

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

范俊燕, 张彩猛, 孔祥珍, 李兴飞, 华欲飞, 陈业明

(江南大学食品学院, 江苏无锡214122)

摘要:为探究中低烘烤温度对花生品质的影响,以花生为原料,研究烘烤温度(50~140℃)对花生中油脂的酸值和过氧化值、蛋白质提取率、蛋白质分散指数(PDI)及内源性蛋白酶活性影响。结果表明:花生油的酸值总体上随烘烤温度的升高而升高,而过氧化值总体上呈先升高后降低的趋势,但均未超过国家标准限量;适度烘烤可显著提高蛋白质提取率,最高可达98.78%(120℃),而过度烘烤则降低蛋白质提取率;PDI随烘烤温度的升高呈先上升后下降的趋势,在90℃时PDI最高(98.73%),烘烤温度在110℃以内时,PDI均在95%以上;内源性蛋白酶对花生蛋白的水解能力随着烘烤温度的升高呈先升后降趋势,烘烤温度小于或等于110℃时,有利于花生蛋白被内源性蛋白酶水解,其中70~80℃烘烤时花生蛋白最易被水解,烘烤温度为120~140℃时,则不利于花生蛋白被内源性蛋白酶水解,140℃时内源性蛋白酶仍具一定活性。综上,建议选择110℃作为花生的烘烤温度,以有利于花生中油脂和蛋白质的综合利用。

关键词:烘烤温度;花生;花生油;蛋白质;内源性蛋白酶

中图分类号:TS222+.1;TS227 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2023)05-0043-06

Effects of low and medium roasting temperatures on oil quality, protein properties and endogenous protease activity in peanut

FAN Junyan, ZHANG Caimeng, KONG Xiangzhen, LI Xingfei,
HUA Yufei, CHEN Yeming

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

Abstract: In order to investigate the effects of low and medium roasting temperatures on the quality of peanut, the effects of roasting temperature (50–140℃) on the acid value and peroxide value of oil, protein extraction rate, protein dispersion index (PDI) and endogenous protease activity in peanut were examined. The results showed that the acid value of peanut oil generally increased with roasting temperature increasing, while the peroxide value generally increased firstly and then decreased, but both were within the national standard. The protein extraction rate was significantly improved with a moderate roasting, up to 98.78% at 120℃, and reduced with an excessive roasting. The PDI showed a trend of increasing first and then decreasing with the increase of roasting temperature. The highest PDI was 98.73% obtained at 90℃, and the PDI was over 95% within 110℃ roasting temperature. The degree of hydrolysis of peanut protein by endogenous protease increased at first and then decreased with the

increase of roasting temperature. When the roasting temperature was less than or equal to 110℃, roasting was conducive to the hydrolysis of peanut protein by endogenous protease, and peanut protein was most easily hydrolyzed at 70–80℃. When the roasting temperature was 120–140℃, roasting was not conducive to the

收稿日期:2022-02-22;修回日期:2023-01-19

基金项目:江苏省林业科技创新与推广项目(LYKJ[2020]句容01)

作者简介:范俊燕(1995),女,在读硕士,研究方向为油脂与植物蛋白(E-mail)fanjunyan0615@163.com。

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

hydrolysis of peanut protein by endogenous protease. Endogenous protease still had certain activity at 140 °C. In conclusion, it is recommended to select 110 °C as the roasting temperature for peanut in order to facilitate the comprehensive use of oil and protein in peanut.

Key words: roasting temperature; peanut; peanut oil; protein; endogenous protease

花生是我国四大油料作物之一^[1],花生中含有42%~56%的油脂和22%~30%的蛋白质^[2],是油脂和蛋白质的主要来源^[3]。目前,我国的花生40%左右被制成食品直接食用,约60%用于榨制花生油。研究表明,压榨前对油料进行适当的预处理可以提高油脂的品质。目前,应用于低温压榨法的油料预处理技术主要有微波加热、烘烤、脉冲电场、红外辐射等^[4-7],其中烘烤和微波加热因可显著提高出油率,使低温压榨油具有良好的焙烤风味,以及能提高低温压榨油品质而备受关注,并且对于花生来讲,烘烤利于花生红衣的去除,从而可提高油脂和蛋白的质量,降低精炼成本^[8]。关于烘烤预处理后低温压榨油中植物甾醇、角鲨烯、维生素E、风味物质和储藏品质等的研究已有大量报道^[3,9-12],而且低温压榨花生饼也已被广泛用于微生物的增殖培养,以及食用锅巴、花生蛋白饮料、花生蛋白粉、植物酸奶等的制备^[13-19],充分实现了低温压榨花生饼的高值化利用。

研究表明,由于饮食量和食物种类差异,人体胃中的pH为1.7~4.7,此范围与花生内源性蛋白酶水解的pH范围基本一致^[20]。因此,如果花生经烘烤之后还能保留内源性蛋白酶活性,则经食用后内源性蛋白酶可与胃蛋白酶协同作用,从而可减轻胃部负担,有助于消化。但目前对不同烘烤温度下低温压榨饼中蛋白质性质及内源性蛋白酶活性变化的研究却鲜有报道,并且目前关于烘烤对花生影响的研究主要集中在高温烘烤(130~180 °C,偏重于制取香味浓郁和得率高的花生油),而中低温(偏重于花生蛋白的品质)烘烤条件的研究极少。花生压榨前选择合适的烘烤温度,以获得高品质花生油和保留花生内源性蛋白酶活性的高品质花生饼,对于压榨饼的高值化利用具有极其重要的意义。为此,本文系统考察了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。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

