

贮藏过程中黑蒜主要理化品质及抗氧化活性变化

刘天雨^{1,2}, 丁彦方^{1,2}, 王丹凤^{1,2}, 邓云^{1,2,3}

(1.上海交通大学 食品科学与工程, 上海 200240; 2.上海交通大学(云南) 大理研究院, 云南 大理 671000; 3.上海食品安全工程技术研究中心, 上海 200240)

摘要: **目的** 研究贮藏温度和时间对黑蒜主要化学成分、质构和抗氧化活性的影响。**方法** 以黑蒜为原料, 在室温和4℃下贮藏180 d, 并定期检测黑蒜的主要组成、质构和抗氧化活性的变化。**结果** 在贮藏180 d后, 黑蒜的总糖、蛋白质和S-烯丙基半胱氨酸含量分别降低了30.9%~33.4%, 16.1%~18.1%, 40%, 而还原糖和硬度分别增加了1.65~1.77倍和4.4倍, DPPH自由基清除能力、ABTS自由基清除能力、亚铁离子螯合能力和还原力分别降低了13.4%~14.3%, 30.3%~33.6%, 30.6%~34.0%, 25.8%~26.6%; 在贮藏期120 d内, 常温下黑蒜的总糖、总蛋白、S-烯丙基半胱氨酸含量显著低于4℃下贮藏的含量($P<0.05$), 贮藏温度对质构和还原力的影响不显著。**结论** 与室温相比, 在4℃下贮藏更有助于保持黑蒜的总糖含量、氨基酸组成、DPPH自由基清除能力和亚铁离子螯合能力。

关键词: 黑蒜; 贮藏; 品质; 抗氧化活性

中图分类号: TS255.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)23-0046-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.23.007

Changes of Major Physiochemical Properties and Antioxidant Activities of Black Garlic during Storage

LIU Tian-yu^{1,2}, DING Yan-fang^{1,2}, WANG Dan-feng^{1,2}, DENG Yun^{1,2,3}

(1.Department of Food Science and Technology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

2.Yunnan Dali Research Institute of Shanghai Jiao Tong University, Yunnan 671000, China;

3.Shanghai Food Safety and Engineering Technology Research Center, Shanghai 200240, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of storage temperature and time on the main chemical constituents, texture and antioxidant activities of black garlic. Black garlic was stored for 180 days at room temperature and 4℃, respectively. The main compositions, texture and antioxidant activities of black garlic were analyzed regularly. During 180 days storage, the contents of total sugar, protein and S-allylcysteine decreased by 30.9%~33.4%, 16.1%~18.1% and 40%, respectively, while the contents of reducing sugar and hardness respectively increased by (1.65~1.77) and 4.4 times. DPPH free radical scavenging ability, ABTS free radical scavenging ability, ferrous ion chelating ability and reducing ability lowered by 13.4%~14.3%, 30.3%~33.6%, 30.6%~34.0% and 25.8%~26.6%, respectively. During 120 days storage, the contents of total sugar, total protein and S-allylcysteine in black garlic at room temperature were significantly lower than those at 4℃ ($P<0.05$), while the effect of storage temperature on texture and reducing ability was not significant. Compared with room temperature, storage at 4℃ is more beneficial to maintaining the total sugar, amino acid composition, DPPH free

收稿日期: 2019-08-26

基金项目: 云南省科技厅重大科技专项(2018ZD001); 上海市科委项目(19DZ2284200)

作者简介: 刘天雨(1998—), 男, 上海交通大学本科生, 专业方向为食品加工与包装。

通信作者: 邓云(1973—), 男, 博士, 上海交通大学研究员, 主要研究方向为食品加工与包装。

radical scavenging ability and ferrous ion chelating ability of black garlic.

