

不同品种核桃仁成分及烘烤对其油脂品质和内源性蛋白酶活性的影响

王鲁明¹, 黄闽敏², 陈业明¹

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122; 2. 新疆林科院经济林研究所, 乌鲁木齐 830092)

摘要:旨在为工业去衣核桃仁的烘烤处理条件提供参考, 选择我国4个品种核桃仁作为研究对象, 比较了4种核桃仁的蛋白质和脂肪含量, 分析了其氨基酸和脂肪酸组成, 并考察了烘烤(60~140℃烘烤1~3 h使水分含量降至5%以下)对这4种去衣核桃仁油脂品质及内源性蛋白酶活性的影响。结果表明:核桃仁蛋白质(13.73%~17.54%)、脂肪(69.10%~72.77%)含量及其油脂亚麻酸含量(8.77%~13.23%)在品种间存在显著性差异($p < 0.05$), 而氨基酸组成未表现出明显差异;随着烘烤温度的升高, 4种去衣核桃仁油脂的酸值及过氧化值均呈现不断上升的趋势, 但均未超过国家标准要求;未烘烤核桃仁内源性蛋白酶活性在品种间也存在显著性差异($p < 0.05$);烘烤温度对核桃仁内源性蛋白酶活性有显著影响, 60~80℃烘烤尚且保留了大部分的内源性蛋白酶活性, 而100~140℃烘烤核桃仁内源性蛋白酶活性大幅度下降甚至丧失。综上, 烘烤对去衣核桃仁油脂及内源性蛋白酶的影响并不因核桃品种的不同而产生差异, 60~80℃的烘烤适合生产高内源性蛋白酶活性的去衣核桃仁(坚果类产品)。

关键词:核桃; 去衣核桃仁; 烘烤温度; 核桃油; 内源性蛋白酶

中图分类号: TS222+.1; TS207.7 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2024)05-0042-06

Composition of walnut kernels from different varieties and effect of roasting on their oils quality and endogenous protease activities

WANG Luming¹, HUANG Minmin², CHEN Yeming¹

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China;

2. Institute of Economic Forestry, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi 830092, China)

Abstract: In order to provide reference for roasting treatment conditions of industrial peeled walnut kernels, four varieties of walnut kernel cultivated in China were selected as samples, the protein and fat contents in the four walnut kernels were compared, and the amino acid and fatty acid compositions were analyzed, respectively. Then the effects of roasting (reducing the moisture of peeled kernels to below 5% by roasting for 1-3 h at 60-140℃) on the oil quality and endogenous protease activity of the four peeled walnut kernels were examined. The results showed that there were significant differences in the protein content (13.73% - 17.54%), fat content (69.10% - 72.77%) of the four walnut kernels and linolenic acid content (8.77% - 13.23%) in their oils ($p < 0.05$). In the case of amino acid composition, the four walnut kernels did not show significant differences. With the increase of roasting

temperature, the acid value and peroxide value of walnut oil in the four peeled walnut kernels showed a rising trend, but none of them exceeded the national standard. The endogenous protease activity of the four peeled walnut kernels (unroasted) showed significant differences ($p < 0.05$). The roasting temperature had a significant

收稿日期: 2023-01-16; 修回日期: 2023-11-19

基金项目: 江苏省林业科技创新与推广项目(LYKJ-句容[2020]01)

作者简介: 王鲁明(1997), 男, 在读硕士, 研究方向为油脂与植物蛋白(E-mail) wlm_0504@163.com。

通信作者: 陈业明, 副教授, 博士(E-mail) chenyming@jiangnan.edu.cn。

effect on the protease activity of walnut kernel. Most of the endogenous protease activity was retained after roasting at 60 – 80 °C, whereas after roasting at 100 – 140 °C, the endogenous protease activity decreased substantially or even lost. In conclusion, the effect of roasting on oil and endogenous protease of peeled walnut kernels does not differ according to walnut varieties, and roasting at 60 – 80 °C is suitable for the production of peeled walnut kernels with high endogenous protease activity (nut products).

