利用研究。E-mail: lisansan@yeah.net

* 通讯联系人: 唐伯平(1964-), 男, 博士, 教授, 主要从事沿海生物多样性及其生物资源的综合利用研究。E-mail: boptang@163.com

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK20150422)

引用格式: 李超峰, 沈银涵, 吴雯雯, 等. 糖化变温的不同处理对黑蒜品质的影响[J]. 生物资源, 2020, 42(2): 254-261.

Li C F, Shen Y H, Wu W W, *et al.* Effect of temperature change in saccharifying on the quality of black garlic [J]. Biotic Resources, 2020, 42(2): 254-261.

肿瘤、抗冠心病、抗血栓形成、抗氧化等多种生物活性^[2]。然而,大蒜鲜食时会引起口舌灼痛,产生令人生厌的蒜臭味;大量食用则会减少胃液分泌,引起肠胃不适,甚至会对胃黏膜等人体多个部位造成不同程度的伤害;长期食用则会严重损伤人体的眼睛和肝脏。因此,要想实现大蒜产业的发展,就要实现鲜大蒜相关的高值化产品的综合开发与利用^[3]。

黑蒜又叫做黑大蒜,是用新鲜带皮的大蒜依次经过酶化、熟化和干燥等过程制得^[4]。在高温和/或高湿加工过程中,大蒜蒜瓣组织和结构被破坏,大分子物质发生降解,羰基化合物和氨基化合物在生物酶的作用下发生美拉德反应,焦糖化反应、Vc氧化分解等^[5]。另外,在高温高湿环境下,蒜氨酸酶活性下降,大蒜素二硫键发生分解,生成大蒜烯^[6];果聚糖等主要碳水化合物降解为果糖^[7]。因此,通过高温高湿环境加工形成的黑蒜不仅质地柔软,口感酸甜,而且不再含有辛辣味、蒜臭味,无强烈的刺激性^[8]。同时,加工过程也使大蒜的水分大量降低,糖类、总酚、维生素和氨基酸等含量明显增加,产生新大蒜所没有的类黑精等物质,以增强其防癌、抗疲劳、降血压、降血脂、降血糖、免疫调节、改善便秘和失眠症状等保健功能^[5,9]。因此,将大蒜加工成黑蒜,不仅可以改善其品质,而且还可提高附加值,使其具有更加广阔的市场前景和经济价值。

传统黑蒜发酵工艺往往只采用高温高湿工艺进行发酵,发酵时间长(一般为60~90 d),生产成本较高,产品周期较长。随着工艺流程和相关技术的优化,安东采用三段式变温发酵法制备黑蒜,发酵时长为22~30 d,但生产成本仍较高^[10];罗仓学等^[11]采用真空包封破碎蒜瓣进行液态发酵,时长大大缩短为16~19 d,但工艺条件苛刻严格,且十分繁琐。王海栗等^[12]采用-18℃低温冷冻预处理结合变温发酵制备黑蒜,发酵时长仅15 d,使得发酵时间进一步缩短,且感官和营养品质均优于市售传统发酵黑蒜。在黑蒜加工中,糖化阶段是大蒜蜕变为黑蒜的关键之一,然而,该阶段的感官评价和理化指标的营养评价与糖化温度之间的关系甚少有研究报告,因此,本试验预通过对影响黑蒜品质的关键阶段(即变温糖化阶段)的加工温度进行优化实验研究,并以感官评价和理化指标进行比较评价,旨在积累基础性资料,为黑蒜高效加工及开发利用提供一定参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 原料

鲜大蒜和食盐均购于盐城市亭湖区阳光小区菜市场,且鲜大蒜为多瓣蒜头。

1.1.2 实验仪器和主要试剂

实验仪器:电子天平(ML204T,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司)、纯水机(ZEALPURE Classic15UVF,上海泽权仪器设备有限公司)、立式超低温冰箱(MDF-U73V,日本三洋电机株式会社)、超声波清洗器(KH7200DB,昆山禾创超声仪器有限公司)、电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9023A,太仓精宏仪器设备有限公司)、高速冷冻离心机(AVANTIJ-15R,美国贝克曼库尔特公司)、恒温水浴锅(HH-4,金坛市盛蓝仪器制造有限公司)、气流烘干器(BKH-C,郑州长城科工贸有限公司)、真空泵(SHB-Ⅲ,郑州长城科工贸有限公司)、移液枪(1 000、200、100 μ L,大龙兴创实验仪器有限公司)和紫外分光光度计(Evolution 300, Thermo Scientific)。

