

5 种加工工艺的醋泡黑豆风味和抗氧化活性比较

王娟娟, 刘丹, 李应天, 谢甜鸽, 崔美林, 赵微*, 张秀红*

(山西师范大学食品科学学院, 山西临汾 041000)

摘要: 以优质黑豆和陈醋为原料, 比较分析了煮制、炒制、烤制、高压及生制条件下醋泡黑豆的风味和抗氧化活性。先根据感官评价确定四种热处理方式的时间, 即煮制 40 min、炒制 10 min、烤制 20 min 和高压 30 min。电子鼻法比较了原料黑豆与五种工艺醋泡黑豆挥发性成分, 发现醋泡处理显著改善了黑豆的气味, 五种工艺中不接触水的生制、烤制和炒制组比较接近, 而煮制与水蒸汽高压处理组比较接近。通过对总抗氧化能力、总酚含量的测定, 表明五种加工工艺对醋泡黑豆的抗氧化活性有显著区别, 其抗氧化能力大小依次是烤制>炒制>生制>高压熟化>煮制; 烤制条件下, 总酚含量高达 6.32 mg/g, 总抗氧化能力达到 0.40 mmol/L, ·OH、DPPH·和 ABTS⁺清除率分别为 81.44%、92.23%和 48.05%。因此, 烤制后用老陈醋浸泡可制成感官品质优、风味好、抗氧化能力强的保健功能食品。

关键词: 醋泡黑豆; 感官评定; 抗氧化; 加工工艺

文章编号: 1673-9078(2022)03-211-218

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.3.0667

Comparison and Analysis of the Special Flavor and Antioxidant Activity of Black Soybean Soaked in Vinegar by Five Kinds Processing Techniques

WANG Juanjuan, LIU Dan, LI Yingtian, XIE Tiange, CUI Meilin, ZHAO Wei*, ZHANG Xiuhong*

(School of Food Science, Shanxi Normal University, Linfen 041000, China)

Abstract: Using high-quality black beans and aged vinegar as raw materials, the flavor and antioxidant activity of vinegar soaked black beans under cooking, frying, baking, high pressure and raw conditions were compared and analyzed. On the basis of sensory evaluation, the time of four kinds of thermal treatment were selected as follows: boiling for 40 min, frying for 10 min, roasting for 20 min, high-pressure for 30 min. The volatile components of raw black beans (without treatment) and soaked black beans with five kinds of vinegar were compared by electronic nose, which found that the vinegar soak treatment significantly improves the odor of black beans. The raw (no contact with water), roasted, and fried groups of the five processes were relatively similar, while the cooking and steam high-pressure treatment groups were relatively close. By the total antioxidant capacity, total phenol content and free radical scavenging rate, the antioxidant activity of black beans soaked in vinegar of five different processing techniques showed significantly differences. The order of the antioxidant activity was roasting, stirfrying, raw black beans without treatment, high pressure and boiling. Under roasting conditions, total phenol content was up to 6.32 mg/g, the total oxidation resistance was 0.40 mmol/L, and free radical scavenging rate of ·OH, DPPH·, and ABTS⁺ were 81.44%, 92.23% and 48.05%, respectively. Soaking in vinegar after baking can produce health functional food with better sensory evaluation and strong antioxidant capacity. Therefore, the roasted black beans are soaked in old vinegar to produce a health functional food with excellent sensory quality, good flavor and strong antioxidant capacity.

Key words: black bean soaked in vinegar; sensory evaluation; antioxidant oxidation; process technique

引文格式:

王娟娟,刘丹,李应天,等.5 种加工工艺的醋泡黑豆风味和抗氧化活性比较[J].现代食品科技,2022,38(3):211-218,+236

WANG Juanjuan, LIU Dan, LI Yingtian, et al. Comparison and analysis of the special flavor and antioxidant activity of black soybean soaked in vinegar by five kinds processing techniques [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(3): 211-218, +236

收稿日期: 2021-06-24

基金项目: 山西省自然科学基金项目 (201901D111286), 山西师范大学大学生创新项目 (2020DCXM-041); 山西省大学生创新创业训练计划项目 (2020235)

作者简介: 王娟娟 (1996-), 女, 本科在读, 研究方向: 食品营养, E-mail: 849745196@qq.com

通讯作者: 赵微 (1994-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 乳酸菌开发与应用, E-mail: 949902480@qq.com; 共同通讯作者: 张秀红 (1970-), 女, 博士, 教授,

研究方向: 传统发酵食品, E-mail: cwm_ming@163.com

黑豆是在我国广泛分布的优质杂粮作物,营养价值极高,被称为“豆中之王”。黑豆中的蛋白质不仅含量高达34%~50%,而且质量好,氨基酸组成与动物蛋白类似,必需氨基酸占总氨基酸40%以上^[1]。黑豆约含有19种脂肪酸,其不饱和脂肪酸含量达80%,较易消化吸收^[2];黑豆富含钾、钙、镁、铁、锰、锌等微量元素,尤其钾含量非常丰富,可预防高血压^[3];黑豆具有较强的抗氧化能力,表现出清除自由基、美容护发、健脑益智、免疫调节、预防疾病、延缓衰老等功效^[4,5]。谷物醋是中华民族悠久历史文化的结晶,谷物醋营养丰富,具有多种保健功能,能杀菌、抗菌、抗病毒,缓解疲劳,降血脂,降血压,尤其是含有大量的多酚、异黄酮、川芎嗪、类黑素等,呈现出显著的抗氧化活性^[6,7]。