Key words: walnut; peeled walnut kernel; roasting temperature; walnut oil; endogenous protease

核桃(*Juglans regia* L.)是我国分布最广的经济树种之一,年产量约479.6万t,居世界首位^[1]。核桃仁中含有大量营养物质,如蛋白质、脂肪等,具有较高的营养和保健价值,并且,其脂肪中富含的多不饱和脂肪酸(亚油酸、 α -亚麻酸)具有预防心脑血管疾病、减缓肿瘤细胞生长等作用^[2-3]。另外,核桃仁中含有丰富的内源性蛋白酶,其在核桃仁总蛋白中的相对丰度达到了0.5%^[4]。植物内源性蛋白酶往往能在较宽的pH和温度范围内发挥良好的水解活性^[4-5],因此其可以在治疗消化不良以及胃溃疡方面发挥一定作用^[6]。此外,核桃仁还含有超氧化物歧化酶(0.31%)、过氧化氢酶(0.07%)等生物活性蛋白^[4]。

目前,核桃仁主要是作为坚果类食品进行销售和食用,其作为坚果的主要食用方式一直都是带衣食用,但核桃衣中有大量的酚类物质存在^[7-8],如单宁等,会使核桃仁在食用时有明显的苦涩味,极大地影响了核桃仁作为坚果类食品的消费和食用。因此,目前核桃产业开始引入并运用核桃去衣设备,该设备的主要工作原理是将核桃仁用水浸泡后利用高压水枪冲洗去衣,但这样得到的去衣核桃仁水分含量很高,在后续加工中需要进行烘烤,以降低其水分含量并延长其货架期。已有的研究表明,高强度的烘烤会破坏核桃仁内部的甾醇及生育酚^[9],并且会使丙二醛含量大量增加^[10],但对核桃仁中内源性蛋白酶及核桃油的影响鲜有报道。

考虑到核桃品种不同可能导致核桃仁中蛋白质和脂肪含量及组成存在差异,从而使得烘烤效果存在差异。本文以我国4个主栽品种核桃仁为研究对象,比较其蛋白质和脂肪含量,并分别对其氨基酸及脂肪酸组成进行测定,然后经人工去衣处理后,考察不同烘烤温度对去衣核桃仁中内源性蛋白酶活性及其油脂品质的影响,旨在为工业上去衣核桃仁的烘烤处理条件的选择提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

4个品种的核桃仁(其资源信息如表1所示),

储存在4 °C下备用。37种脂肪酸甲酯标准品,美国Sigma公司;正己烷,色谱纯;其他常规试剂均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

表1 核桃仁资源信息

品种	产地	年份
清香(Q)	湖北保康	2021
辽核(L)	湖北保康	2021
温185(W)	新疆阿克苏	2021
新新2(X)	新疆阿克苏	2021

1.1.2 仪器与设备

YS20 液压榨油机,上海徐吉电气有限公司;T3-L326B 电烤箱、MJ-60BE01B 打浆机,美的电器有限公司;HimacCR21G II 型冷冻离心机,日本日立公司;K9840 半自动凯氏定氮仪,济南海能仪器股份有限公司;Agilent1100 型全自动氨基酸分析仪、Agilent1100 型液相色谱仪,美国安捷伦公司;QP460 气相色谱质谱联用仪(GC-MS),Bruker 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 核桃仁基本成分测定

蛋白质含量:按照 GB 5009.5—2016 中的凯氏定氮法进行测定。

脂肪含量:4种核桃仁各取25g,在80MPa下压榨30min,每份样品压榨2次,记录核桃油和压榨饼的质量,再按 GB 5009.6—2016 中的氯仿-甲醇法测定压榨饼残油率,按公式(1)计算核桃仁中脂肪含量(Y)。

$$Y = (m_1 + m_2 C) / m_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_1 为核桃油质量,g; m_2 为压榨饼质量,g; C 为压榨饼残油率; m_0 为核桃仁质量,g。

1.2.2 核桃仁氨基酸组成测定

参考廖小微等^[11]的方法并作一定修改测定氨基酸组成及占比。称取50mg压榨饼(1.2.1所得)于水解管中,加入10mL6mol/L盐酸溶液,置于120 °C烘箱中水解24h,冷却后过滤并定容到50mL备用。取2mL滤液于试管中,于95 °C烘箱蒸干后冷却,再加入2mL0.02mol/L的盐酸溶液复溶,经