主要试剂:没食子酸(邻苯三酚)、苯酚、三氯乙酸、1,10-菲啰啉、3,5-二硝基水杨酸、葡萄糖、无水 Na_2CO_3 、 NaH_2PO_4 、 Na_2HPO_4 、 FeCl_3 、 FeSO_4 、 NaOH 、 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 、(国药集团化学试剂有限公司),丙三醇、浓 H_2SO_4 、浓 HCl 、30% H_2O_2 (西陇化工股份有限公司),无水福林酚(南京奥多福尼生物科技有限公司)、无水酒精(上海聚泰特种试剂有限公司)和三羟甲基氨基甲烷(上海蓝季科技发展有限公司)。

1.1.3 黑蒜加工糖化变温实验不同工艺参数的设置

①黑蒜加工的新工艺流程。挑选个头均匀的大蒜,去除蒂和表皮(留1~2层),彻底清洗后,用5%食盐水充分浸泡6 h,捞出并放置-80℃冷冻室冰冻6 h,取出立即置于恒温恒湿实验箱于45℃进行大蒜体内生物酶的活化1 d,然后,在恒湿条件下,进行变温糖化处理,继而在鼓风干燥箱于45℃干燥5 d,最终形成黑蒜成品。

②黑蒜加工恒湿变温糖化处理实验组工序参数的设置。具体见表1。

1.2 方法

1.2.1 感官评价

邀请15位味觉正常的人对不同方案加工黑蒜的色泽、蒜味、口感进行评分,评分标准如表2所示。

颜色评价:置一张A4纸在平整实验桌上,然后

表1 黑蒜加工恒温变温糖化处理实验组工序参数
Table 1 The parameter of saccharification temperature and duration in black garlic

序号	变温前		变温后	
	温度/℃	时长/d	温度/℃	时长/d
1	70	4	65	1
2	75	4	65	1
3	80	4	65	1
4	85	4	65	1
5	90	4	65	1
6	80	4	55	1
7	80	4	60	1
8	80	4	65	1
9	80	4	70	1
10	80	4	75	1

表2 黑蒜品质感官评价标准表
Table 2 Sensory evaluation standard of black garlic

指标	90~100分	80~89分	70~79分	60~69分	0~59分
颜色	深褐趋黑	深褐色	褐色	浅褐色	褐色以下
蒜味	几乎无蒜味	淡蒜味	较淡蒜味	有蒜味	蒜味较大
口感	优	良	中	较差	差

将不同处理的黑蒜整齐地放在纸上,样品上方仅保持一个日光灯照明,在距离黑蒜大约50 cm处仔细观察黑蒜颜色,对比差异,记录结果。

蒜味评价:将不同处理的黑蒜分别置于不同密封玻璃瓶,每隔1 h,用手扇动瓶口空气,使味道散出,对比蒜味浓淡,并记录结果。

口感评价:取成品黑蒜1瓣,仔细咀嚼1 min,对比差异,然后记录结果。为了避免影响实验结果,每次品尝后需使用漱口水清口,然后等待1 min,再对下一个处理黑蒜成品评分。

1.2.2 总糖含量测定

黑蒜总糖含量采用苯酚-硫酸法测定^[13]。黑蒜各取10 g,按1:9(*m/V*)加入90 mL蒸馏水,充分研磨,并将其于20℃超声处理30 min后,以6 000 r/min离心15 min,取上清液,待用。分别取不同黑蒜提取液2.0 mL,依次加入6%苯酚溶液1.0 mL、浓硫酸5.0 mL,混匀,室温静置30 min,于490 nm处测定吸光值。

1.2.3 还原性糖含量测定

黑蒜还原性糖含量采用3,5-二硝基水杨酸(DNS)法测定^[14]。黑蒜各取10 g,按1:9(*m/V*)加入90 mL蒸馏水,充分研磨,并将其于20℃超声处理30 min后,以6 000 r/min离心15 min,取上清液。

分别将不同加工的黑蒜提取液稀释30倍,取3 mL于试管中,加入7 mL DNS溶液,于90℃水浴加热5 min并迅速冷却,加蒸馏水至溶液为25 mL,摇匀,静置20 min,于530 nm处测定吸光值。