KEY WORDS: black garlic; storage; quality; antioxidant activity

黑蒜，又名发酵黑蒜，外观呈黑褐色，由大蒜经发酵工艺后产生，形成了独特的香甜软糯口感，解决了消费者对大蒜气味不适的问题^[1]。大蒜经发酵后，能够在一定程度上保留原有的成分，并且能提高多糖、氨基酸、维生素、类黑精、S-烯丙基半胱氨酸等营养物质的含量，在口感和味道上也有明显改善，且具有更强的杀菌消毒、抗氧化、抗肿瘤、提高免疫力、维持血糖平衡等保健功能，逐渐被消费者所认可，已成为当前研究和开发的热点之一^[2-3]。目前，黑蒜的研究主要聚焦于发酵工艺的优化、发酵过程中中间产物的形成、功能特性、作用机理以及黑蒜的精深加工等方面^[4-10]。为数不多的研究关注以黑蒜为原料的加工产品在贮藏期间的品质变化。张丽丽^[11]研究了以黑蒜浆、糖液、果胶和柠檬酸为原料的黑蒜酱在贮藏 180 d 期间微生物、总酸、总糖、可溶性固形物以及质构指标等品质的变化规律。周广勇等^[12]报道了在温度 5~35 °C 条件下贮藏黑大蒜，其含水率、糖分、总酸含量以及自由基清除能力随时间的变化规律。马鸿承等^[1]研究不同包装材料对黑蒜粉抗氧化活性、溶解性、色泽及货架期的影响。Jin^[13]等研究了添加黑蒜对低盐低脂肉丸在冻藏过程中品质的影响。关于黑蒜在不同贮藏条件下蛋白质、氨基酸、质构及抗氧化活性变化的研究和报道相对较少，因此，文中拟研究黑蒜在不同贮藏温度和贮藏期内品质和抗氧化活性变化特性，旨在阐明贮藏条件与黑蒜品质变化的关系，明确最优的贮藏条件，为黑蒜的贮藏及产品开发提供理论依据。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要试剂：独头黑蒜，从大理品宏高原农业技术开发有限公司购买；蒜氨酸和 S-烯丙基半胱氨酸，北京雷根生物技术有限公司；1,1-二苯基-2-三硝基苯肼（DPPH），美国 Sigma-Aldrich 公司；其它分析试剂，国药集团化学试剂有限公司。

主要仪器：氨基酸自动分析仪 L-8900，株式会社日立制作所；高效液相色谱仪 1260，赛默飞世尔科技有限公司；质构仪 TA.XT Plus，英国 Stable Micro System 公司；酶标仪 Multiskan GO，赛默飞世尔科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 黑蒜提取液制备

将独头黑蒜按料液质量比为 1 : 20 放入胶体磨

中打成匀浆，将匀浆放入高速离心机在 3300 r/min 条件下离心 10 min^[4]。离心后进行过滤，取上清液于贮藏室-20 °C 冰箱中存放。

1.2.2 基本化学组分

蛋白质含量测定根据 GB 5009.5—2016；还原糖含量测定根据 GB 5009.7—2016。总糖含量测定采用苯酚硫酸法，参考尹姿等^[38]的方法，以果糖标准溶液进行换算。

1.2.3 蒜氨酸和 S-烯丙基半胱氨酸

标准品和样品的制备^[5-6]：分别取蒜氨酸和 S-烯丙基半胱氨酸标准品 10 mg，去离子水定容至 10 mL 制成标准溶液。称取独头黑蒜 10 g，沸水水浴 10 min，然后加 200 mL 水于胶体磨中破碎。将制备好的待测液静置 2 h，取上清液在 10 000 r/min 条件下离心 10 min，再取 10 mL 离心上清液稀释至 100 mL，用滤膜过滤，然后进行液相色谱分析。

液相色谱分析条件：Waters600 高效液相色谱仪，C18 色谱柱（规格 250 mm × 4.6 mm，5.0 μm），Waters 996 检测器检测波长 214 nm，V(甲醇)：V(水)=6 : 4，流速为 0.8 mL/min，进样量为 10 μL。