0.22 μm 滤膜过滤到进样瓶中,再使用氨基酸分析仪进行测定。

1.2.3 核桃油脂肪酸组成测定

采用气相色谱法测定脂肪酸组成。取 2~3 滴压榨核桃油(1.2.1 所得),加 2 mL 0.5 mol/L 的 NaOH-CH₃OH 溶液,于 65 °C 水浴中皂化 30 min,加入 2 mL BF₃-CH₃OH(体积比 1:3)溶液,于 70 °C 反应 5 min,再加入 2 mL 正己烷(色谱纯)振荡萃取,静置后吸取有机相于 1.5 mL 离心管中,加一定量无水 Na₂SO₄,然后在 10 000 r/min 下离心 5 min,取上清液于进样瓶中,待 GC 分析。

GC 条件:DB-WAX 色谱柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);FID 检测器,温度 250 °C;进样口温度 250 °C;升温程序为 100 °C 保持 3 min,180 °C 保持 1 min,240 °C 保持 9 min;载气(N₂)流量 3 mL/min,燃气(H₂)流量 40 mL/min,助燃气(Air)流量 400 mL/min;分流比 1:5;进样量 1 mL。

根据标准品保留时间对脂肪酸定性,采用峰面积归一化法定量。

1.2.4 核桃仁的去衣、烘烤处理及油样制备

取 4 种核桃仁各 35 g,清洗干净后,以去离子水(料水比 1:9)在 4 °C 下浸泡 12 h 后人工去衣,然后分别置于 60、80、100、120、140 °C 烘箱中烘烤 1~3 h 至水分含量低于 5%。取 25 g 经烘烤处理的核桃仁,在 80 MPa 下压榨 30 min 制油,重复压榨 1 次,得核桃油。

1.2.5 核桃油酸值和过氧化值的测定

酸值,参考 GB 5009.229—2016 中的冷溶剂指示剂滴定法进行测定;过氧化值,参考 GB 5009.227—2016 中的滴定法进行测定。

1.2.6 核桃仁内源性蛋白酶活性的表征

取 12 g 去衣核桃仁于打浆机中,加去离子水至 72 g,打浆 1 min,用 0.075 mm(200 目)滤布过滤后,将滤渣再次置于打浆机中,加入 48 g 去离子水,打浆 30 s,过滤后合并 2 次滤液。以 0.6 mol/L 盐酸溶液调滤液 pH 至 4.5,于 50 °C 下酶解 6 h,酶解时滤液搅拌速度为 200 r/min。分别取酶解 0 h 和 6 h 的滤液,测定其三氯乙酸氮溶解指数(TCA-NSI),并以 TCA-NSI 增量表征内源性蛋白酶的活性。

TCA-NSI 的测定:取 10 g 上述待测样品,加入等质量的质量分数为 30% 的 TCA 溶液,混合均匀。在室温下静置 1 h 后,离心(10 000 r/min,20 min,4 °C)得到上清液,用凯氏定氮法测定其氮含量,同时测定样品的总含氮量。每个样品平行测定 3 次。

按公式(2)计算 TCA-NSI。

$$I = C_1/C_2 \times 100\% \quad (2)$$

式中: I 为 TCA-NSI; C_1 为上清液氮含量,g; C_2 为样品氮含量,g。

核桃仁中内源性蛋白酶活性按公式(3)计算。

$$R = I_1 - I_0 \quad (3)$$

式中: R 为内源性蛋白酶活性; I_0 、 I_1 分别为酶解 0 h 和 6 h 的 TCA-NSI。

烘烤后核桃仁中内源性蛋白酶活性保留率按公式(4)计算。

$$R_A = R_1/R_0 \quad (4)$$

式中: R_A 为内源性蛋白酶活性保留率; R_1 为烘烤核桃仁的内源性蛋白酶活性; R_0 为未烘烤核桃仁的内源性蛋白酶活性。

1.2.7 数据统计与分析

所有试验均重复 3 次,使用 Excel 2016 软件进行绘图和计算,并用 SPSS 软件进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种核桃仁的蛋白质和脂肪含量