1.2.4 总酚含量测定

黑蒜总酚含量采用Folin-Ciocalteu法测定^[15,16]。黑蒜各取10 g,按1:9(*m/V*)加入90 mL蒸馏水,充分研磨,并将其于20℃超声处理30 min后,以6 000 r/min离心15 min,取上清液。分别将不同加工的黑蒜提取液稀释10倍,取5 mL于试管中,加入5 mL福林酚溶液,摇匀,再加5 mL 10% Na₂CO₃溶液并摇匀,在室温下静置1 h使其显色,于700 nm处测定吸光值。

1.2.5 还原力

参照Oyaizu^[17]方法测定。具体步骤如下:黑蒜各取10 g,按1:9(*m/V*)加入90 mL蒸馏水,充分研磨,并将其于20℃超声处理30 min后,以6 000 r/min离心15 min,取上清液。分别将不同加工处理的黑蒜提取液稀释10倍,取1.5 mL溶液于试管中,依次加入1%K₃[Fe(CN)₆]2.5 mL,0.2 mol/L磷酸钠缓冲液(pH值6.6)2.5 mL,于50℃水浴加热20 min,取出、冷却并加10%三氯乙酸溶液2.5 mL和0.1% FeCl₃溶液0.5 mL,充分震荡,以蒸馏水为空白对照,于700 nm处测定吸光值。

1.2.6 数据统计分析

数据为3次平行试验结果平均值,以平均值±标准偏差的形式表示。数据处理使用Excel和SPSS统计分析软件。数据的差异性由SPSS分析。

2 结果分析

2.1 糖化变温的不同处理对黑蒜感官的影响

2.1.1 糖化变温的不同处理对黑蒜色泽的影响

色泽改变是鲜大蒜加工为黑蒜过程中的最直观的评价指标之一,其色泽的优劣对于黑蒜成品也具有显著的影响,因此,色泽是评价黑蒜品质的主要的因素之一。糖化变温的不同处理对黑蒜色泽的影响结果见图1,可以看出,在高温高湿环境下,糖化温度(包括变温前后两个阶段)变化对黑蒜色泽存在显著的影响($P<0.05$),且随着糖化温度的逐渐升高,色泽逐渐加深,由非褐色逐渐变为黑褐色。变温前处理,方案5的色泽最佳;变温后处理,方案10的色泽最佳;因此,经由酶活化阶段进入糖化阶段后,鲜大蒜色泽随着温度变化逐渐发生改变,且与糖化温度变化密切相关。

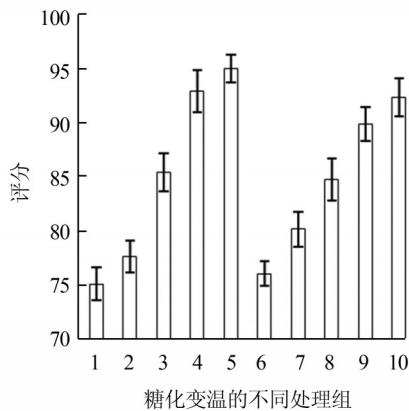


图1 糖化变温的不同处理对黑蒜色泽的影响

Fig. 1 Effect of variable temperature of saccharifying on the color of black garlic

2.1.2 糖化变温的不同处理对黑蒜气味的影响

气味是制约鲜大蒜消费的最主要因素之一,如何消除鲜大蒜辛辣、酸臭味等缺陷已经成为促进大蒜消费的一个关键因素,因此,气味为黑蒜过程中的最关键评价指标之一,气味的优劣对黑蒜成品具有非常显著的影响,因此,气味也是评价黑蒜品质的一个主要因素。糖化变温的不同处理对黑蒜气味的影响结果见图2,由图可见,在高温高湿环境下,糖化温度(包括变温前后两个阶段)变化对黑蒜气味存在显著的影响($P<0.05$),且随着糖化温度的逐渐升高,鲜大蒜的辛辣味和蒜臭味逐渐降低,直至消失。变温前处理,方案4的气味可接受度最高;变温后处理,方案10的气味可接受度最佳;因此,经由酶活化阶段进入糖化阶段后,黑蒜气味的改变与糖化温度变化密切相关。

2.1.3 糖化变温的不同处理对黑蒜口感的影响

黑蒜的口感,包括弹性、韧性和质地等,是生大

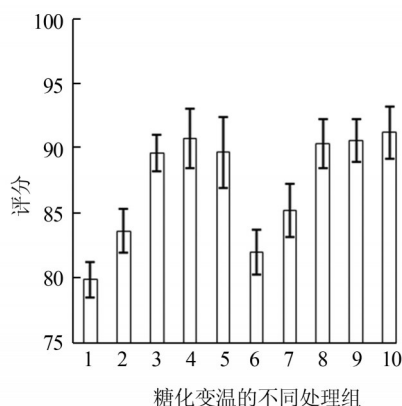


图2 糖化变温的不同处理对黑蒜气味的影响

Fig. 2 Effect of variable temperature of saccharifying on the scent of black garlic

