

黑芝麻与白芝麻各组分抗氧化物质 及抗氧化活性研究

李亚会¹,汪学德¹,李晨曦¹,马宇翔¹,徐彦辉²

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 郑州 450001; 2. 合肥燕庄食用油有限责任公司, 合肥 231283)

摘要:选取黑芝麻和白芝麻各3个品种,研究黑、白芝麻籽、仁及皮的总酚、木脂素含量和抗氧化活性以及总酚、木脂素含量、抗氧化活性之间的相关性。结果表明:黑芝麻籽、仁及皮的总酚含量均高于白芝麻籽、仁及皮;黑芝麻和白芝麻各品种间芝麻籽、芝麻仁及芝麻皮中木脂素含量变化不大,且芝麻素和芝麻林素含量均较低($<40\text{ mg}/100\text{ g}$);黑芝麻籽及黑芝麻皮的总抗氧化能力均高于白芝麻籽及白芝麻皮,而黑、白芝麻仁的总抗氧化能力相差不大;黑、白芝麻皮对DPPH·清除率均显著高于芝麻籽及芝麻仁;黑、白芝麻籽及芝麻仁对·OH均表现出很弱的清除能力,而芝麻皮对·OH清除率均在60%以上;黑、白芝麻籽及芝麻皮总酚与总抗氧化能力呈极显著正相关($P < 0.01$),与DPPH·清除率呈极显著($P < 0.01$)或显著($P < 0.05$)正相关。

关键词:黑芝麻;白芝麻;各组分;总酚;木脂素;抗氧化活性

中图分类号:TS222;TQ646

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2018)04-0037-06

Antioxidant substance and antioxidant activity of each fraction of black sesame and white sesame

LI Yahui¹, WANG Xuede¹, LI Chenxi¹, MA Yuxiang¹, XU Yanhui²

(1. College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;
2. Hefei Yanzhuang Edible Oils Co., Ltd., Hefei 231283, China)

Abstract: Three varieties of black sesame and three varieties of white sesame were selected to study the contents of total phenolics, lignans and antioxidant activity of seed, kernel and seed coat, and the correlation between total phenolics, lignans and antioxidant activity. The results showed that the total phenolics contents in black sesame seed, kernel and seed coat were higher than those in white sesame seed, kernel and seed coat. The lignans contents in sesame seed, kernel and seed coat of black sesame and white sesame varieties changed little, and the contents of sesamin and sesamol were lower ($<40\text{ mg}/100\text{ g}$). The total antioxidant capacity of black sesame seed and seed coat were higher than those of white sesame seed and seed coat, while the total antioxidant capacity of black sesame kernel and white sesame kernel had little difference. The DPPH free radical scavenging rates of seed coats of black sesame and white sesame were much higher than those of sesame seed and kernel, and the hydroxyl free radical scavenging abilities of sesame seed and kernel of black sesame and white sesame were very weak, but the hydroxyl free radical scavenging rate of sesame seed coat was above 60%. Total phenolics contents and total antioxidant capacities of seed and

收稿日期:2017-07-17;修回日期:2017-12-25

基金项目:现代农业产业技术体系建设项目(CARS15-1-10)

作者简介:李亚会(1989),女,硕士研究生,研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程(E-mail)714067957@qq.com。

通信作者:汪学德,教授,博士生导师(E-mail)wangxuede1962@126.com。

seed coat of black sesame and white sesame were extremely, significantly and positively correlated ($P < 0.01$), and the total phenolics contents of seed and seed coat were extremely and significantly ($P < 0.01$) or significantly ($P < 0.05$) positively correlated with DPPH free radical scavenging rate.

Key words: black sesame; white sesame; each fraction; total phenolics; lignans; antioxidant activity