醋泡黑豆兼具黑豆和醋的多种功能,深受人们喜爱,也是一种传统养生食品,自古有之^[8]。但因黑豆具不良豆腥味,种皮具有苦涩味,有抗营养因子,醋泡黑豆生产多为作坊式制作、口味单一等,长期以来未能得到广泛推广^[9,10]。热加工可有效改善食品的感官品质,延长保质期,是较常见的食品加工和保存方式。热加工会影响食品抗氧化成分的含量及活性,如蒸煮可使酚类物质热分解和氧化、在水中溶解等提高或降低多酚含量;烘焙可能使共轭或结合酚释放出游离酚从而改善产品中多酚物质^[11]。不同热加工方式对醋泡黑豆抗氧化活性的影响尚未见报道。本试验结合感官品质和抗氧化活性分析,优化醋泡黑豆的加工工艺,为促进天然抗氧化剂开发,加快营养美味的醋泡黑豆保健食品商业化进程提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

黑豆(无损伤、无病害、大小均匀、颗粒饱满),购于临汾市大丰蔬鲜生活超市;山西老陈醋(总酸 ≥ 6 g/dL),山西紫林醋业股份有限公司;食盐、花椒、八角、桂皮、香叶、小茴香、辣椒等购于临汾市大丰蔬鲜生活超市。

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除能力试剂盒,南京建成生物科技有限公司;总抗氧化测定试剂盒,南京建成生物科技有限公司;甲醇(分析纯),天津市风船化学试剂科技有限公司;丙酮(分析纯),洛阳市化学试剂厂;没食子酸(分析纯),天津市光复精细化工研究所;Na₂CO₃(分析纯),天津市风船化学试剂科技有限公司;FeSO₄(分析纯),天津科密欧化学试剂有

限公司;水杨酸(分析纯),天津市光复精细化工研究所;H₂O₂(分析纯),天津市风船化学试剂科技有限公司。Folin-酚,北京索莱宝科技有限公司;2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS](色谱纯),重庆普利科生物技术有限公司;ABTS稀释液配制方法:将10 mL 7 mmol/L ABTS与10 mL 2.45 mmol/L 过硫酸钾,暗反应12~16 h,制得原液,吸取少量原液测定吸光值,再用0.10 mol/L、pH=7.40的磷酸缓冲液调整其吸光值为0.70左右(现用现配)。

1.2 主要仪器与设备

D-37520离心机,中国赛默飞世尔科技有限公司;V-1800PC型可见分光光度计,上海美谱达仪器有限公司;MpectraMax M5e多功能酶标仪,北京生原诚业科技有限公司;ZXMP-R1230恒温培养振荡器,上海智城分析仪器制造有限公司;PEN3型电子鼻,德国AIRSENSE公司;GI80DS高温灭菌器,厦门致微仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 加工工艺流程

生制:将未加工处理黑豆进行醋泡处理;四种热处理加工工艺,煮制:冷水加适量花椒、八角、桂皮、香叶、小茴香、辣椒以及食盐微火煮制30 min,加入洗净并用凉水浸泡2 h的黑豆粒后,继续煮制30、40、50 min,捞出沥干水分,60℃烘干,醋泡处理;炒制:将洗净沥干水分的黑豆粒小火慢炒5、10、15 min,室温晾凉,醋泡处理;烤制:将洗净沥干水分的黑豆粒在150℃下烤制20、30、40 min,室温晾凉,醋泡处理;高压:将洗净沥干水分的黑豆粒在121℃(0.12 MPa)条件下保持30、40、50 min,60℃烘干,醋泡处理。醋泡处理是用6 g/dL的老陈醋浸泡豆粒9 d。

1.3.2 感官质量综合评分

抽取15名食品专业的同学分别对13种样品进行感官评分,具体感官评价项目和评分标准见表1^[8]。通过感官评定分析确定四种加工工艺醋泡黑豆的最佳热处理时间。

1.3.3 醋泡黑豆挥发性风味物质分析

将原料豆、生制豆、煮制、炒制、烤制和高压处理后的醋泡黑豆各1粒,置于50 mL离心管中,使用保鲜膜封口。将电子鼻系统进行预热和校准,确保电子鼻采集数据时的精确度和稳定性。电子鼻分析条件为:传感器清洗时间设置为120 s,零点校准时间为5 s,检测时间为150 s,进样流量为300 mL/min,注射

器温度为 70 ℃。按上述条件,每个样品进行 5 次重复,取 130 s 处的信号作为电子鼻分析的时间点。应用

Winn Muster 软件分析不同工艺处理后醋泡黑豆的风味变化^[12]。

表 1 感官评分标准表

Table 1 Sensory scoring standard

指标	分值	标准
外观 (20分)	15~20	豆粒均匀且饱满,外表皮完整无脱落,颜色黝黑,色泽光亮
	8~14	豆粒较均匀饱满,呈现轻微褶皱,仅有少许外表皮脱落,颜色微红,色泽较亮
	1~7	豆粒干瘪,外表皮脱落程度大,颜色微红,色泽灰暗
气味 (20分)	15~20	有浓郁豆香味,同时具有醋的酸香气,闻之清爽
	8~14	豆香味不明显,清爽气味不明显
	1~7	豆香味被掩盖,气味搭配不合理,没有清爽气味
口感 (30分)	20~30	质地适中,具有良好咀嚼感
	10~19	质地稍硬或稍软,呈现不良咀嚼感
	1~9	质地坚硬或糟软,难以咀嚼或无明显咀嚼感
风味 (30分)	20~30	风味纯正适当,口味搭配适当,能充分体现黑豆本身风味
	10~19	风味不浓,黑豆本身风味不能充分体现
	1~9	口味搭配不当,后味苦涩,黑豆本身风味不能体现