1.2.4 氨基酸分析

黑蒜氨基酸分析依据 GB 5009.124—2016。

1.2.5 质构分析

采用质构分析法测定黑蒜的硬度、弹性和咀嚼性指标。TPA 质构分析仪的测试参数：探头 TA3/100，预压速度为 2.0 mm/s，测试速度为 0.5 mm/s，返回速度为 0.5 mm/s，触发点负载为 0.7 N，目标模式选择应变为 75%，每次做 6 组平行实验，取其平均值^[14]。

1.2.6 抗氧化活性

参照 Qiu^[15]等方法分析黑蒜提取液的 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力、亚铁离子螯合能力和还原能力。

1.3 数据处理

采用 SPSS Statistics 19 和 Excel 软件对所得到的数据进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 不同贮藏条件黑蒜基本化学成分的变化

不同贮藏条件下，黑蒜的总糖、还原糖和蛋白质含量的变化见图 1。黑蒜总糖含量随着贮藏时间的延长

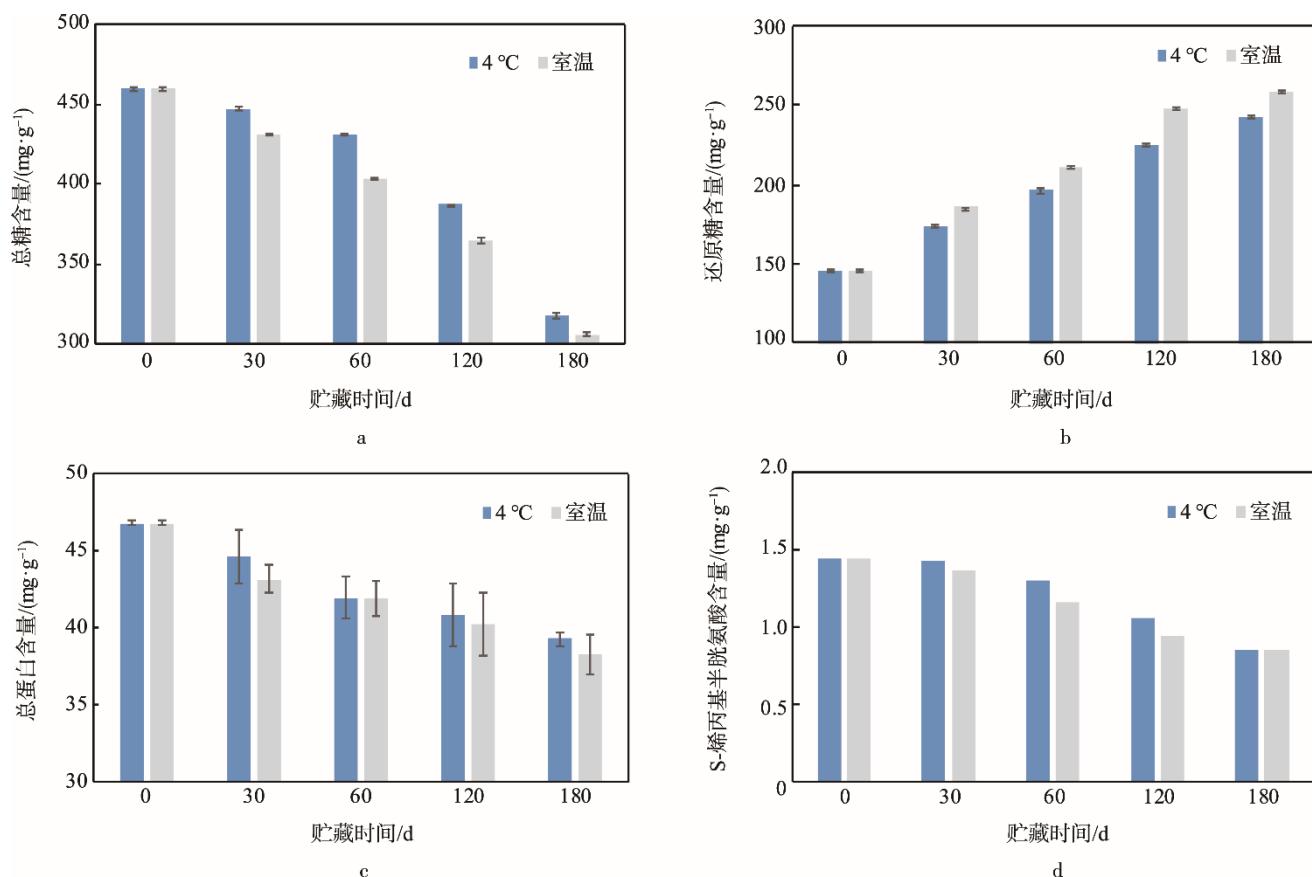


图1 室温与4 °C下180 d贮藏中黑蒜中总糖、还原糖、蛋白质和S-烯丙基半胱氨酸含量的变化

Fig.1 Changes in total sugar, reducing sugar, protein and S-allyl cysteine contents of black garlic at room temperature and 4 °C during 180 days storage

逐渐减少,还原糖的含量随着时间的延长逐渐增加 ($P<0.05$) (见图1a—b)。总糖含量的降低可能是因为还原糖和氨基酸或蛋白质发生了美拉德反应^[7,11]。黑蒜中的多聚糖在自身淀粉酶的催化下可逐渐分解为单糖、双糖和小分子糖类物质,致使还原糖含量不断增加^[8]。各种酶促或非酶促化学反应的速度,都会因温度下降而降低。由此可见,在相同贮藏时间内,黑蒜在常温下贮藏时的总糖量显著低于在4 °C下贮藏时的总糖量,还原糖含量在常温下贮藏显著高于在4 °C下贮藏 ($P<0.05$)。黑蒜中蛋白质的变化趋势与总糖变化趋势一致 (见图1c),其变化也与美拉德反应有关。