表 2 为不同品种核桃仁的蛋白质和脂肪含量。

表 2 不同品种核桃仁的蛋白质和脂肪含量 %

项目	温 185	新新 2	辽核	清香
蛋白质	14.09 ± 0.10 ^b	17.54 ± 0.02 ^d	15.72 ± 0.03 ^c	13.73 ± 0.06 ^a
脂肪	70.22 ± 0.23 ^b	69.10 ± 0.27 ^a	70.40 ± 0.36 ^b	72.77 ± 0.12 ^c

注:同行不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同

由表 2 可知:4 种核桃仁的蛋白质含量在 13.73%~17.54% 之间,其中‘新新 2’的最高,‘清香’的最低,不同品种间存在显著性差异($p < 0.05$);‘清香’核桃仁的脂肪含量(72.77%)显著高于其他品种($p < 0.05$),‘新新 2’的脂肪含量(69.10%)则显著低于其他品种($p < 0.05$),‘温 185’和‘辽核’的脂肪含量(分别为 70.22% 和 70.40%)居中且二者无显著性差异($p > 0.05$)。结果表明,核桃品种的不同会导致核桃仁中蛋白质和脂肪含量存在差异。

2.2 不同品种核桃仁的氨基酸组成

对 4 种核桃仁的氨基酸组成进行分析,结果如表 3 所示。

由表 3 可知,4 种核桃仁的氨基酸组成并未表现出明显的差异。其中,谷氨酸+谷氨酰胺含量最高,占比达到 21% 左右;其次为精氨酸,占比在 15% 左右;再次是天冬氨酸+天冬酰胺,占比 10% 左右;与之前的研究结果^[12] 相符。较高含量的谷氨酸和精氨酸是核桃蛋白的一个重要特征,谷氨酸可以改

善儿童智力发育^[13],精氨酸则可以通过精氨酸-NO代谢途径转化为有效的血管舒张剂,从而起到抑制血小板聚集和预防血栓形成的作用^[14],也因此使核桃具有了促进健康的特性。另有研究发现,蛋白质中赖氨酸/精氨酸的比值较低时,可以有效减少动脉粥样硬化的形成^[15]。本研究中4种核桃仁的蛋白质中赖氨酸/精氨酸的比值为0.17~0.19,要低于其他蛋白质(大豆蛋白0.58、酪蛋白1.28)^[16]。综上所述,对于不同品种核桃来说,其蛋白质含量可能因品种的不同产生差异,但蛋白质的氨基酸组成却不受品种的影响。

表3 不同品种核桃仁的氨基酸组成及占比 %

氨基酸	温185	新新2	辽核	清香
天冬氨酸+天冬酰胺	10.11±0.08 ^a	10.33±0.11 ^a	10.19±0.01 ^a	10.18±0.01 ^a
苏氨酸	3.28±0.00 ^a	3.29±0.01 ^a	3.27±0.02 ^a	3.22±0.04 ^a
丝氨酸	4.44±0.07 ^a	4.56±0.02 ^a	4.51±0.05 ^a	4.58±0.01 ^a
谷氨酸+谷氨酰胺	21.16±0.11 ^a	21.06±0.09 ^a	21.24±0.03 ^a	21.00±0.16 ^a
甘氨酸	5.24±0.01 ^a	5.25±0.01 ^a	5.20±0.02 ^a	5.27±0.04 ^a
丙氨酸	4.31±0.02 ^a	4.28±0.02 ^a	4.42±0.01 ^b	4.42±0.03 ^b
半胱氨酸	1.38±0.02 ^b	1.17±0.05 ^a	1.41±0.04 ^b	1.23±0.01 ^a
缬氨酸	5.12±0.02 ^a	5.09±0.03 ^a	5.24±0.01 ^b	5.15±0.02 ^a
甲硫氨酸	0.99±0.02 ^{ab}	0.86±0.10 ^a	1.06±0.03 ^{ab}	1.11±0.05 ^b
异亮氨酸	4.29±0.01 ^a	4.30±0.02 ^a	4.30±0.03 ^a	4.35±0.03 ^a
亮氨酸	7.38±0.02 ^a	7.34±0.01 ^a	7.34±0.03 ^a	7.51±0.02 ^b
酪氨酸	3.38±0.03 ^a	3.38±0.04 ^a	3.31±0.03 ^a	3.41±0.02 ^a
苯丙氨酸	4.84±0.02 ^c	4.80±0.01 ^c	4.28±0.02 ^a	4.67±0.03 ^b
赖氨酸	2.93±0.02 ^b	2.69±0.03 ^a	2.69±0.02 ^a	2.74±0.02 ^a
组氨酸	2.46±0.01 ^a	2.44±0.01 ^a	2.44±0.03 ^a	2.37±0.05 ^a
精氨酸	15.21±0.03 ^a	15.60±0.02 ^b	15.58±0.05 ^b	15.36±0.06 ^a
脯氨酸	3.48±0.04 ^{ab}	3.55±0.01 ^b	3.53±0.02 ^{ab}	3.43±0.03 ^a