1.3.4 抗氧化活性的测定

1.3.4.1 样品预处理

利用高速粉碎机将生制豆、煮制、炒制、烤制和高压处理后的醋泡黑豆粉碎,装袋密封,4 ℃条件下冷藏保存。称 0.5 g 样品于 50 mL 三角瓶中,加入 25 mL 80%甲醇(0.16 mol/L HCl),25 ℃、150 r/min 振荡提取 2 h,3800 r/min 离心 10 min,收集上清液。残留物用 25 mL 70%丙酮再次振荡提取并离心,合并两次提取液并混匀,-18 ℃条件下保存,备用^[13]。

1.3.4.2 抗氧化物质和抗氧化活性测定

总抗氧化能力的测定使用南京建成生物工程研究所 FRAP 试剂盒进行测定;DPPH·清除率的测定使用南京建成生物工程研究所 DPPH·清除能力试剂盒进行测定。总酚和 OH·清除率参考乔丽华^[14]方法,ABTS⁺·清除率的测定参考范艳丽^[15]方法。

1.3.5 数据统计分析

试验测得的所有数据均利用 Excel 进行处理,数据的显著性及相关性用 SPSS 软件处理分析。

2 结果与讨论

2.1 四种热处理时间对醋泡黑豆感官品质的影响

以生制醋泡黑豆为对照,对四种热加工工艺 12 种处理的醋泡黑豆样品进行感官评定,评定结果如图 1 所示。煮制 30、40 和 50 min 的感官评分分别为 83.20、91.53 和 85.27,煮制组的感官评分都高于生制(感官

评分为 76.27),原因可能是香辛料改善了口味,但不同时间口感又不相同,煮制 40 min 后醋泡黑豆的感官综合评分显著高于煮制 30 min 和 50 min ($p<0.05$),可能是因为煮制 30 min 的豆粒,香辛料未能足够入味;煮制 50 min 后的豆粒,口感过于绵软;煮制 40 min 后的豆粒,香辛料入味明显,质地均匀,口感软硬适宜。炒制 5、10 和 15 min 的感官评分分别为 71.07、87.93 和 78.93,炒制 10 min 后醋泡黑豆的感官综合评分显著高于炒制 5 min 和 15 min ($p<0.05$),可能是炒制 5 min 的豆粒中仍存在夹生现象,尚有豆腥味,口感较差,评分低于生制组;炒制 15 min 的豆粒中夹杂有少许焦糊的豆粒;炒制 10 min 的豆粒不仅无夹生和焦糊现象,且有明显豆香味,口感较佳。烤制 20、30 和 40 min 的感官评分分别为 86.20、83.27 和 75.80,烤制 20 min 后醋泡黑豆的感官综合评分显著高于烤制 30 min 和 40 min ($p<0.05$),可能是因为烤制 30 min 和 40 min 的豆粒均具有不同程度的焦糊味,烤制 40 min 的焦糊味较为明显,因此烤制 40 min 的感官综合评分最低,与生制组接近;烤制 20 min 的豆粒豆香味明显,无焦糊现象,更易接受。高压 30、40 和 50 min 的感官评分分别为 81.27、76.87 和 69.47,高压 30 min 后醋泡黑豆的感官综合评分显著高于熟化 40 min 和 50 min ($p<0.05$),可能是因为高压 40 min 和 50 min 的豆粒较绵软,而 50 min 的豆粒绵软程度更为严重,不利于大众接受,评分最低,低于生制组;30 min 的豆粒软硬适中,口感较好。综上,确定煮制 40 min、炒制 10 min、烤制 20 min 和高压 30 min 为四种加工工艺的最优参数,进行抗氧化指标的分析。

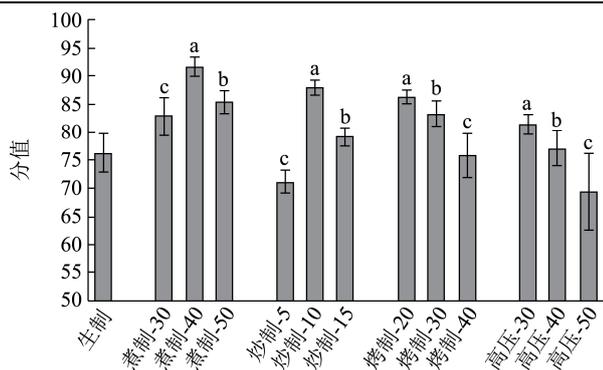


图1 不同热处理时间对醋泡黑豆感官品质的影响

Fig.1 Effects of different heat treatment time on the sensory quality of black soybeans in vinegar

注: 图中不同小写字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。图3、4同。

2.2 五种加工工艺对醋泡黑豆挥发性气味的影响

利用电子鼻对五种不同加工工艺醋泡黑豆和原料黑豆的挥发性成分分析, 结果如表3所示。PEN3型电子鼻共有10个传感器, 传感器性能描述见表2。由表3可知, 电子鼻传感器响应值可分三类, 不同加工工艺醋泡黑豆的W6S和W3S传感器响应值跟原料黑豆相比, 略有波动但变化不大, 说明氯化物和长链烷烃变化不大; 传感器W1C、W3C和W5C的响应值略有不同程度的降低, 说明苯类、氨类、短链烷烃类等芳香成分物质含量有所下降; 而不同加工工艺醋泡