2.2 蒜氨酸和S-烯丙基半胱氨酸的变化

蒜氨酸是大蒜的主要功效成分之一,在加工过程中,蒜氨酸含量随着加工时间的延长逐渐下降^[5]。文中实验所有样品均未检测到蒜氨酸。类似地,石杰等^[16]研究结果显示,加工成黑蒜后蒜氨酸含量降低了95%。蒜氨酸的含量与蒜氨酸酶的活性相关,同时其他含硫化物(如 γ -谷氨酰半胱氨酸)水解或氧化也会引起蒜氨酸含量的变化^[17]。

烯丙基-L-半胱氨酸(SAC)是大蒜和黑蒜中的一种具有高稳定性的有机硫功效成分,在加工加热过

程中,蒜氨酸降解,水溶性含硫化合物SAC含量增高^[4-5]。黑蒜在贮藏过程中SAC含量在不同贮藏条件下的变化见图1d。独头黑蒜在贮藏过程中SAC会不断下降,且SAC含量的变化会受到温度和时间的影响。SAC可能的生成途径有2种:由 γ -谷氨酰半胱氨酸在 γ -谷氨酰转氨酶(γ -GTP)的催化下形成;由蒜氨酸的转化生成^[4]。SAC的形成也受到 γ -GTP和 γ -L-谷氨酰-S-烯丙基-L-半胱氨酸(GSAC)之间的水促反应的影响,随着贮藏时间的延长,丧失的水分越多,这可能会导致SAC含量逐渐降低^[18]。由于 γ -GTP在高温下十分容易失活,这可能是引起在贮藏期30~120 d内室温下的SAC含量低于在4 °C下贮藏的原因。SAC变化的具体原因还有待进一步研究。

2.3 氨基酸含量的变化

从表1可以看出,黑蒜的氨基酸种类十分丰富,达到17种,且拥有人体必需的8种必需氨基酸。对于初始样品,黑蒜中必需氨基酸的质量(赖氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸)占总体氨基酸质量的26.63%,精氨酸含量最高,约为19.95%,其次为谷氨酸(占氨基酸总质量的16.84%)和天冬氨酸(占氨基酸总质量的12.66%)。