2.3 不同品种核桃油的脂肪酸组成

表4为不同品种核桃油的脂肪酸组成及含量。由表4可见,4种核桃油中不饱和脂肪酸含量高达91%以上,其中必需脂肪酸(亚油酸和亚麻酸)含量更是高达75%以上,较高的不饱和脂肪酸含量使得核桃对预防心脑血管疾病有良好作用。4种核桃油脂肪酸组成中,亚油酸含量最高,在64.29%~66.49%之间,其次是油酸(13.98%~15.57%)和亚麻酸(8.77%~13.23%)。4种核桃油的亚麻酸含量存在显著性差异($p < 0.05$),其中‘温185’的含量(13.23%)最高,‘清香’的含量(8.77%)最低。但是,‘清香’的油酸含量(15.57%)显著高于其他

3个品种的($p < 0.05$)。另外,‘辽核’和‘清香’的亚油酸含量(66.05%和66.49%)显著高于‘温185’和‘新新2’的(64.29%和65.02%)($p < 0.05$)。在饱和脂肪酸方面,4种核桃油中棕榈酸含量最高,其中‘辽核’(含量最低,5.65%)和‘新新2’(含量最高,6.36%)存在显著性差异($p < 0.05$);‘温185’和‘新新2’的硬脂酸含量(分别为2.02%和2.03%)无显著性差异($p > 0.05$),但显著低于另外2个品种的;‘辽核’的硬脂酸含量(2.90%)显著高于其他3个品种的($p < 0.05$)。Verardo^[17]、Li^[18]、朱振宝^[19]等的研究表明,在核桃种植过程中,不同的产地环境、施肥方式和种植条件都会对核桃油的脂肪酸组成及含量产生一定影响,这也是本研究中4种核桃油脂肪酸含量差异的原因。

表4 不同品种核桃油的脂肪酸组成及含量 %

脂肪酸	温185	新新2	辽核	清香
豆蔻酸	0.02±0.00 ^a	0.02±0.01 ^a	0.01±0.00 ^a	0.02±0.00 ^a
棕榈酸	6.13±0.21 ^{ab}	6.36±0.11 ^b	5.65±0.13 ^a	6.20±0.10 ^{ab}
棕榈油酸	0.06±0.01 ^a	0.08±0.00 ^a	0.06±0.00 ^a	0.07±0.01 ^a
十七烷酸	0.05±0.00 ^a	0.05±0.00 ^a	0.05±0.01 ^a	0.05±0.01 ^a
硬脂酸	2.02±0.07 ^a	2.03±0.05 ^a	2.90±0.11 ^c	2.58±0.03 ^b
油酸	13.98±0.32 ^a	14.12±0.21 ^a	14.45±0.13 ^a	15.57±0.26 ^b
亚油酸	64.29±0.12 ^a	65.02±0.14 ^a	66.05±0.29 ^b	66.49±0.18 ^b
亚麻酸	13.23±0.15 ^d	12.11±0.05 ^c	10.55±0.02 ^b	8.77±0.11 ^a
花生酸	0.06±0.00 ^a	0.06±0.00 ^a	0.08±0.01 ^a	0.08±0.00 ^a
二十碳烯酸	0.14±0.01 ^a	0.14±0.02 ^a	0.18±0.02 ^a	0.16±0.01 ^a
山萘酸	0.02±0.00 ^a	0.03±0.00 ^a	0.03±0.01 ^a	0.03±0.00 ^a