黑豆对W1W和W2W传感器响应值增幅最大, 分别是原料黑豆的27.09~29.28倍和21.14~24.61倍, 说明醋泡处理使黑豆中的有机硫化物及芳香簇硫化物大幅增加; W5S、W2S和W1S传感器响应值只有小幅增长, 说明醋泡处理氮氧化合物、甲基类以及醇、醛酮类物质也有所增加。黑豆醋泡处理后增加的5个传感器响应值与恒顺香醋香气成分电子鼻检测结果一致, 均为W1W、W2W、W5S、W2S和W1S, 说明这些物质来源于原料醋, 不同的是用山西老陈醋浸泡后响应值最大的是W1W, 挥发性成分主要为无机硫化物或萜类物质, 而恒顺香醋中响应值最大的是W2S, 挥发性成分主要为醇类或醛酮类物质^[16]。

表2 传感器性能描述

Table 2 Sensor performance description

传感器名称	性能描述
W1C	芳香成分, 苯类
W5S	对氮氧化合物很灵敏
W3C	芳香成分灵敏, 氨类
W6S	主要对氯化物有选择性
W5C	短链烷烃芳香成分
W1S	对甲基类灵敏
W1W	对无机硫化物、萜类物质灵敏
W2S	对醇类、醛酮类灵敏
W2W	芳香成分, 对有机硫化物灵敏
W3S	对长链烷烃灵敏

表3 传感器对醋泡黑豆中挥发性气味的响应值

Table 3 The response value of the sensor to the volatile odor in black beans soaked in vinegar

传感器名称	不同加工工艺醋泡黑豆					
	干豆	生制	煮制	炒制	烤制	高压
W1C	0.96±0.01 ^a	0.56±0.03 ^{bc}	0.58±0.03 ^b	0.53±0.04 ^c	0.52±0.05 ^c	0.52±0.02 ^c
W5S	1.35±0.05 ^b	20.56±4.02 ^a	20.74±3.15 ^a	21.93±2.32 ^a	24.06±5.38 ^a	22.18±1.76 ^a
W3C	0.97±0.01 ^a	0.55±0.02 ^{bc}	0.58±0.02 ^b	0.54±0.03 ^c	0.53±0.03 ^c	0.52±0.02 ^c
W6S	1.02±0.02 ^a	0.94±0.01 ^b	0.99±0.03 ^{ab}	0.96±0.04 ^b	1.05±0.07 ^a	1.05±0.07 ^a
W5C	0.99±0.00 ^a	0.82±0.02 ^c	0.84±0.01 ^b	0.81±0.02 ^c	0.79±0.03 ^c	0.80±0.01 ^c
W1S	1.31±0.04 ^c	8.25±0.87 ^b	7.77±0.94 ^b	10.35±1.77 ^a	11.22±2.31 ^a	10.25±1.22 ^a
W1W	2.40±0.19 ^b	65.85±5.67 ^a	66.22±6.83 ^a	70.19±4.74 ^a	66.53±6.12 ^a	64.94±2.44 ^a
W2S	1.14±0.02 ^d	6.08±0.73 ^{bc}	5.40±0.72 ^c	7.68±1.44 ^a	8.03±1.82 ^a	7.38±0.97 ^{ab}
W2W	1.78±0.10 ^c	39.34±3.61 ^{ab}	37.67±3.96 ^b	43.86±2.94 ^a	43.08±5.00 ^a	39.67±2.08 ^{ab}
W3S	1.07±0.03 ^c	1.24±0.02 ^b	1.29±0.04 ^{ab}	1.26±0.05 ^b	1.29±0.05 ^{ab}	1.34±0.03 ^a

注: 表中数值为平均值±标准偏差 (n=5); 不同小写字母表示同行差异显著分析 ($p < 0.05$)。

对原料黑豆和五种加工工艺的醋泡黑豆进行了LDA线性判别分析, 如图2所示。由图2可知, LD1贡献率为95.12%, LD2贡献率为3.68%, 总贡献率为98.81%, 大于80%, 说明这两个判别式具有代表性,

能较好地反映样品的主要信息。图中一个点代表一个样品, 每种形状代表一种加工工艺处理, 相同形状的点较为集中, 不同形状的点彼此无重叠现象, 说明电子鼻对五种加工工艺的醋泡黑豆区分较好。图中原料

黑豆即干豆与其他样品距离较远,说明醋泡处理明显改善原料黑豆的挥发性成分即气味;而五种工艺处理的醋泡黑豆整体相对集中,其中不接触水的生制、炒制和烤制比较接近;高压是用蒸汽升温,与煮制类似,是湿热处理,这两组样品比较接近。

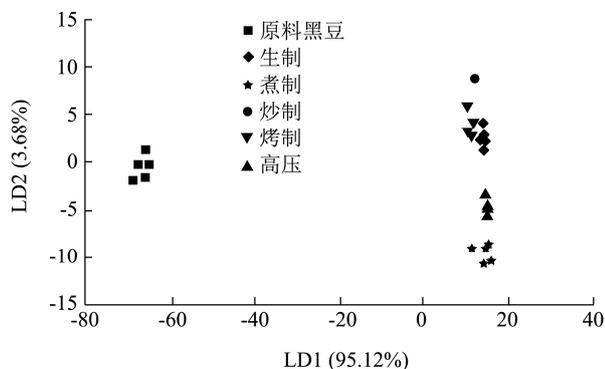


图2 不同加工工艺醋泡黑豆的线性判别分析(LDA)