芝麻,是胡麻科(Pedaliaceae)胡麻属(*Sesamum*)一年生草本植物。芝麻具有很高的营养价值,是广受欢迎的医食两用作物,可用于榨油和直接食用,也可作香料、医药和化工原料^[1]。芝麻作为营养食品,广泛用于焙烤食品、点心和糖果制品中^[2-3]。研究表明芝麻具有很多有益于人体健康的生理功能,例如抗氧化、抗细胞突变、抑制肿瘤、调节脂质、抑制胆固醇积聚以及保肝护肝作用等^[4-8]。芝麻种子含油量高达50%~60%,蛋白质含量为20%~30%,且富含维生素、矿物质、卵磷脂和木脂素等天然抗氧化类物质^[9];芝麻油中不饱和脂肪酸含量超过80%,而芝麻种皮含有大量的草酸和纤维^[3]。芝麻种皮由纯白到纯黑,颜色各异,而白芝麻和黑芝麻是较常见的。亚洲国家普遍认为,对于人体健康而言,黑芝麻优于白芝麻。Jin等^[10]通过比较不同年份与不同品种韩国黑芝麻和白芝麻,发现黑芝麻比白芝麻表现出更强的抗氧化性。Xu等^[11]的研究表明,黑芝麻和棕色芝麻有更强的清除自由基能力。黑芝麻作为食疗品,有益肝、补肾、养血、润燥、乌发、美容等作用,而且黑芝麻被列入《中华人民共和国药典》,作为治疗肝、肾的中药。Zhou等^[12]研究中提到,有报道称芝麻种子颜色会影响植物化学成分的含量和生物活性。

目前,常见的芝麻营养评价多基于蛋白质、油脂及木脂素等。然而,对于不同颜色、品种的芝麻籽、仁及皮的组分和抗氧化活性及其之间相关性的研究还很少。因此,本文选取6种不同品种芝麻,对芝麻籽、仁及皮的总酚、木脂素含量和抗氧化活性以及总酚、木脂素含量、抗氧化活性之间的相关性进行研究。通过理论分析研究,能够为黑、白芝麻的综合加工利用提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

供试的6份芝麻材料,均由河南省农业科学院芝麻研究中心提供。其中白芝麻3份,分别为皖芝5号、驻芝22号、郑芝20号;黑芝麻3份,分别为赣芝14号、冀黑芝2号、郑芝HL05。于2016年10月收获,-20℃冰箱保存备用。

芝麻仁、芝麻皮的制备:取300.0g芝麻,用蒸馏水喷洒充分浸润,置于-20℃冰箱10min,取出后放适量芝麻至尼龙布袋(自制),进行揉搓,脱皮后置于60℃烘箱12h,烘干,取出后过30目筛,分拣出芝麻籽、芝麻仁和芝麻皮。

Folin-酚试剂,国药集团化学试剂有限公司;

DPPH、2,4,6-三吡啶基-s-三嗪(TPTZ),上海麦克林生化科技有限公司;一水没食子酸,国药集团化学试剂有限公司;正己烷、甲醇均为色谱纯,美国VBS公司;其他试剂为国产分析纯。

1.1.2 仪器与设备

SC-02低速离心机;AL204型分析天平:梅特勒-托利多仪器有限公司;DHG型电热恒温鼓风干燥箱;HCJ-4E数显恒温磁力搅拌水浴锅;UV-1100型紫外分光光度计;Waters-e2695高效液相色谱仪:美国Waters公司;XW-80A涡旋混合器。

1.2 试验方法

1.2.1 样品准备

将芝麻籽、芝麻仁、芝麻皮用高速粉碎机粉碎,装袋密封,-20℃条件下保存。称取0.5g样品于10mL玻璃离心管中,然后向离心管中加入5mL正己烷,涡旋混合2min,超声5min,以4000r/min离心5min,弃去上清液,重复上述步骤2次,残渣室温放置12h,自然晾干。

1.2.2 抗氧化物质提取

参考Shahidi等^[13]及Zhou等^[12]方法稍作修改制备提取液。向1.2.1制备得到的残渣中加入5mL70%的甲醇,涡旋混合2min,超声10min,以4000r/min离心10min,收集上清液,重复上述步骤2次,合并3次提取液至100mL圆底烧瓶中;再向残渣中加入5mL80%丙酮,重复上述步骤2次,将该提取液与上述提取液合并,并在45℃下真空浓缩至5mL,用70%甲醇溶解浓缩物并定容至25mL容量瓶中,储存在-20℃冰箱备用。