蒜加工为黑蒜过程中的味觉评价指标,口感的优劣对于黑蒜品质具有显著的影响,因此,黑蒜口感也是评价黑蒜品质的主要的因素之一。糖化变温的不同处理对黑蒜口感的影响结果见图3,由图可以看出,在高温高湿环境下,糖化温度变化对黑蒜口感存在显著影响($P<0.05$),且随着糖化温度的提高,黑蒜质地由硬、粗糙、需咀嚼,逐渐变软变糯、细腻、无需咀嚼,甚至黑蒜蒜瓣软烂且含水量丰富无甜味。变温前处理,方案3的口感最佳;变温后处理,方案8的口感最佳;因此,黑蒜的口感逐渐发生改变与糖化温度变化密切相关。

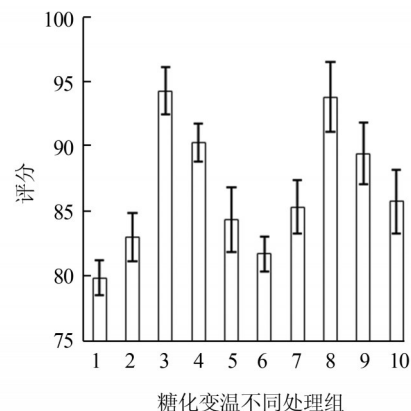


图3 糖化变温的不同处理对黑蒜口感的影响

Fig. 3 Effect of variable temperature of saccharifying on the taste of black garlic

2.2 糖化变温的不同处理对黑蒜理化指标的影响

2.2.1 糖化变温的不同处理对黑蒜总糖含量的影响

为了更易于被大众所接受,黑蒜的质地、气味和口感显然是其品质评价的重要评价指标,但是黑蒜总糖、还原糖和总酚含量,以及还原力的评价则是使黑蒜成为功能性产品的最重要的几个评价指标。因此,总糖含量将是评价黑蒜品质的首要指标之一。糖化变温的不同处理对黑蒜总糖含量的影响结果见图4。从图中可以看出该变温过程中糖化温度的改变对黑蒜总糖含量存在显著的影响($P<0.05$)。其中,糖化阶段由高温80℃降低至60℃时,100g黑蒜固重中总糖含量最高,为69.06g;而温度由高温70℃降低至65℃时,100g黑蒜固重中黑蒜总糖含量最低,仅24.56g。因此,黑蒜总糖含量的积累与变温糖化阶段的温度转化密切相关,且80℃/60℃的变温糖化阶段处理能使总糖含量积累更多。

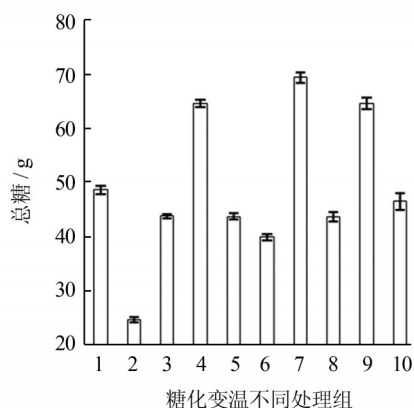


图4 糖化变温的不同处理对黑蒜总糖含量的影响

Fig. 4 Effect of variable temperature of saccharifying on the total sugar of black garlic

2.2.2 糖化变温的不同处理对黑蒜还原糖含量的影响

黑蒜黑变主要源于美拉德反应,且该反应的重要底物为还原糖^[11],因此,还原糖含量不仅影响着产品黑变的速度,而且还影响产品的口感。较高的还原糖含量既有利于黑色素的形成,还可赋予黑蒜圆润清甜的口感^[18]。糖化变温的不同处理对黑蒜还原糖含量影响见图5。由图可见,不同糖化温度组对黑蒜还原糖含量存在显著的影响($P < 0.05$)。其中,以80℃/65℃变温糖化加工处理的黑蒜还原糖含量最高,100 g固重中约含32 g;而以70℃/65℃的变温糖化加工处理的黑蒜还原糖含量最低,100 g固重中仅含11.79 g。因此,在加工过程中,黑蒜还原糖含量的积累与变温糖化阶段的温度转化密切相关,但二者并不存在正或负相关性,即黑蒜还原糖的积累并不完全随着糖化阶段温度的升高而升高或降低,且以80℃/65℃的糖化温度最佳。