Fig.2 Linear discriminant analysis (LDA) of vinegar-soaked black beans with different processing techniques

2.3 五种加工工艺对醋泡黑豆抗氧化活性的影响

植物酚类物质是重要的抗氧化组分,赋予很多植物性食品较强的抗氧化功能。自由基清除率是最常用的抗氧化性能力检测指标,本试验通过对·OH、DPPH-和 ABTS⁺清除率的测定考察了5种加工工艺对醋泡黑豆抗氧化性能力的影响。

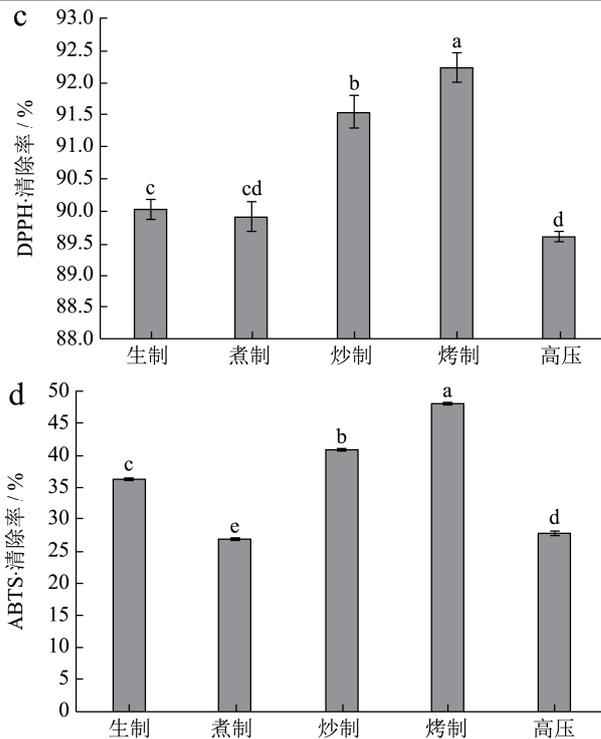
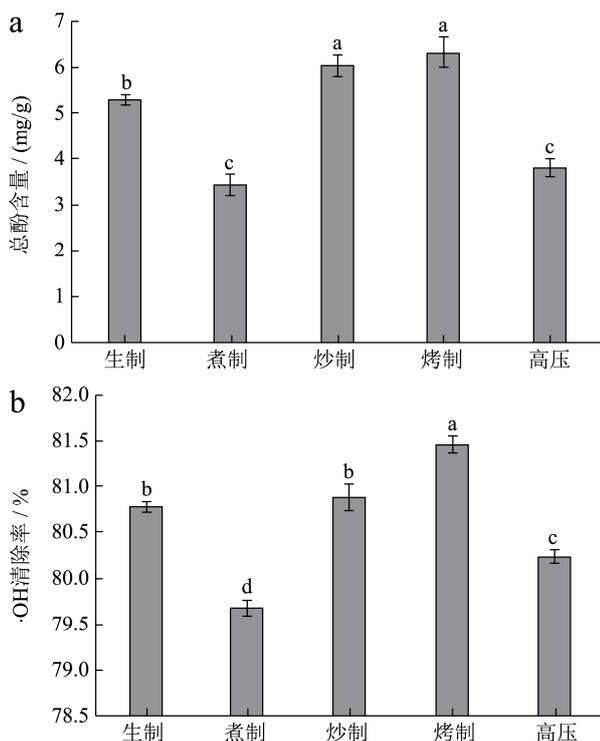


图3 不同加工工艺对醋泡黑豆抗氧化活性的影响

Fig.3 The effect of different processing technologies on the antioxidant activity of black soybeans in vinegar

注: a: 总酚; b: ·OH清除率; c: DPPH清除率; d: ABTS⁺清除率。

由图3a可见,与生制组总酚(5.31 mg/g)相比,烤制和炒制组醋泡黑豆的总酚含量较高,分别为6.32 mg/g和6.04 mg/g,二者之间无显著性差异,可能是因为这两种处理的温度都比较高,细胞膜和细胞壁的通透性增强,有利于可溶性酚类物质的释放。鹰嘴豆种子烘烤后游离酚含量及其抗氧化活性增强,与本试验结果类似,其原因可能是焙烤使酚类物质进行选择分解和转化,部分结合酚转变为游离酚^[17]。煮制和高压处理的醋泡黑豆中多酚含量分别为3.45 mg/g和3.81 mg/g,显著低于生制,高压组略高,但二者区别不明显。生制处理后总酚含量处于5种工艺处理的中间位置,且与其他工艺处理后总酚含量之间存在显著性差异($p < 0.05$),可能是因其既没有经过高温处理,不会发生美拉德反应,也没有豆汤的存在,所以不会有抗氧化物质溶解于豆汤中造成损失。Siah等^[18]对米色、红色和绿色三种颜色蚕豆经过浸泡煮制和高压处理后测定抗氧化物质,发现3种颜色蚕豆中抗氧化物质都有所减少,豆汤中的酚类物质约为煮后蚕豆0~2.57倍,说明有大量的酚类物质溶解于豆汤中,与本研究结果类似;但煮制高压处理比较时,常压煮制后的蚕豆中保留的活性物质多一点,高压处理的相对