1.2.3 总酚含量测定

采用Folin-酚法测定,参考乔丽华等^[14]方法。取0.3mL提取液于10mL玻璃管中,然后加入1mL Folin-酚试剂,涡旋混合1min,使其反应,再加入3mL10%的Na₂CO₃溶液,振摇,加蒸馏水至10mL,于45℃水浴中反应1.5h,在765nm波长处测定吸光度。同样,按照上述方法,以没食子酸标准溶液代替样品绘制标准曲线,没食子酸质量浓度与吸光度之间具有高度显著的线性关系,线性方程为 $y = 84.5536x + 0.0215$, $R^2 = 0.9991$ 。样品中总酚含量(以没食子酸计)计算公式如下:

$$\text{总酚含量} = \frac{\rho \times V_1 \times V_2}{V_3 \times m}$$

式中: ρ 为没食子酸质量浓度,mg/mL; V_1 为反应液的总体积,mL; V_2 为提取液的总体积,mL; V_3 为测定时所取提取液的体积,mL; m 为样品质量,g。

1.2.4 木脂素含量测定

用一次性无菌注射器吸取提取液,经 0.22 μm 的微滤膜过滤后,注入进样瓶中,采用高效液相色谱仪和紫外检测器进行检测。色谱条件:Sunfire C18 色谱柱(250 mm \times 4.6 mm, 5 μm);柱温 30 $^{\circ}\text{C}$;流动相为甲醇-水(体积比 70:30),流速 0.8 mL/min;芝麻素、芝麻林素检测波长均为 287 nm;进样量 10 μL 。

1.2.5 总抗氧化能力测定

采用铁离子还原力(FRAP)法测定,参考 Xu 等^[15]方法稍作改动。FRAP 工作液现用现配,即将 300 mmol/L、pH 3.6 的乙酸钠缓冲液(0.310 0 g 三水合醋酸钠和 1.6 mL 冰醋酸用超纯水定容至 100 mL, pH 3.6)、10 mmol/L TPTZ 溶液(用 40 mmol/L HCl 溶液配制)、20 mmol/L $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶液按体积比 10:1:1 混合得到,加热至 37 $^{\circ}\text{C}$ 备用。

取 FRAP 工作液 5 mL 于玻璃管中,加入 50 μL 提取液,37 $^{\circ}\text{C}$ 条件下水浴 30 min,于 593 nm 波长处测定吸光度。同样,按照上述方法,以 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 标准溶液代替样品绘制标准曲线, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 浓度与吸光度之间具有高度显著的线性关系,线性方程为 $y = 0.00024x + 0.05789$, $R^2 = 0.9995$ 。样品总抗氧化能力(以 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 计)的计算公式如下:

$$\text{总抗氧化能力} = \frac{c \times V \times 10^{-3}}{m}$$

式中: c 为 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 浓度, $\mu\text{mol/L}$; V 为提取液的总体积, mL; m 为样品质量, g。

1.2.6 DPPH · 清除率测定

参考乔丽华等^[14]方法稍有改动。取提取液(芝麻皮的提取液用 70% 甲醇稀释 5 倍)0.5 mL,加入 2 mL 2×10^{-4} mol/L DPPH 甲醇溶液,再加入 2.5 mL 70% 甲醇,充分混合,避光静置 30 min,于 517 nm 波长处测定吸光度($A_{\text{样品}}$)。同时测定 2 mL 2×10^{-4} mol/L DPPH 甲醇溶液与 3 mL 70% 甲醇混合液的吸光度($A_{\text{空白}}$),以及 0.5 mL 提取液与 4.5 mL 70% 甲醇混合液的吸光度($A_{\text{背景}}$),按下式计算提取液对 DPPH · 的清除率:

$$\text{DPPH} \cdot \text{清除率} = \frac{A_{\text{空白}} - (A_{\text{样品}} - A_{\text{背景}})}{A_{\text{空白}}} \times 100\%$$

1.2.7 ·OH 清除率测定

用水杨酸捕捉 ·OH 法测定。参考 Li 等^[16]方法,略有改动。取提取液 4 mL,加入 2 mL 6 mmol/L FeSO_4 , 2 mL 8 mmol/L 水杨酸,最后加入 2 mL 24 mmol/L H_2O_2 启动反应,37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 20 min 后,在 510 nm 波长处测定吸光度。以蒸馏水代替提取液作为

空白,蒸馏水代替 H_2O_2 作为背景。按下式计算提取液对 ·OH 的清除率:

$$\cdot\text{OH} \text{ 清除率} = \frac{A_{\text{空白}} - (A_{\text{样品}} - A_{\text{背景}})}{A_{\text{空白}}} \times 100\%$$