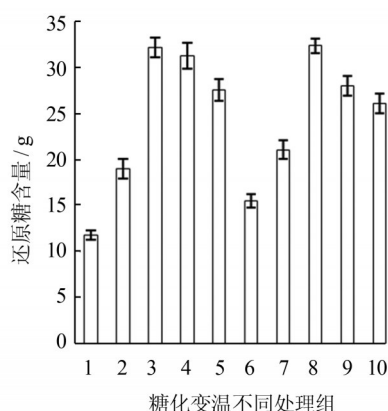


图5 糖化变温的不同处理对黑蒜还原糖含量的影响

Fig. 5 Effect of variable temperature of saccharifying on the reducing sugar content of black garlic

2.2.3 糖化变温的不同处理对黑蒜总酚含量的影响

酚类物质是黑蒜中重要的功能成分及抗氧化物质,也是衡量黑蒜品质的重要指标,总酚含量很大程度上反应了黑蒜的功能型作用^[19,20]。糖化变温的不同处理对黑蒜总酚含量影响见图6。由图可见,不同糖化变温对黑蒜总酚含量影响不同,且变温前阶段充分实现了总酚的积累,而在变温糖化阶段后,总酚的积累降低,甚至随着变温糖化阶段的进行而降低。其中,以85℃/65℃变温糖化处理的黑蒜总酚最高,100 g固重中含0.67 g;90℃/65℃加工的黑蒜次之,为0.63 g;75℃/65℃变温糖化处理的黑蒜总酚最低,仅0.29 g。因此,黑蒜总酚含量的积累与糖化变温前阶段的温度密切相关,且85℃/65℃的变温糖化阶段处理也使其总酚含量积累最多。

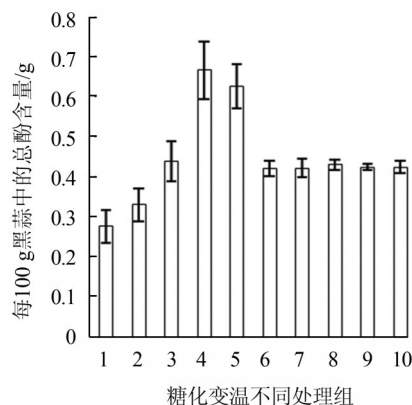


图6 糖化变温的不同处理对黑蒜总酚含量的影响

Fig. 6 Effect of variable temperature of saccharifying of total phenolic content of black garlic

2.2.3 糖化变温的不同处理对黑蒜还原力的影响

物质的还原能力是潜在抗氧化性能的重要体现,还原力越强,抗氧化活性也就越强^[17,21]。如图7所示,糖化变温的不同处理对黑蒜还原力存在极显著的影响($P < 0.01$)。其中,80℃/65℃变温糖化处理的吸光值最高,为1.69,说明变温糖化处理的黑蒜还原力最强;而70℃/65℃的变温糖化的吸光值最小,为0.73。

3 讨论

在高温高湿环境条件下,大蒜经过酶活化、变温糖化和后熟化逐渐转变成黑蒜。经过对变温糖化阶段不同温度系列设置实验比较,确立了80℃4 d和65℃1 d为首选的黑蒜变温糖化生产工艺,该结果与其他研究者采用控湿恒温技术和于蒙娜采用液态发酵技术加工的结果是相似的^[22,23]。与其他生产工艺

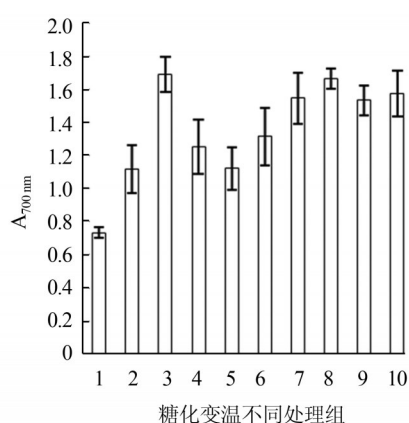


图7 糖化变温的不同处理对黑蒜还原力的影响

Fig. 7 Effect of variable temperature of saccharifying on the reducing power of black garlic