要少,与本试验结果相反。乔丽华^[14]对6种小粒大豆煮制后多酚含量均有所降低,与本试验结果一致,可能是酚类物质溶解于豆汤中;高压处理后只有府谷小黑豆和盐池黑豆多酚含量增加,其余四种有不同程度降低,说明高压处理后多酚含量变化与黑豆种类有关,有可能形成新的酚类物质或酚类物质分解导致多酚含量的升降。潘芳等^[19]比较不同压力对糙米多酚含量影响时,随着压力增加糙米多酚含量增加可能是高压使结合态的酚类物质释放出来所致。

5种加工工艺对醋泡黑豆·OH清除率的影响见图3b。由图3b可见,炒制组醋泡黑豆·OH清除率为80.87%,与生制组(80.77%)相似,无显著性区别;烤制组醋泡黑豆·OH清除率为81.44%,显著高于生制组($p<0.05$);煮制和高压处理的·OH清除率分别为79.69%和80.21%,显著低于生制组($p<0.05$),且煮制组又显著低于高压组($p<0.05$),整体趋势与总酚变化非常类似。郭颖等^[20]研究焙炒对小粒黑大豆抗氧化活性的影响时,在150℃80min和210℃50min炒制处理后·OH清除率也显著升高,这一结果与本试验结果一致。

5种加工工艺对醋泡黑豆DPPH·清除率的影响见图3c。由图3c可知,炒制、烤制和高压处理工艺较生制组醋泡黑豆DPPH·清除率有显著影响($p<0.05$)。与生制组相比(90.04%),烤制和炒制组醋泡黑豆DPPH·的清除能力显著提高($p<0.05$),分别为92.23%和91.53%,烤制组显著高于炒制组($p<0.05$),可能是高温处理会加速释放相关清除因子^[16],提高其利用度;或者是美拉德反应也会产生许多具有抗氧化活性的类黑精等聚合物^[21],使得烤制和炒制后的DPPH·清除作用显著增强。泰国大米150℃焙烤10min后增加了米糠游离酚酸,并释放出具有抗氧化的谷维素等物质,从而增加了总酚含量和抗氧化活性^[22]。与生制组比较,煮制组醋泡黑豆DPPH·清除率略有下降(89.91%),并无显著差异;而高压处理组醋泡黑豆DPPH·清除率(89.60%)显著降低($p<0.05$),可能是因为二者处理过程中都有部分抗氧化物质溶解在豆汤中,导致抗氧化活性有所降低。

5种加工工艺对醋泡黑豆ABTS⁺清除率的影响见图3d所示。由图3d可见,煮制、烤制、炒制和高压处理较生制组对醋泡黑豆的ABTS⁺清除率的影响显著不同($p<0.05$),五种加工工艺对醋泡黑豆ABTS⁺清除率整体都较低。烤制和炒制处理的醋泡黑豆ABTS⁺清除能力分别为48.05%和41.01%,显著高于生制组(36.50%)($p<0.05$),烤制组又显著高于炒制组($p<0.05$);而煮制和高压处理组醋泡黑豆

ABTS⁺清除能力只达26.85%和27.93%,显著低于生制组($p<0.05$),煮制组又显著低于高压处理组($p<0.05$)。

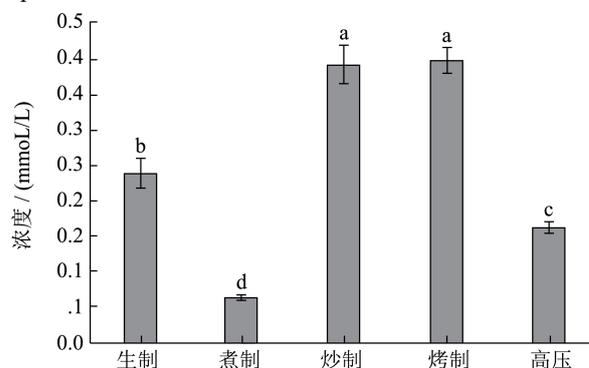


图4 不同加工工艺对总抗氧化能力的影响

Fig.4 The influence of different processing techniques on the total antioxidant capacity

为了整体考虑不同加工工艺对醋泡黑豆抗氧化性能的影响,本试验考察了5种加工工艺对醋泡黑豆总抗氧化能力的影响,结果如图4所示。由图4可见,五种加工工艺对醋泡黑豆总抗氧化能力有显著影响($p<0.05$)。与生制组(0.24 mmol/L)比较,烤制(0.40 mmol/L)和炒制(0.39 mmol/L)组总抗氧化能力显著提高($p<0.05$),且二者无显著差异;煮制(0.07 mmol/L)和高压处理组(0.16 mmol/L)醋泡黑豆总抗氧化能力显著降低($p<0.05$),且煮制组又显著低于高压处理组($p<0.05$)。烤制和炒制处理后的醋泡黑豆总抗氧化能力提高,与其主要抗氧化成分总酚含量显著增加一致,其原因可能是高温条件下美拉德反应产生更多的抗氧化物质所致,同时烤制和炒制后醋泡黑豆的三种自由基清除率也显著高于生制处理。烤制和炒制处理的温度、时间都不同,所以二种处理的醋泡黑豆的抗氧化能力又略微有所差异。煮制和高压处理后的醋泡黑豆总抗氧化能力显著低于生制的醋泡黑豆,推测可能有部分抗氧化物质溶解到汤汁中,因为其抗氧化成分总酚含量比生制处理的显著下降,另外其ABTS⁺、·OH清除能力也显著低于生制处理的。姜忠丽等^[23]在比较不加热处理对糙米抗氧化物质及活性时,高压处理组的糙米总酚含量及DPPH·、ABTS⁺、·OH清除能力和总抗氧化能力(FRAP)均高于电饭煲蒸煮、蒸制和微波蒸煮的,与本试验结果一致。乔丽华等^[14]比较了煮制时间和压力对六种小粒大豆抗氧化活性的影响,与常压30min相比,0.103 MPa 30min处理后,6种小粒大豆的总酚含量均下降,总黄酮有升有降,DPPH·、ABTS⁺和·OH清除率都是有升有降,说明不同原料对热处理响应机制有所不同。