1.2.8 数据统计与处理

采用 SPSS20 对数据进行处理和分析,实验结果表示为“ $\bar{x} \pm s$ ”, $P < 0.05$ 表示差异性显著;采用 Pearson 相关检验确定变量间的线性相关关系。

2 结果与分析

2.1 黑芝麻和白芝麻各组分的总酚含量(见表 1)

表 1 黑芝麻和白芝麻籽、仁及皮的

芝麻品种	总酚含量		
	芝麻籽	芝麻仁	芝麻皮
皖芝 5 号	4.38 \pm 0.03 ^d	0.65 \pm 0.04 ^e	28.38 \pm 0.14 ^d
驻芝 22 号	5.01 \pm 0.06 ^c	0.84 \pm 0.02 ^d	27.41 \pm 0.43 ^e
郑芝 20 号	4.63 \pm 0.14 ^{cd}	0.83 \pm 0.03 ^d	25.25 \pm 0.54 ^f
赣芝 14 号	10.21 \pm 0.21 ^a	1.38 \pm 0.08 ^b	36.54 \pm 0.19 ^b
冀黑芝 2 号	9.39 \pm 0.30 ^b	1.19 \pm 0.11 ^c	31.67 \pm 0.39 ^c
郑芝 HL05	10.47 \pm 0.24 ^a	1.55 \pm 0.07 ^a	42.69 \pm 0.32 ^a

注:同列小写字母不同,代表存在显著性差异($P < 0.05$),下同。

由表 1 可知,黑芝麻籽、仁及皮的总酚含量均高于白芝麻籽、仁及皮,且 3 个黑芝麻品种各部分总酚含量均与白芝麻各部分总酚含量存在显著性差异($P < 0.05$)。这与 Zhou 等^[12]及 Shahidi 等^[13]的研究结果黑芝麻中总酚含量高于白芝麻一致。芝麻皮中总酚含量最高,而芝麻仁中总酚含量最低,可知芝麻中总酚主要存在于皮中;黑芝麻皮和白芝麻皮的总酚含量平均值分别为 37.00、27.01 mg/g,其中郑芝 HL05 黑芝麻皮的总酚含量最高(为 42.69 mg/g),是白芝麻皮总酚含量最高的皖芝 5 号的 1.5 倍。黑芝麻籽、仁及皮中总酚含量在品种之间存在显著性差异($P < 0.05$),而对于白芝麻,仅芝麻皮中总酚含量在品种之间存在显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 黑芝麻和白芝麻各组分的木脂素含量

芝麻素和芝麻林素是主要的芝麻木脂素,分别占种子质量的 0.2% ~ 0.5% 和 0.1% ~ 0.3%^[17]。黑芝麻和白芝麻籽、仁及皮的木脂素含量见表 2。

由表 2 可知,芝麻籽、芝麻仁及芝麻皮中芝麻素和芝麻林素含量均较低(< 40 mg/100 g)。刘兵戈等^[18]对芝麻皮中木脂素含量进行测定,结果显示芝麻素和芝麻林素含量分别为 37、25 mg/100 g,而芝麻酚未检出,与本实验芝麻皮中木脂素含量相近。芝麻籽和芝麻仁中木脂素含量低,与 Zhou 等^[12]的研究结果一致,其原因可能是在提取物制备前对样

品进行了脱脂处理,木脂素随着大量油脂的脱除而被带出,还可能因为木脂素仅部分可溶于 70% 甲醇。而芝麻皮中油脂含量低,木脂素不易被脱脂带出,因此芝麻皮脱脂前后的木脂素含量变化不大。黑芝麻和白芝麻各品种间芝麻籽、芝麻仁及芝麻皮

中木脂素含量变化不大,其变化规律不一致;白芝麻仁与黑芝麻仁芝麻素含量存在显著性差异($P < 0.05$),而白芝麻品种和黑芝麻品种间芝麻仁中芝麻素含量没有显著性差异($P > 0.05$);芝麻皮中芝麻素含量在 6 个品种间存在显著性差异($P < 0.05$)。