黑蒜在 180 d 内氨基酸含量无显著变化，基本维持在一个恒定水平，且 2 种条件下氨基酸含量也无显著性差异。

2.4 黑蒜质构的变化

硬度反映了食品达到一定变形所需的力，是食品保持形状的内部结合力。随着贮藏时间的延长，黑蒜

的硬度呈现递增趋势 ($P<0.05$)，与初始相比，经 180 d 贮藏后黑蒜的硬度增长了约 4.4 倍。咀嚼性就是所说的咬劲，是黑蒜硬度、弹性等综合作用的结果，是一项质地综合评价参数。黑蒜的咀嚼性同硬度的变化趋势总体一致，随着贮藏时间的延长呈升高趋势，而弹性则呈下降趋势 (见表 2)。总体来讲，在相同贮藏期内，贮藏温度对黑蒜质地没有显著性影响。

表 1 室温和 4 °C 下 180 d 贮藏期间黑蒜氨基酸含量的变化
Tab.1 Changes in amino acids of black garlic at room temperature and 4 °C during 180 days storage

名称	氨基酸含量/(mg·g ⁻¹)								
	贮藏前	4 °C				室温			
		30 d	60 d	120 d	180 d	30 d	60 d	120 d	180 d
天冬氨酸Asp	7.89	6.77	8.88	5.70	5.97	6.93	7.26	6.82	6.86
苏氨酸Thr	2.13	1.84	2.48	1.56	1.56	1.88	2.05	1.84	1.97
丝氨酸Ser	2.82	2.41	3.31	2.01	2.00	2.51	2.74	2.23	2.61
谷氨酸Glu	10.50	9.33	12.79	7.85	8.83	10.29	10.20	12.33	9.37
甘氨酸Gly	2.60	2.29	2.96	1.83	1.94	2.28	2.46	1.95	2.39
丙氨酸Ala	2.62	2.30	3.05	2.27	2.31	2.34	2.56	3.38	2.68
半胱氨酸Cys	1.54	1.30	1.68	0.94	1.02	1.33	1.35	1.21	1.11
缬氨酸Val	3.15	2.97	3.49	2.48	2.65	2.97	3.09	2.70	3.36
甲硫氨酸Met	1.85	1.37	1.57	1.32	0.92	1.12	1.98	1.50	1.48
异亮氨酸Ile	1.81	1.54	1.70	1.47	1.25	1.39	1.79	1.61	1.82
亮氨酸Leu	3.56	3.03	3.68	2.69	2.51	2.89	3.50	2.882	3.43
酪氨酸Tyr	1.71	1.23	1.78	1.01	0.85	1.10	1.77	1.56	1.37
苯丙氨酸Phe	2.50	2.05	2.27	1.82	1.91	1.87	2.09	2.28	2.05
赖氨酸Lys	2.16	1.67	2.13	1.77	1.53	1.74	1.72	2.13	1.74
组氨酸His	1.29	0.94	1.38	0.80	0.86	1.03	1.18	0.91	1.09
精氨酸Arg	12.44	12.14	12.40	13.66	10.01	0.36	10.26	14.45	11.04
脯氨酸Pro	1.76	1.55	2.10	1.56	1.57	1.44	1.70	1.57	1.86

表 2 室温和 4 °C 下 180 d 贮藏期间黑蒜质构的变化
Tab.2 Changes in texture of black garlic at room temperature and 4 °C during 180 days storage

贮藏时间/d	硬度/N		弹性/mm		咀嚼性/(N·mm)	
	室温	4 °C	室温	4 °C	室温	4 °C
0	30.32±4.47 ^{aA}	30.32±4.47 ^{aA}	0.93±0.05 ^{aA}	0.93±0.05 ^{aA}	8.36±1.65 ^{aA}	8.36±1.65 ^{aA}
30	32.94±4.00 ^{aB}	38.07±1.66 ^{aB}	0.87±0.094 ^{aA}	0.84±0.05 ^{aB}	11.08±3.54 ^{aA}	11.42±3.46 ^{aB}
60	56.17±5.25 ^{aC}	59.37±6.90 ^{aC}	0.75±0.06 ^{aA}	0.67±0.07 ^{aB}	11.98±3.68 ^{aA}	12.41±1.94 ^{aC}
120	85.46±8.30 ^{aD}	87.77±9.60 ^{aD}	0.63±0.05 ^{aB}	0.63±0.08 ^{aC}	13.80±3.28 ^{aB}	15.14±4.01 ^{aC}
180	144.85±2.80 ^{aE}	145.40±2.80 ^{aE}	0.48±0.03 ^{aC}	0.41±0.04 ^{bD}	17.23±2.39 ^{aB}	17.69±3.93 ^{aD}