表4 抗氧化指标的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of antioxidant indexes

项目	总抗氧化能力	总酚	·OH 清除率	DPPH·清除率	ABTS ⁺ ·清除率
总抗氧化能力	1				
总酚	0.97**	1			
·OH 清除率	0.94*	0.96*	1		
DPPH·清除率	0.89*	0.87	0.83	1	
ABTS ⁺ ·清除率	0.94*	0.97**	0.96**	0.93*	1

注: *表示显著性相关 ($p<0.05$), **表示极显著相关 ($p<0.01$)。

2.4 抗氧化指标的相关性分析

对5种加工工艺醋泡的黑豆总抗氧化能力、总酚含量和自由基清除率进行相关性分析,分析结果如表4所示。由表4结果表明,醋泡黑豆的总抗氧化能力与总酚含量呈极显著相关,而与3种自由基清除率均呈显著正相关,表明5种加工工艺影响醋泡黑豆的总酚含量以及各三种自由基清除能力最终影响其总抗氧化能力;但醋泡黑豆中总酚含量与三种自由基清除能力相关性却各不相同,与ABTS⁺·清除率是极显著相关,与·OH清除率显著相关,与DPPH·清除率高度相关;醋泡黑豆的3种自由基清除能力之间,ABTS⁺·清除率与·OH清除率极显著相关,与DPPH·清除率显著相关。

3 结论

醋泡黑豆是一种经典的保健食品,具有抗衰老、美容、降血压和降血脂等多种功效,深受中老年人的喜爱。醋泡黑豆的多种保健功能均与其较强的抗氧化活性有关。本试验在感官品评基础上分析了五种加工工艺醋泡黑豆的挥发性物质、总酚和抗氧化活性,得出以下主要结论:(1)通过感官评价确定了最佳热处理时间,煮制40 min、炒制10 min、烤制20 min和高压30 min的黑豆粒具有较好的感官品质,与同种工艺其他处理时间组有显著性区别;(2)电子鼻比较原料黑豆与五种工艺醋泡黑豆挥发性成分发现,醋泡处理显著改善了黑豆的气味,对有机硫化物及芳香簇硫化物敏感的W1W和W2W传感器响应值分别增至原料黑豆的27.09~29.28倍和21.14~24.61倍,对氮氧化合物、甲基类以及醇、醛酮类物质敏感的W5S、W2S和W1S传感器响应值只有小幅增长。(3)通过对总抗氧化能力、总酚含量、自由基清除率的测定,表明烤制和炒制的醋泡黑豆中总酚和总抗氧化能力显著高于生制、高压和煮制加工的醋泡黑豆,烤制和炒制之间区别不显著;5种醋泡黑豆的3种自由基清除能力规律为烤制显著高于炒制,然后是生制、高压和煮制;

进一步分析5种醋泡黑豆中抗氧化能力与自由基清除能力的相关性,表明醋泡黑豆的总抗氧化能力与总酚含量呈极显著相关,而与3种自由基清除率均呈显著正相关;醋泡黑豆的3种自由基清除能力之间,ABTS⁺·清除率与·OH清除率极显著相关,与DPPH·清除率显著相关。研究结果为开发研制口感好、抗氧化活性强的保健食品提供理论依据。

参考文献

- [1] 秦琦,张英蕾,张守文.黑豆的营养保健价值及研究进展[J].中国食品添加剂,2015,17(7):145-150
QING Qi, ZHANG Yinglei, ZHANG Shouwen, et al. Nutrition and health value of black bean and its research progress [J]. Chinese Food Additive, 2015, 17(7): 145-150
- [2] 林金刚,朱克瑞.浅谈杂粮的营养保健作用[J].粮食与食品工业,2011,18(6):34-38
LIN Jingang, ZHU Kerui. Discusses the nutrition health care function of coarse grain [J]. Grain and Food Industry, 2011, 18(6): 34-38
- [3] 王敏,李丹,李荣和,等.黑豆营养价值及功能特性应用遥研究与进展[J].长春大学学报,2008,18(1):104-107
WANG Min, LI Dan, LI Ronghe et al. Research and progress on nutritional value and functional characteristics of black bean [J]. Journal of Changchun University, 2008, 18(1): 104-107
- [4] 刘仙俊,张慧珍,王潇潇,等.5种豆类中总多酚、总黄酮含量及抗氧化活性比较研究[J].食品研究与开发,2020,41(7):52-57
LIU Xianjun, ZHANG Huizhen, WANG Xiaoxiao, et al. Comparative study on contents of total polyphenols, total flavonoids and antioxidant activities in five kinds of legumes [J]. Food Research and Development, 2020, 41(7): 52-57
- [5] 徐飞,葛阳阳,刘新春,等.黑豆营养成分及生物活性的研究进展[J].中国食物与营养,2019,25(9):55-61
XU Fei, GE Yangyang, LIU Xinchun, et al. Advances in research on nutrient components and biological activities of