相比,该工艺可使黑蒜的色泽、气味、口感和主要营养成分/理化组成等品质评价指标更优越,且具有加工时间短、黑蒜成熟快、节省能源、降低生生产成本的优势。

经过不同变温糖化加工过程后,黑蒜色泽、气味、口感、总糖、还原糖、总酚含量的积累和还原力都发生了显著差异。温度越高,黑蒜品质形成所需的时间越短;低温和高温皆不利于黑蒜优秀品质的形成^[24],但有利于黑蒜苦味物质减少^[25],因此,与高温短时间预处理/高温相结合、低温冷冻/高温相结合和单一恒湿恒高温等工艺流程相比,超低温冷冻、低温酶激活和变温糖化相结合工艺用时仅约12 d,大幅缩短了加工时长^[24~26]。经过80℃4 d和65℃1 d变温糖化加工黑蒜的理化组成和还原力与Bakri等^[7]和杨庆丽等^[27]的研究结果非常相似,其主要与低温激活的淀粉酶、果聚糖聚合酶等的酶解作用及熟化过程中的热力作用有关,糖化变温中变温前高温使大蒜多聚糖逐渐分解为单糖、双糖和多糖,使黑蒜的甜度逐渐增加^[28]。同时,鲜大蒜经超低温冷冻预处理后瞬间处于变温糖化高温环境中,大蒜的细胞组织、结构被更为有效地破坏,加速了多聚糖的降解,促进了还原糖的生成^[21,29],并且高中温糖化变温处理温度的差异致使多聚糖降解为可溶性糖和/或还原糖的速度不同^[18]。高温有利于加工前期的还原糖积累,后期的低温有利于总酚的累积^[25],然而,随着温度升高,黑蒜还原糖含量不断降低,而总酚含量却先升高后降低,这与黑蒜体内酶的激活和钝化密切相关^[30]。其次,大蒜褐变随冷冻温度的降低而升高,冷冻温度越低,褐变值越高,美拉德反应越快;随着反应时间的延长,大蒜褐变值增高,变温糖化温度越高,褐变速度越快^[31]。本试验经过相同的超低

温冰冻和45℃酶促活化后,糖化阶段变温前和变温后处理随着温度的升高,总糖基本呈现先升高后降低的趋势,而还原糖含量积累相同变化确实更明显,推断认为高温处理对经过超低温冰冻理和4℃酶促活化的大蒜多糖分解更有利,生成还原糖的效率更高,也会加快美拉德反应进程^[32],实现黑蒜褐黑色泽的形成,但也促进了还原糖羟基氧化为有机酸^[33],从而降低还原糖的积累。此外,从口感感官表现上,当温度超过一定范围,如80℃和65℃,同样的处理时长条件下,黑蒜的甜味降低更多,软烂度增加,即感官评价降低,这与张桂芝等^[34]发现是相似的。

从鲜大蒜到黑蒜的加工是一个复杂的过程,不仅其物质组成发生了较大的转化,而且被赋予了更强烈的生物活性。在变温前糖化阶段,总酚含量随着温度的升高逐渐增加;而变温后糖化阶段,总酚含量基本持平,这可能是因为黑蒜中多酚类物质在受热过程中,大分子物质水解,生成了小分子物质,释放出更多的酚羟基,黑蒜总抗氧化能力增强^[35]。在该加工过程中,伴随着主要化学组成之间的相互转化,黑蒜抗氧化能力随着加工温度的升高,变温前黑蒜总酚含量和还原力呈先升高后降低的趋势;变温后,总酚含量基本持平,还原力则呈先升高后降低的趋势,推断认为还原力在变温前后的糖化过程中不仅仅源于酶解产生的还原性糖类、酚羟基类物质等相关还原性物质,而且也有含巯基硫化物的参与,进而实现了刺激性气味的减少,甚至消失。然而,随着温度的升高,含巯基硫化物逐渐氧化转化为二硫化合物,因此,随着糖化时间的延长,尤其是进入变温后糖化阶段以后,其还原力进一步降低,而酶解产生的还原性酚羟基类物质的积累则实现了还原力的增强。总之,与鲜大蒜相比,总糖、还原糖和总酚等含量的增加大大提高了黑蒜的营养价值,总多酚的增加则赋予了黑蒜抗氧化性、去除自由基和延缓衰老的功能,使黑蒜成为比鲜大蒜更具抗氧化、增强人体免疫力、降血压、预防肿瘤等多种功能的保健食品^[36]。

参考文献

- [1] 刘宇峰,姬妍茹,石杰,等.黑蒜加工过程中主要营养物质的变化规律的研究[J].中国调味品,2014,2014,39(9):52-57.
Liu Y F, Ji Y R, Shi J, *et al.* Study on the change rules of main nutrients in the processing of black garlic [J]. China Condiment, 2014, 39(9): 52-57.
- [2] 雷逢超,郝果,朱黎,等.黑蒜的营养价值及保健作用的研究进展[J].食品工业科技,2012,33(13):429-431.