大量研究表明,摄入各种脂肪酸的比例不同,其所发挥的营养功能也不一样,其中,摄入 $\omega-3/\omega-6$ 多不饱和脂肪酸比例在1:4~1:6之间时,能更好地发挥其作用,更有利于对心脑血管等疾病的预防^[20]。本研究中‘温185’‘新新2’‘辽核’‘清香’核桃油的 $\omega-3/\omega-6$ 多不饱和脂肪酸比例分别约为1:5、1:5、1:6、1:8,可见,4种核桃油的 $\omega-3/\omega-6$ 多不饱和脂肪酸比例略有差异,除‘清香’的比例较高外,其他3个品种的比例均在合理范围之内。

2.4 烘烤温度对核桃油品质的影响

按1.2.4方法对去衣核桃仁进行烘烤处理,并压榨制油,测定核桃油的酸值和过氧化值,结果如图1所示。

本研究中,4种未烘烤核桃仁压榨所得核桃油的酸值(KOH)及过氧化值分别为0.09~0.12 mg/g和0.07~0.12 mmol/kg。

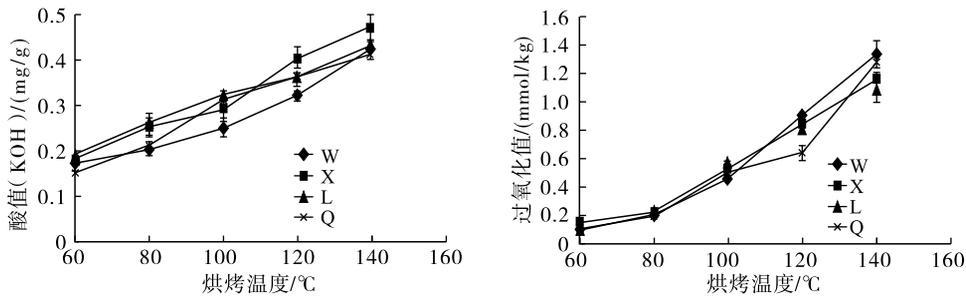


图1 烘烤温度对4种核桃油酸值和过氧化值的影响

由图1可知,随着烘烤温度的升高,4种核桃油的酸值不断上升,140℃时酸值(KOH)上升至0.41~0.47 mg/g。这主要是因为温度的升高加速了甘油三酯的水解,从而产生了更多的游离脂肪酸^[21]。由图1还可知,随着烘烤温度的升高,4种核桃油的过氧化值不断上升,140℃时过氧化值上升至1.08~1.34 mmol/kg。在烘烤温度60~80℃时,因为温度较低,油脂氧化速率较慢,所以核桃油过氧化值上升比较缓慢,但当烘烤温度提高到100℃以上时,较高的温度促进了油脂氧化,使得过氧化值上升速率明显加快。过氧化值反映了油脂中氢过氧化物的含量,氢过氧化物由油脂氧化生成,但其本身易分解成醛、酮、酸等小分子物质,因此油脂的过氧化值是自动氧化和氢过氧化物分解共同作用的结果^[22]。本研究表明,在60~140℃的烘烤过程中,核桃油氧化的速度一直高于氢过氧化物分解的速度。另外,GB/T 22327—2019对核桃油的酸值有要求[一级核桃油酸值(KOH)不大于1.0 mg/g,二级核桃油酸值(KOH)不大于3.0 mg/g],但并未对过氧化值明确规定,而GB 2716—2018中对食用油过氧化值的要求是不大于0.25 g/100 g(9.85 mmol/kg)],因此本文中经60~140℃烘烤后制得的核桃油其酸值和过氧化值并未超过国家标准要求。

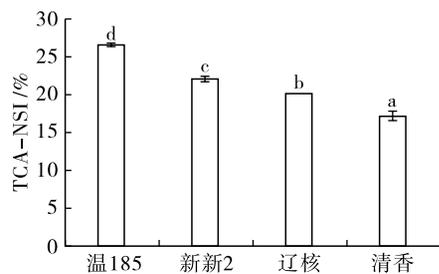
本研究发现,60~80℃烘烤的核桃仁压榨得到的核桃油无明显风味产生,烘烤温度达到100℃时开始产生风味,且随着烘烤温度的继续升高,其风味渐浓。核桃仁烘烤后的风味主要是由核桃仁内的蛋白质、糖、在高温下发生美拉德反应以及油脂氧化反应共同产生的,而美拉德反应生成杂环芳香物质的温度为高于100℃^[23]。