- black bean [J]. Food and Nutrition in China, 2019, 25(9): 55-61
- [6] 阳飞,张华山.食醋及其营养保健功能研究进展[J].中国调味品,2017,42(5):171-175
YANG Fei, ZHANG Huashan. Research progress of vinegar and its nutrition and health function [J]. Chinese Seasoning, 2017, 42(5): 171-175
- [7] 马先红,李雪娇,刘洋,等.谷物食醋营养与功能研究现状[J].中国调味品,2017,42(8):163-166
MA Xianhong, LI Xuejiao, LIU Yang, et al. Research status of nutrition and function of cereal vinegar [J]. Chinese Seasoning, 2017, 42(8): 163-166
- [8] 李和平,魏建春,刘迎熹,等.醋泡黑豆罐头的工艺研究[J].食品工业,2018,39(2):173-177
LI Heping, WEI Jianchun, LIU Yingxi, et al. Study on the process of vinegar soaked black bean cans [J]. The Food Industry, 2018, 39(2): 173-177
- [9] 王寅,张坤,赵晋.黑豆的营养价值及在食品中的开始应用[J].中国食品添加剂,2007,6:132-135
WANG Yin, ZHANG Kun, ZHAO Jin. The nutritional value of black bean and its initial application in food [J]. Chinese Food Additive, 2007, 6: 132-135
- [10] 郭颖,江帆,乔丽华,等.焙炒对小粒黑大豆及其种皮抗氧化活性的影响[J].中国粮油学报,2019,34(6):18-23
GUO Ying, JIANG Fan, QIAO Lihua, et al. Effect of roasting on antioxidant activity of small black soybean and its seed coat [J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2019, 34(6): 18-23
- [11] 马占倩,吴娜娜,易翠平,等.热加工过程对植物酚类物质结构、含量及抗氧化活性影响研究进展[J].食品与机械,2018,34(12):152-159
MA Zhanqian, WU Nana, YI Cuiping, et al. Advances in studies on the effects of thermal processing on the structure, content and antioxidant activity of phenolic compounds in plants [J]. Food and Machinery, 2018, 34(12): 152-159
- [12] 陶湘林.原料蒸煮条件对毛霉型豆豉品质的影响研究[D].长沙:湖南农业大学,2014
TAO Xianglin. Study on the influence of raw material cooking conditions on the quality of *Mucor* tempeh [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014
- [13] 乔丽华,王美霞,王艺静,等.烘焙条件对小粒黑豆中抗氧化组分及抗氧化活性的影响[J].食品科学,2016,37(1):88-93
QIAO Lihua, WANG Meixia, WANG Yijing, et al. Effects of baking conditions on antioxidant components and antioxidant activity of small black bean [J]. Food Science, 2016, 37(1): 88-93
- [14] 乔丽华.不同加工方式对小粒大豆抗氧化性能及生理活性影响研究[D].西安:西北农林科技大学,2016
QIAO Lihua. Effects of different processing methods on antioxidant property and physiological activity of small soybean [D]. Xi'an: Northwest A&F University, 2016
- [15] 范艳丽,张博,李梓溢,等.红枣核总黄酮的提取工艺及抗氧化活性研究[J].食品研究与开发,2017,38(3):95-100
FAN Yanli, ZHANG Bo, LI Ziyi, et al. Study on extraction technology and antioxidant activity of total flavonoids from jujube nucleus [J]. Food Research and Development, 2017, 38(3): 95-100
- [16] 邝格灵,王新宇,李树,等.基于电子鼻与气相色谱-质谱联用区分不同陈酿期恒顺香醋风味物质[J].食品科学,2020,41(12):228-233
KUANG Geling, WANG Xinyu, LI Shu, et al. Discriminating the volatile flavor composition of Hengshun vinegars of different ages using electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Science, 2020, 41(12): 228-233
- [17] Segev A, Badani H, Galili L, et al. Effects of baking, roasting and frying on total polyphenols and antioxidant activity in colored chickpea seeds [J]. Food and Nutrition Science, 2012, 3(3): 369-376
- [18] Siah S, Wood J A, Agboola S, et al. Effects of soaking, boiling and autoclaving on the phenolic contents and antioxidant activities of Faba beans (*Vicia faba* L.) differing in seed coat colours [J]. Food Chemistry, 2014, 142(1): 461-468
- [19] 潘芳.超高压处理对糙米感官特性与营养特性的影响研究[D].杭州:浙江大学,2017
PAN Fang. Effects of ultra-high pressure treatment on sensory and nutritional characteristics of brown rice [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017
- [20] 郭颖,江帆,乔丽华,等.焙炒对小粒黑大豆及其种皮抗氧化活性的影响[J].中国粮油学报,2019,34(6):18-23
GUO Ying, JIANG Fan, QIAO Lihua, et al. Effect of roasting on antioxidant activity of small black soybean and its seed coat [J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2019, 34(6): 18-23
- [21] 韩易,赵燕,徐明生,等.美拉德反应产物类黑精的研究进展[J].食品工业科技,2019,40(9):339-345
HAN Yi, ZHAO Yan, XU Mingsheng, et al. Research progress of the product of Maillard reaction nozoids [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(9): 339-345

(下转第 236 页)