注：对同一质地指标而言，同列不同大写字母表示相同温度下不同贮藏时间内黑蒜质地数据间差异性显著 ($P<0.05$)；对同一质地指标而言，同行不同小写字母表示相同贮藏时间内不同温度下黑蒜质地数据间差异性显著 ($P<0.05$)

2.5 黑蒜体外抗氧化活性的变化

文中研究采用 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力、亚铁离子螯合能力和还原力等 4 种方法评价。由图 2 可知，黑蒜具有良好的抗氧化能力，其对 DPPH 自由基清除能力≈ABTS 自由基清

除能力>亚铁离子螯合能力>还原力。在不同贮藏温度下，所有黑蒜样品抗氧化能力均会随着贮藏时间的延长而呈下降趋势；在贮藏 180 d 后，分别降低了 13.4%~14.3%，30.3%~33.6%，30.6%~34.0%，25.8%~26.6%，其中 DPPH 自由基清除能力的损失率最低 ($P<0.05$) (见图 2)。马鸿承等^[1]也报道了黑蒜

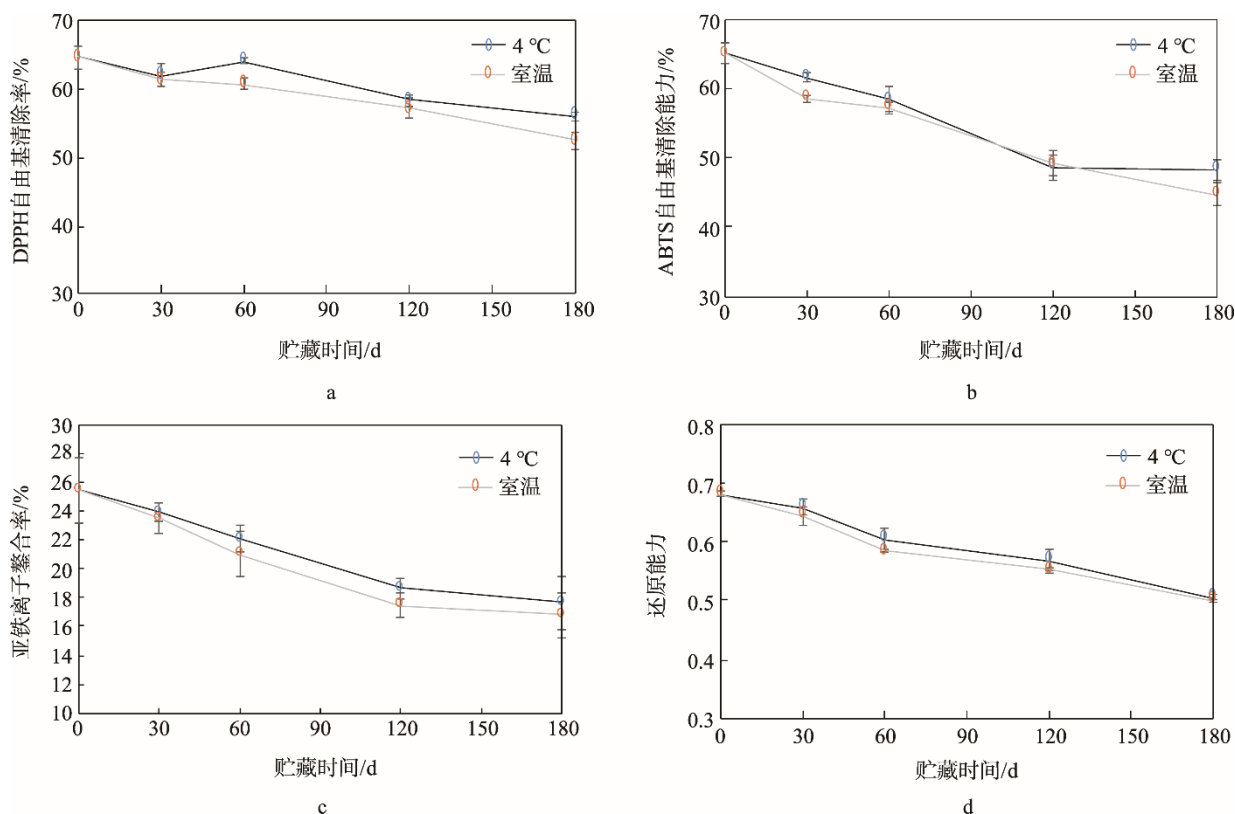


图2 室温与4 °C下180 d贮藏中黑蒜抗氧化活性的变化

Fig.2 Changes in antioxidant activities of black garlic at room temperature and 4 °C during 180 days storage

粉的 DPPH 自由基清除率随贮藏时间的延长而逐渐降低。周广勇等^[12]发现黑蒜在 5, 15, 25, 35 °C 下自由基清除能力分别在 97, 67, 57, 47 d 时达到最大值。

大蒜中具有代表性的抗氧化物质主要包括酚类物质、糖类和硫化物(如二烯丙基硫醚、三硫化物和 SAC)^[18]。虽然 SAC 已经被报道是一种具有很强抗氧化活性的化合物,但 SAC 含量的变化不足以解释黑蒜样品强抗氧化活性的变化。其他活性成分也可能与黑蒜样品抗氧化活性的变化有关。许多研究表明,褐变产物的存在也与抗氧化活性有关。已被证实,褐变产物是通过贡献氢离子来破坏自由基链而发挥抗氧化的作用^[6]。黑蒜产品中的总酚和抗氧化活性之间的高度显著关系也已经被证实,且显著高于鲜蒜^[8]。黑蒜多糖有较强清除 DPPH 和 OH·的作用,且对大豆油的抗氧化能力较维生素 C 强^[9]。黑蒜中含硒蛋白对活性氧自由基也有较强的清除能力^[10]。此外,黑蒜中尿苷、腺苷、咪啉类生物碱、5-HMF、乙酸乙酯粗提物都表现出较高的细胞抗氧化活性^[20]。总之,黑蒜抗氧化活性的降低与酚、多糖、SAC 及美拉德反应产物等的含量相关;样品中的组分(比如柠檬酸、水溶性硒蛋白等)在发酵加工过程中也会对氧化活性的反应与机理产生影响^[1,21]。