综上所述,4种去衣核桃仁经烘烤后其油脂的酸值及过氧化值的变化基本一致,60~80℃烘烤时油脂过氧化值变化并不剧烈,且无风味产生,而100~140℃烘烤时会产生特有的风味,但油脂酸值和过氧化值也急剧上升。

2.5 烘烤温度对4种核桃仁内源性蛋白酶活性影响

按1.2.6方法测定4个品种去衣核桃仁(未烘

烤)内源性蛋白酶的活性,结果如图2所示。



注:不同字母表示差异显著($p < 0.05$)

图2 不同品种核桃仁的初始内源性蛋白酶活性

由图2可见,4个品种去衣核桃仁(未烘烤)的内源性蛋白酶的活性差异显著($p < 0.05$),其中‘温185’核桃仁的内源性蛋白酶活性最高,达到26.67%,而‘清香’的最低,仅有17.22%。

以未烘烤去衣核桃仁的内源性蛋白酶活性为对照,考察烘烤温度对4个品种去衣核桃仁内源性蛋白酶活性保留率的影响,结果如图3所示。

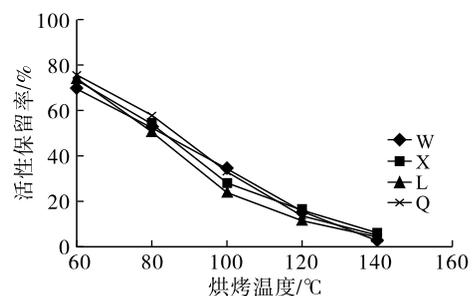


图3 烘烤温度对4种核桃仁内源性蛋白酶活性的影响

由图3可见,60℃烘烤时,内源性蛋白酶的活性保留率为70%~76%,随着烘烤温度的升高,内源性蛋白酶的活性保留率不断下降,烘烤温度为140℃时,内源性蛋白酶的活性保留率仅为3%~6%。造成这种现象的原因一方面可能是烘烤使得核桃蛋白发生聚集^[24-25],酶的作用位点减少,从而降低了内源性蛋白酶的活性,另一方面则可能是由于高温使得内源性蛋白酶失活造成的。综上,60~80℃烘烤尚且保留了大部分内源性蛋白酶的活性,而100~140℃烘烤核桃仁中内源性蛋白酶活性大幅度下降甚至丧失。