表 2 黑芝麻和白芝麻籽、仁及皮的木脂素含量

mg/100 g

芝麻品种	芝麻素			芝麻林素		
	芝麻籽	芝麻仁	芝麻皮	芝麻籽	芝麻仁	芝麻皮
皖芝 5 号	25.17 ± 0.24 ^c	37.28 ± 2.11 ^a	21.35 ± 0.22 ^f	14.28 ± 0.03 ^d	19.42 ± 1.39 ^{ab}	14.20 ± 0.36 ^d
驻芝 22 号	28.76 ± 2.20 ^c	37.55 ± 0.07 ^a	22.94 ± 0.87 ^e	14.55 ± 0.56 ^d	17.57 ± 0.16 ^b	12.31 ± 0.42 ^c
郑芝 20 号	38.30 ± 0.96 ^a	37.46 ± 0.98 ^a	29.56 ± 0.77 ^c	21.37 ± 0.36 ^a	20.61 ± 0.38 ^a	20.25 ± 0.59 ^b
赣芝 14 号	33.37 ± 0.52 ^b	33.62 ± 1.37 ^b	27.80 ± 0.63 ^d	18.70 ± 0.29 ^b	18.93 ± 0.61 ^{ab}	16.57 ± 0.22 ^c
冀黑芝麻 2 号	28.16 ± 1.86 ^c	31.33 ± 3.10 ^b	38.13 ± 0.76 ^a	16.49 ± 0.90 ^e	18.45 ± 1.72 ^{abc}	22.44 ± 1.38 ^a
郑芝 HL05	34.86 ± 2.78 ^{ab}	31.13 ± 0.80 ^b	33.39 ± 0.33 ^b	17.28 ± 1.31 ^{bc}	16.03 ± 0.89 ^c	17.48 ± 0.68 ^c

2.3 黑芝麻和白芝麻各组分的总抗氧化能力分析

黑芝麻和白芝麻籽、仁及皮的总抗氧化能力见表 3。

表 3 黑芝麻和白芝麻籽、仁及皮的

总抗氧化能力 $\mu\text{mol/g}$

芝麻品种	芝麻籽	芝麻仁	芝麻皮
皖芝 5 号	30.32 ± 0.93 ^d	8.01 ± 0.43 ^a	169.20 ± 4.03 ^d
驻芝 22 号	31.79 ± 1.49 ^d	5.82 ± 0.87 ^c	177.83 ± 0.75 ^d
郑芝 20 号	32.07 ± 1.23 ^d	6.54 ± 0.38 ^{bc}	170.27 ± 1.13 ^d
赣芝 14 号	61.35 ± 1.61 ^b	7.75 ± 0.14 ^a	249.68 ± 3.53 ^b
冀黑芝麻 2 号	54.18 ± 1.52 ^c	7.50 ± 0.00 ^{ab}	232.04 ± 2.78 ^c
郑芝 HL05	67.91 ± 0.65 ^a	8.31 ± 0.03 ^a	287.90 ± 5.73 ^a

由表 3 可知,黑芝麻籽及黑芝麻皮的总抗氧化能力均高于白芝麻籽及白芝麻皮,而黑、白芝麻仁的总抗氧化能力相差不大。相比于芝麻籽及芝麻仁,芝麻皮的总抗氧化能力最高,而芝麻仁的总抗氧化能力最低;郑芝 HL05 黑芝麻皮的总抗氧化能力最强,是白芝麻皮中总抗氧化能力最强的驻芝 22 号的 1.62 倍。白芝麻籽及白芝麻皮的总抗氧化能力在品种间无显著性差异($P > 0.05$),而黑芝麻籽及黑芝麻皮在品种之间存在显著性差异($P < 0.05$);黑芝麻籽总抗氧化能力均值为 61.15 $\mu\text{mol/g}$,白芝麻籽总抗氧化能力均值为 31.40 $\mu\text{mol/g}$,由此可知黑芝麻籽的总抗氧化能力约是白芝麻籽的 2 倍。

2.4 黑芝麻和白芝麻各组分对 DPPH · 清除作用 (见表 4)

由表 4 可知,黑、白芝麻皮对 DPPH · 清除率均高于芝麻籽及芝麻仁,而芝麻仁对 DPPH · 清除率最低,均在 20% 以下;黑芝麻籽及其皮对 DPPH · 清除率均高于白芝麻籽及其皮,且黑芝麻品种与白芝麻品种间存在显著性差异($P < 0.05$);黑芝麻籽对