3 结语

黑蒜在室温和 4 °C 下贮藏 180 d 过程中,总体上

总糖、总蛋白、S-烯丙基半胱氨酸、体外抗氧化活性会随着时间的延长而逐渐降低,硬度、还原糖含量逐渐增加。温度对黑蒜硬度、弹性、咀嚼性和还原力没有显著影响。与室温相比,在 4 °C 下贮藏更有助于保持黑蒜的总糖、氨基酸组成、DPPH 自由基清除能力和亚铁离子螯合能力。

参考文献:

- [1] 马鸿承, 蒋磷雷, 邓云. 包装材料对黑蒜粉的抗氧化活性及货架期的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2019, 37(4): 76—81.
MA Hong-cheng, JIANG Lin-lei, DENG Yun. Effects of Packaging Materials on Antioxidant Activity and Shelf Life of Black Garlic Powder[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University (Agricultural Science), 2019, 37(4): 76—81.
- [2] RÍOS-RÍOS K L, MONTILLA A, OLANO A et al. Physicochemical Changes and Sensorial Properties during Black Garlic Elaboration: a Review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 88: 459—467.
- [3] 赵一梦, 邓云, 赵艳云. 品中类黑精的提取分离研究进展[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2018, 36(6): 15—20.
ZHAO Yi-meng, DENG Yun, ZHAO Yan-yun. Research Progress on Extraction and Isolation of Melanoidins from Food[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University