- Lei F C, Hao G, Zhu L, *et al.* Research progress in the nutritional value and health effects of black garlic [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(13): 429-431.
- [3] 罗海青, 吴磊, 朱翠玲, 等. 黑蒜加工过程中营养组分及挥发性风味物质变化研究[J]. *食品科技*, 2016, 41(7): 104-108.
- Luo H Q, Wu L, Zhu C L, *et al.* The changes of volatile compounds and nutritional compositions of aged black garlic during processing [J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(7): 104-108.
- [4] 黄敏欣, 赵文红, 白卫东, 等. 黑蒜保健功能及加工技术的研究进展[J]. *中国调味品*, 2015, 40(8): 136-140.
- Huang M X, Zhao W H, Bai W D, *et al.* Research progress of health function and processing technology of black garlic [J]. *China Condiment*, 2015, 40(8): 136-140.
- [5] 卜利伟, 邱瑞霞, 黄雪松. 黑蒜中呈色物质 5-羟甲基糠醛的分离鉴定及其生成动力学[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(3): 36-40.
- Bu L W, Qiu R X, Huang X S. Isolation and identification of color material 5-hydroxy methyl furfural from black garlic and its kinetic formation [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2014, 40(3): 36-40.
- [6] 王喜波, 于洁, 张泽宇, 等. 黑蒜非发酵法制备工艺与抗氧化活性研究[J]. *农业机械学报*, 2017, 48(4): 321-326.
- Wang X B, Yu J, Zhang Z Y, *et al.* Non-fermentation process preparation of black garlic and its antioxidant activity [J]. *Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(4): 321-326.
- [7] Bakri I M, Douglas C W I. Inhibitory effect of garlic extract on oral bacteria [J]. *Arch Oral Biol*, 2005, 50(7): 645-651.
- [8] 王剑功, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 黑蒜的制作工艺、营养成分和生物学功能研究进展[J]. *食品工业*, 2015, 36(12): 232-236.
- Wang J G, Hu W Z, Jiang A L, *et al.* Research progress on the processing technology, nutritional compositions and biological function of black garlic [J]. *Food Industry* 2015, 36(12): 232-236.
- [9] Vignoli J A, Bassoli D G, Benassi M T. Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: the influence of processing conditions and raw material [J]. *Food Chem*, 2011, 124(3): 863-868.
- [10] 安东. 黑蒜加工工艺的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- An D. Research on the processing technology of black garlic [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2011.
- [11] 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 C X, Su D X, Chen S Y. Optimization of liquid-fermentation technology for black garlic [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(18): 292-297.
- [12] 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): 230-237.
- Wang H S, Wu H, Yang S L, *et al.* Quality characteristics of black garlic with different processing procedures [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(7): 230-237.
- [13] 王瑜, 张继珑, 景浩. 不同品种和加工工艺制得黑蒜的成分分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(8): 3085-3091.
- Wang Y, Zhang J L, Jing H. Composition analysis of black garlics prepared by different garlic types of and processing technologies [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2016, 7(8): 3085-3091.
- [14] 齐香君, 苟金霞, 韩戎珺, 等. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定溶液中还原糖的研究[J]. *纤维素科学与技术*, 2004, 12(3): 17-19.
- Qi X J, Gou J X, Han W J, *et al.* Study on measuring reducing sugar by DNS reagent [J]. *Journal of Cellulose Science and Technology*, 2004, 12(3): 17-19.
- [15] Spanos G A, Wrolstad R E. Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson seedless grape juice [J]. *J Agric Food Chem*, 1990, 38(7): 1565-1571.
- [16] Peschel W, Sánchez-Rabaneda F, Diekmann W, *et al.* An industrial approach in the search of natural antioxidants from vegetable and fruit wastes [J]. *Food Chem*, 2006, 97(1): 137-150.
- [17] Oyaizu M. Studies on products of browning reaction: antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucose amine [J]. *Jpn J Nutr Diet*, 1986, 44(6): 307-315.
- [18] 姬妍茹, 石杰, 刘宇峰, 等. 黑蒜生产过程中主要营养成分变化分析及工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(5): 360-364.
- Ji Y R, Shi J, Liu Y F, *et al.* Change analysis of main nutritional components in the production process of black garlic and process optimization [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(5): 360-364.
- [19] Pu F, Ren X L, Zhang X P. Phenolic compounds and antioxidant activity in fruits of six *Diospyros kaki* genotypes [J]. *Eur Food Res Technol*, 2013, 237(6): 923-932.