DPPH · 清除率平均值为 58.72%,白芝麻籽对 DPPH · 清除率平均值为 35.12%,黑芝麻籽的 DPPH · 清除率是白芝麻籽的 1.7 倍。

表 4 黑芝麻和白芝麻籽、仁及皮对

DPPH · 清除率 %

芝麻品种	芝麻籽	芝麻仁	芝麻皮
皖芝 5 号	39.46 ± 1.69 ^c	15.37 ± 1.05 ^a	51.66 ± 2.94 ^{cd}
驻芝 22 号	34.84 ± 0.81 ^d	12.62 ± 1.43 ^{ab}	55.61 ± 0.22 ^{cd}
郑芝 20 号	31.07 ± 0.55 ^e	10.33 ± 0.90 ^b	48.84 ± 0.97 ^d
赣芝 14 号	52.00 ± 0.58 ^b	13.12 ± 1.89 ^{ab}	75.58 ± 1.65 ^a
冀黑芝麻 2 号	61.88 ± 0.97 ^a	11.49 ± 1.15 ^b	68.74 ± 0.77 ^b
郑芝 HL05	62.29 ± 2.44 ^a	15.49 ± 0.44 ^a	70.76 ± 2.50 ^b

2.5 黑芝麻和白芝麻各组分对 ·OH 清除作用 (见表 5)

表 5 黑芝麻和白芝麻籽、仁及皮对

·OH 清除率 %

芝麻品种	芝麻籽	芝麻仁	芝麻皮
皖芝 5 号	3.32 ± 0.36 ^d	1.79 ± 0.14 ^{bc}	69.77 ± 0.49 ^b
驻芝 22 号	1.84 ± 0.14 ^e	1.54 ± 0.35 ^{bc}	69.37 ± 0.77 ^b
郑芝 20 号	1.43 ± 0.29 ^e	2.14 ± 0.49 ^b	64.69 ± 3.17 ^c
赣芝 14 号	5.57 ± 0.14 ^c	1.04 ± 0.07 ^c	75.00 ± 0.70 ^a
冀黑芝麻 2 号	7.05 ± 0.70 ^b	3.72 ± 0.77 ^a	70.62 ± 0.85 ^b
郑芝 HL05	9.03 ± 1.12 ^a	2.09 ± 0.27 ^{bc}	71.81 ± 1.27 ^{ab}

由表 5 可知,黑、白芝麻籽及芝麻仁对 ·OH 均表现出很弱的清除能力,芝麻籽对 ·OH 清除率均在 10% 以下,芝麻仁对 ·OH 清除率更低,均在 5% 以下;而芝麻皮较芝麻籽及芝麻仁对 ·OH 有较强的清除能力,其对 ·OH 清除率均在 60% 以上,黑芝麻皮对 ·OH 清除率略高于白芝麻皮。

2.6 黑芝麻和白芝麻各组分抗氧化物质与抗氧化活性的相关性 (见表 6 ~ 表 8)

表 6 黑、白芝麻籽抗氧化物质与抗氧化活性的相关性 ($n = 12$)

项目	总酚	芝麻素	芝麻林素	TAC	DPPH · 清除率	· OH 清除率
总酚	1					
芝麻素	0.217	1				
芝麻林素	0.168	0.911 *	1			
TAC	0.987 **	0.285	0.192	1		
DPPH · 清除率	0.923 **	-0.047	-0.074	0.911 *	1	
· OH 清除率	0.931 **	0.028	-0.064	0.947 **	0.979 **	1

注: TAC 为总抗氧化能力; * $P < 0.05$ 表示显著相关; ** $P < 0.01$ 表示极显著相关。下同。

表 7 黑、白芝麻仁抗氧化物质与抗氧化活性的相关性 ($n = 12$)

项目	总酚	芝麻素	芝麻林素	TAC	DPPH · 清除率	· OH 清除率
总酚	1					
芝麻素	-0.888 *	1				
芝麻林素	-0.621	0.577	1			
TAC	0.516	-0.629	-0.250	1		
DPPH · 清除率	0.215	-0.198	-0.561	0.664	1	
· OH 清除率	0.072	-0.469	-0.028	0.100	-0.339	1

表 8 黑、白芝麻皮抗氧化物质与抗氧化活性的相关性 ($n = 12$)