- (Agricultural Science), 2018, 36(6): 15—20.
- [4] 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 Yu, ZHANG Ji-long, JING Hao. Composition Analysis of Black Garlics Prepared by Different Garlic Types of and Processing Technologies[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2016, 7(8): 3085—3091.
- [5] ZHANG Z, LEI M, LIU R et al. Evaluation of Alliin, Saccharide Contents and Antioxidant Activities of Black Garlic During Thermal Processing[J]. Journal of Food Biochemistry, 2015, 39(1): 39—47.
- [6] 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]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 55(1): 397—402.
- [7] LU X, LI N, QIAO X, et al. Effects of Thermal Treatment on Polysaccharide Degradation during Black Garlic Processing[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 95: 223—229.
- [8] 王首人, 李嗣生, 李宁阳, 等. 黑蒜总酚提取及抗氧化活性研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2018, 49(4): 133—137.
WANG Shou-ren, LI Si-sheng, LI Ning-yang et al. Study on the Extraction and Antioxidant Activity of Total Phenols in Black Garlic[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2018, 49(4): 133—137.
- [9] KIM J H, NAM S H, RICO C W et al. A comparative Study on the Antioxidative and Anti-allergic Activities of Fresh and Aged Black Garlic Extracts[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2012, 47(6): 1176—1182.
- [10] EMIKO S, MASAHIRO K, YOSHIMI N et al. Increased Antioxidative Potency of Garlic by Spontaneous Short-Term Fermentation[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2006, 61: 157—160.
- [11] 张丽丽. 黑蒜酱制作工艺及其抗氧化活性研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2013: 1—73.
ZHANG Li-li. Study on Preparation of Black Garlic Jam and Its Antioxidant Activity[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2013: 1—73.
- [12] 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(6): 64—71.
ZHOU Guang-yong, MIAO Ye-lian, CHEN Jie-yu, 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 and Technology, 2010(6): 64—71.
- [13] JIN S K, KIM I S, JEONG J Y, et al. Quality Characteristics of Low-Salt and-Fat Meatball Added Black Garlic (*Allium Sativum* L) during Cold Storage[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2010, 30(6): 1031—1037.
- [14] 王海栗, 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.
WANG Hai-su, WU Hao, YANG Shao-lan, et al. Quality Characteristics of Black Garlic with Differet Processing Procedures[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(7): 230—236.
- [15] QIU G, WANG D, SONG X et al. Degradation Kinetics and Antioxidant Capacity of Anthocyanins in Air-Impingement Jet Dried Purple Potato Slices[J]. Food Research International, 2018, 105: 121—128.
- [16] 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 Yan-ru, LIU Yu-feng, et al. Study on Changes of Flavor Substances during Processing of Black Garlic[J]. China Condiment, 2015, 40(1): 48—51.
- [17] 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 Zi-xing, XU Ming-jiao, HUANG Xue-song. Effects of Processing Parameters on Nutrient and Functional Components of Black Garlic[J]. Food and Nutrition in China, 2016, 22(1): 35—39.
- [18] SHANG A, CAO S Y, XU X Y, et al. Bioactive Compounds and Biological Functions of Garlic (*Allium Sativum* L)[J]. Foods, 2019, 8(7): 246.
- [19] LEELARUNGRAYUB N, RATTANAPANONE V, CHANARAT N et al. Quantitative Evaluation of the Antioxidant Properties of Garlic and Shallot Preparations[J]. Nutrition, 2006, 22(3): 266—274.
- [20] 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: 68—70.
LI Ning-yang. Quality Formation and Antioxidant Activity of Black Garlic[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2014: 68—70.
- [21] NICOLI M C, ANESE M, PARPINEL M. Influence of Processing on the Antioxidant Properties of Fruit and Vegetables[J]. Trends in Food Science & Technology, 1999, 10(3): 94—100.