3 结论

4种核桃仁的蛋白质含量(13.73%~17.54%)、脂肪含量(69.10%~72.77%)、内源性蛋白酶活性及其油脂中亚麻酸含量(8.77%~13.23%)存在显著性差异($p < 0.05$),氨基酸组成未表现出明显差异。4种湿法去衣核桃仁中油脂的酸值及过氧化值均随烘烤温度的升高而呈现不断上升的趋势。核桃仁内源性蛋白酶的热稳定性差,60~80℃烘烤尚且保留50%以上的内源性蛋白酶活性,而100~140℃烘烤核桃仁中内源性蛋白酶活性大幅度下降甚至丧失,因此为了保持核桃仁中内源性蛋白酶的活性,建议采用低温对湿法去衣核桃仁进行干燥。另外,烘烤对去衣核桃仁油脂及内源性蛋白酶的影响并不因核桃品种的不同而产生差异。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴:2021[M]. 北京: 中国统计出版社,2021.
- [2] ALASALVAR C, SALVADÓ J S, ROS E. Bioactives and health benefits of nuts and dried fruits [J/OL]. Food Chem, 2020, 314: 126192 [2023-01-16]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126192>.
- [3] CATANZARO E, GRECO G, POTENZA L, et al. Natural products to fight cancer: A focus on *Juglans regia* [J/OL]. Toxins (Basel), 2018, 10(11): 469 [2023-01-16]. <https://doi.org/10.3390/toxins10110469>.
- [4] CHEN Y, PEI H, DAI Q, et al. Raw walnut kernel: A natural source for dietary proteases and bioactive proteins [J/OL]. Food Chem, 2022, 369: 130961 [2023-01-16]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130961>.
- [5] CHEN Y, ZHANG H, ZHANG C, et al. Characterization of endogenous endopeptidases and exopeptidases and application for the limited hydrolysis of peanut proteins [J/OL]. Food Chem, 2021, 345: 128764 [2023-01-16]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128764>.
- [6] MELLO V J, GOMES M T, LEMOS F O, et al. The gastric ulcer protective and healing role of cysteine proteinases from *Carica candamarcensis* [J]. Phytomedicine, 2008, 15(4): 237-244.
- [7] 郑晓宁, 李俊, 牟建楼, 等. 核桃果实多酚活性及其分离纯化研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(21): 351-358.
- [8] JIN F, WANG Y, HUANG R, et al. Phenolic extracts from colored-walnut pellicles: Antioxidant efficiency in walnut oil preservation [J]. Int J Food Prop, 2022, 25(1): 1458-1471.
- [9] AMARAL J S, CASAL S, SEABRA R M, et al. Effects of roasting on hazelnut lipids [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(4): 1315-1321.
- [10] SCHLÖRMANN W, BIRRINGER M, BÖHM V, et al. Influence of roasting conditions on health-related compounds in different nuts [J]. Food Chem, 2015, 180: 77-85.
- [11] 廖小微, 陈业明. 芝麻种子中内源性蛋白酶的热稳定性及其运用 [J]. 农业工程学报, 2022, 38(12): 301-307.
- [12] 骞银强, 刘传菊, 聂荣祖, 等. 核桃蛋白的组成、制备及特性研究进展 [J]. 中国粮油学报, 2020, 35(12): 191-197.
- [13] 邱财荣, 周柏玉, 吴中亮. 谷氨酸及其受体在海马学习记忆中的作用研究现状 [J]. 神经解剖学杂志, 2016, 32(4): 529-531.
- [14] 张苗苗, 郭瑜洁. 精氨酸的药理作用研究进展 [J]. 科学咨询, 2022(1): 62-65.
- [15] MARTÍNEZ M L, LABUCKAS D O, LAMARQUE A L, et al. Walnut (*Juglans regia* L.): Genetic resources, chemistry, by-products [J]. J Sci Food Agric, 2010, 90(12): 1959-1967.
- [16] 毛晓英. 核桃蛋白质的结构表征及其制品的改性研究 [D]. 江苏无锡: 江南大学, 2012.
- [17] VERARDO V, RICIPUTI Y, SORRENTI G, et al. Effect of nitrogen fertilisation rates on the content of fatty acids, sterols, tocopherols and phenolic compounds, and on the oxidative stability of walnuts [J]. LWT - Food Sci Technol, 2013, 50(2): 732-738.
- [18] LI Q, YIN R, ZHANG Q R, et al. Chemometrics analysis on the content of fatty acid compositions in different walnut (*Juglans regia* L.) varieties [J]. Eur Food Res Technol, 2017, 243(12): 2235-2242.
- [19] 朱振宝, 刘梦颖, 易建华, 等. 不同产地核桃油理化性质、脂肪酸组成及氧化稳定性比较研究 [J]. 中国油脂, 2015, 40(3): 87-90.
- [20] SIMOPOULOS A P. Omega-6/omega-3 essential fatty acid ratio and chronic diseases [J]. Food Rev Int, 2004, 20(1): 77-90.
- [21] 范俊燕, 张彩猛, 孔祥珍, 等. 中低烘烤温度对花生中油脂品质、蛋白质性质及内源性蛋白酶活性的影响 [J]. 中国油脂, 2023, 48(5): 43-48.
- [22] 刘晓君. 炒籽对花生油风味和品质的影响 [D]. 江苏无锡: 江南大学, 2011.
- [23] 徐月华, 蒋将, 孟宗, 等. 烘烤条件对核桃油品质的影响 [J]. 中国油脂, 2014, 39(7): 9-12.
- [24] 陈振家, 王晓闻, 荆旭, 等. 不同温度处理对红芸豆蛋白热稳定性及结构的影响 [J]. 农业工程学报, 2020, 36(19): 306-312.
- [25] 赵润泽, 蒋将, 李进伟, 等. 烘烤对核桃蛋白二级结构、表面疏水性及乳化性的影响 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 157-160, 166.