- [20] Li N Y, Lu X M, Pei H B, *et al.* Effect of freezing pre-treatment on the processing time and quality of black garlic [J]. *J Food Process Eng*, 2015, 38(4): 329-335.
- [21] 祝炳俏, 吴海歌, 刘媛媛, 等. 黑蒜抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2008, 29(10): 58-60.
- Zhu B Q, Wu H G, Liu Y Y, *et al.* The antioxidation of black garlic [J]. *Food Research and Development*, 2008, 29(10): 58-60.
- [22] 施炳超. 黑蒜加工过程的湿度控制技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- Shi B C. Research on humidity control technology in black garlic processing [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2019.
- [23] 于蒙娜. 黑蒜液态发酵工艺研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- Yu M N. Black garlic liquid fermentation process [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2019.
- [24] 张新雁. 加工温度对黑蒜品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- Zhang X Y. Effects of temperature on the quality of black garlic [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2016.
- [25] 李宁阳. 黑蒜品质形成规律及抗氧化功能研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- Li N Y. Quality formation and antioxidant activity of black garlic [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2014.
- [26] 房磊. 加工湿度对黑蒜品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- Fang L. Effects of humidity on the quality of black garlic [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2017.
- [27] 杨庆丽, 董艳, 刘玉, 等. 黑蒜加工中类黑精相关成分变化及其组成分析[J]. *中国调味品*, 2018, 43(9): 73-77.
- Yang Q L, Dong Y, Liu Y, *et al.* Changes in the related components of melanoidin in black garlic processing and its composition analysis [J]. *China Condiment*, 2018, 43(9): 73-77.
- [28] Wagner K H, Derkits S, Herr M, *et al.* Antioxidative potential of melanoidins isolated from a roasted glucose-Glycine model [J]. *Food Chem*, 2002, 78(3): 375-382.
- [29] Kim J S, Kang O J, Gweon O C. Changes in the content of fat-and water-soluble vitamins in black garlic at the different thermal processing steps [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2013, 22(1): 283-287.
- [30] 陈炳. 发酵大蒜特征组分的分析及发酵工艺的研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2017.
- Chen B. The research of characteristics components and fermentation process in the fermented garlic [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2017.
- [31] 陈玲. 冷冻和美拉德反应对黑蒜品质的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2018.
- Chen L. Effects of freezing and Maillard reaction on quality of black garlic [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2018.
- [32] 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, 293.
- Xu J G, Xu G, Zhang X K, *et al.* Moisture transport in carrot during hot air drying using magnetic resonance imaging [J]. *Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 29(12): 271-276, 293.
- [33] 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 J, Ji Y R, Liu Y F, *et al.* Study on change of flavor substances during processing of black garlic [J]. *China Condiment*, 2015, 40(1): 48-51.
- [34] 张桂芝, 张延杰, 莫红丽, 等. 黑蒜的研制及其对抗氧化能力的影响[J]. *中国调味品*, 2015, 40(10): 7-10, 29.
- Zhang G Z, Zhang Y J, Mo H L, *et al.* Study on the preparation and antioxidant activity of black garlic [J]. *China Condiment*, 2015, 40(10): 7-10, 29.
- [35] 安东, 李新胜, 马超, 等. 黑蒜成分及功能的研究进展[J]. *中国果菜*, 2014, 34(10): 51-54.
- An D, Li X S, Ma C, *et al.* Progress of composition and function of black garlic [J]. *China Fruit and Vegetable*, 2014, 34(10): 51-54.
- [36] 王玉荣, 曲田丽, 高敏, 等. 黑蒜的简易制备及其抗氧化活性的测定[J]. *食品科技*, 2014, 39(1): 268-271.
- Wang Y R, Qu T L, Gao M, *et al.* The simple preparation and determination of antioxidant activity of black garlic [J]. *Food Science and Technology*, 2014, 39(1): 268-271.

□

(编辑: 梅楠)