项目	总酚	芝麻素	芝麻林素	TAC	DPPH · 清除率	· OH 清除率
总酚	1					
芝麻素	0.441	1				
芝麻林素	0.096	0.880 *	1			
TAC	0.968 **	0.628	0.292	1		
DPPH · 清除率	0.843 *	0.548	0.254	0.909 *	1	
· OH 清除率	0.736	0.097	-0.187	0.702	0.869 *	1

由表 6 ~ 表 8 可知,黑、白芝麻籽及芝麻皮中总酚与总抗氧化能力呈极显著正相关 ($P < 0.01$),与 DPPH · 清除率呈极显著 ($P < 0.01$) 或显著 ($P < 0.05$) 正相关;黑、白芝麻籽及芝麻皮中芝麻素与芝麻林素呈显著正相关 ($P < 0.05$)。

3 结 论

黑芝麻各组分的总酚含量均高于白芝麻,且芝麻皮中总酚含量最高,黑芝麻皮和白芝麻皮的总酚含量平均值分别为 37.00、27.01 mg/g;黑芝麻和白芝麻各品种间芝麻籽、芝麻仁及芝麻皮中木脂素含量变化不大,且芝麻素和芝麻林素含量均较低 (< 40 mg/100 g);黑芝麻籽及黑芝麻皮的总抗氧化能力均高于白芝麻籽及白芝麻皮,而黑、白芝麻仁的总抗氧化能力相差不大,其中芝麻皮的总抗氧化能力最高,而芝麻仁的总抗氧化能力最低;黑、白芝麻皮对 DPPH · 清除率均显著高于芝麻籽及芝麻仁,而芝麻仁对 DPPH · 清除率最弱,均在 20% 以下;黑、白芝麻籽及芝麻仁对 · OH 均表现出很弱的清除能力,芝麻籽对 · OH 清除率均在 10% 以下,芝麻仁对 · OH 清除率均在 5% 以下,而芝麻皮对 · OH 清除率均在 60% 以上。黑、白芝麻籽及芝麻皮总酚

与总抗氧化能力呈极显著正相关 ($P < 0.01$),与 DPPH · 清除率呈极显著 ($P < 0.01$) 或显著 ($P < 0.05$) 正相关;黑、白芝麻籽及芝麻皮中芝麻素与芝麻林素呈显著正相关 ($P < 0.05$)。

参考文献:

- [1] 李娜. 芝麻的营养成分与食疗保健作用[J]. 中国食物与营养, 2008(5):55-57.
- [2] NAMIKI M. The chemistry and physiological functions of sesame[J]. Food Rev Int, 1995, 11(2):281-329.
- [3] ABOU - GHARBIA H A, SHAHIDI F, ADEL A, et al. Effects of processing on oxidative stability of sesame oil extracted from intact and dehulled seeds[J]. J Am Oil Chem Soc, 1997, 74(3):215-221.
- [4] CHEN P R, CHIEN K L, SU T C, et al. Dietary sesame reduces serum cholesterol and enhances antioxidant capacity in hypercholesterolemia[J]. Nutr Res, 2005, 25(6):559-567.
- [5] LAZAROU D, GROUGNET R, PAPADOPOULOS A. Antimutagenic properties of a polyphenol - enriched extract derived from sesame - seed perisperm[J]. Mutat Res - Gen Tox En, 2007, 634(1/2):163-171.

(下转第 47 页)

变温条件下,熔点较高的31S和61S具有促进可可脂热力学亚稳定态晶型的形成和晶型转换的效果,特别是促进了II型晶型的形成。而PGPR由于自身熔点低、添加量少,在快速变温条件下,对可可脂的热力学特性无显著影响。变温速率对可可脂结晶特性影响显著,在不施加剪切力的条件下,缓慢的升温速率和足够的时间,可促使可可脂自发转换形成V型晶型。

参考文献:

- [1] 华聘聘. 巧克力制品起霜的主要原因[J]. 中国油脂, 1994,19(2):48-51.
- [2] WHILE R L, LUTTON E S. Polymorphism of cocoa butter [J]. J Am Oil Chem Soc, 1966,43(9):491-496.
- [3] GARTI N, ASERIN A. Cocoa butter and related compounds[M]. America:AOCs Press, 2012:275-305.
- [4] 孟宗,耿温馨,王凤艳,等. 乳化剂对氢化棕榈仁油硬脂等热结晶行为影响研究[J]. 粮食与油脂, 2013,26(10):50-52.
- [5] GONÇALVES E V, LANNES S C S. Chocolate rheology [J]. Ciênc Tecnol Aliment,2010, 30(4):845-851.
- [6] 林军. 聚甘油酯在食品中的应用研究[D]. 济南:山东大学, 2006.
- [7] 凌关庭. 食品乳化剂及其进展(三)[J]. 粮食与油脂, 1999(2):42-46.
- [8] 蔡云升. 新型冰淇淋乳化剂——三聚甘油单硬脂酸酯[J]. 食品工业, 1998(1):15-16.
- [9] 王凤艳,王兴国,孙小玲,等. 乳化剂对可可脂结晶行为的影响[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(1):53-56.
- [10] DELBAEREL C, VAN DE WALLE D, DEYPERE F, et al. Relationship between chocolate microstructure, oil migration, and fat bloom in filled chocolates[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2016, 118:1800-1826.
- [11] SONWAI S, ROUSSEAU D. Controlling fat bloom formation in chocolate - impact of milk fat on microstructure and fat phase crystallisation[J]. Food Chem, 2010, 119:286-297.
- [12] AFOAKWA E O. Fat bloom formation and development in chocolates, in chocolate science and technology[M]. UK, Chichester:John Wiley & Sons Ltd., 2016:345-364.
- [13] ARONHIME J S, SARIG S, GARTI N. Reconsideration of polymorphic transformations in cocoa butter using the DSC [J]. J Am Oil Chem Soc, 1988, 65(7):1140-1143.
- [14] SONWAI S, PODCHONG P, ROUSSEAU D. Crystallization kinetics of cocoa butter in the presence of sorbitan esters[J]. Food Chem, 2017, 214:497-506.
- [15] 陈寸红,张虹,毕艳兰,等. 人造奶油结晶影响因素的研究进展[J]. 中国油脂,2013,38(12):17-22.
- (上接第41页)
- [6] YOKOTA T, MATSUZAKI Y, KOYAMA M, et al. Sesamin, a lignan of sesame, down-regulates cyclin D1 protein expression in human tumor cells [J]. Cancer Sci, 2007, 98(9):1447-1453.
- [7] 戴洪平,王兴国,余春涛. 芝麻素的研究及开发[J]. 中国油脂,2003,28(6):52-54.
- [8] 安建博. 芝麻素对高血脂症大鼠糖代谢的作用[J]. 营养学报,2010,32(2):145-148.
- [9] MOAZZAMI A A, KAMALELDIN A. Sesame seed is a rich source of dietary lignans[J]. J Am Oil Chem Soc, 2006, 83(8):719-723.
- [10] JIN H K, SEO W D, LEE S K, et al. Comparative assessment of compositional components, antioxidant effects, and lignan extractions from Korean white and black sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds for different crop years[J]. J Funct Foods, 2014, 7(2):495-505.
- [11] XU J, CHEN S, HU Q. Antioxidant activity of brown pigment and extracts from black sesame seed (*Sesamum indicum* L.) [J]. Food Chem, 2005, 91(1):79-83.
- [12] ZHOU L, LIN X, ABBASI A M, et al. Phytochemical contents and antioxidant and antiproliferative activities of selected black and white sesame seeds [J]. Biomed Res Int, 2016, 2016(2):1-9.
- [13] SHAHIDI F, LIYANAPATHIRANA C M, WALL D S. Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions[J]. Food Chem, 2006, 99(3):478-483.
- [14] 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.
- [15] XU B J, CHANG S K C. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents [J]. J Food Sci, 2007, 72(2):S159-S166.
- [16] LI H, WANG Q. Evaluation of free hydroxyl radical scavenging activities of some Chinese herbs by capillary zone electrophoresis with amperometric detection[J]. Anal Bioanal Chem, 2004, 378(7):1801-1805.
- [17] 陈凤香,曹文明,曹国武,等. 芝麻木脂素研究进展[J]. 粮食与油脂, 2012, 25(6):1-6.
- [18] 刘兵戈,汪学德,黄维,等. 原料脱皮和制油工艺对芝麻油品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2013, 34(6):32-36.