花生:品种为白沙308,产自辽宁省铁岭市。三氯甲烷、浓盐酸、三羧基氨基甲烷(Tris)、二硫苏糖

醇(DTT)、甲醇、甘油、十二烷基硫酸钠(SDS)、硫酸钾、硼酸、五水硫酸铜、浓硫酸、三氯乙酸(TCA)、氢氧化钾、乙醚、异丙醇、95%乙醇、酚酞、冰乙酸、碘化钾、硫代硫酸钠、可溶性淀粉、三(羟甲基)甲基甘氨酸(Tricine)、石油醚等均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

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;Himac CR21G 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;MODEL BE-210型垂直电泳仪,日本Biocraft公司;凝胶成像仪,美国Bio-Rad公司;Agilent 1100型全自动氨基酸分析仪、Agilent 1100型液相色谱仪,美国安捷伦公司。

1.2 实验方法

1.2.1 花生烘烤及花生油的制备

称取40 g花生,放入不同温度(50~140 °C)的电烤箱中烘烤1 h,取出后立即手动脱皮,脱皮后的花生立即使用液压榨油机压榨,收集花生油与花生饼,立即放入4 °C冰箱保存备用。

1.2.2 酸值的测定

按照GB 5009.229—2016中的冷溶剂指示剂滴定法测定花生油的酸值。

1.2.3 过氧化值的测定

按照GB 5009.227—2016中的滴定法测定花生油的过氧化值。

1.2.4 蛋白质含量的测定

按照GB 5009.5—2016中的凯氏定氮法测定花生的蛋白质含量。

1.2.5 蛋白质变性程度的测定

以蛋白质提取率及蛋白质分散指数(PDI)表征蛋白质变性程度。向1.2.1所得花生饼中加去离子水至原始花生质量的6倍,于15 000 r/min下打浆1 min,用4层纱布过滤,收集滤液,向滤渣中加入4倍原始花生质量的去离子水,打浆1 min后过滤,将两次所得滤液合并,即为花生浆。将花生浆于3 000 r/min下离心10 min,吸取上清液测定其蛋白质含量。同时,测定花生浆以及相应原料花生中的

蛋白质含量。按下式计算蛋白质提取率和 PDI。

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

$$I_{PD} = m_2/m_1 \times 100\% \quad (2)$$

式中: Y 为蛋白质提取率; m_1 为花生浆中蛋白质质量; m_0 为花生中蛋白质质量; I_{PD} 为蛋白质分散指数; m_2 为上清液中蛋白质质量。

1.2.6 花生内源性蛋白酶(内肽酶和外肽酶)协同活性的测定

通过测定花生浆酶解液中三氯乙酸-可溶性氮含量(TCA-NSI)表征花生内源性蛋白酶协同活性,具体参考裴昊铭^[21]的方法并略作修改。将1.2.5所得花生浆用85%磷酸溶液将其pH调至3,并于50℃(本实验室研究已确定的内源性蛋白酶活性的较佳温度条件)水浴水解6h,冷却至室温,所得酶解液作为待测液。取10mL待测液,加入10mL质量浓度为0.30mg/mL的TCA溶液,使体系中TCA的最终质量浓度为0.15mg/mL,搅拌10min后室温静置1h,离心(8000r/min,15min)取上清液,测定上清液中的蛋白质含量。按下式计算TCA-NSI。

$$I_N = m_3/m_4 \times 100\% \quad (3)$$

式中: I_N 为TCA-NSI; m_3 为上清液中的氮质量; m_4 为相应待测液中的氮质量。

1.2.7 分子质量分布测定

参考Chen等^[22]的方法,采用分子排阻高效液相色谱(SEC-HPLC)测定TCA、未烘烤花生制取的花生浆(按1.2.5方法制取)和花生浆酶解液(按1.2.6方法制取)以及不同温度烘烤的花生制取的花生浆酶解液中TCA可溶性水解产物的分子质量分布。SEC-HPLC测定条件:TSK gel G2000SWXL色谱柱(300mm×7.8mm),流动相为三氟乙酸-乙腈-水(体积比0.1:45:55),紫外检测波长214nm,检测温度30℃,流速0.5mL/min,进样量20μL。

1.2.8 花生内源性内肽酶水解活性的测定

通过Tricine-SDS-PAGE凝胶上蛋白条带的强度降低程度,对内源性内肽酶的活性进行表征。将待测样品(由未烘烤和不同温度烘烤的花生按1.2.5和1.2.6方法制取的花生浆酶解液,以及未烘烤花生制取的花生浆)的蛋白质质量浓度调节为2mg/mL,取500μL加入等体积电泳样品溶解液,再加入体积分数1%的溴酚蓝指示剂及体积分数2%的DTT搅匀,沸水浴中热处理3~5min,冷却至室温上样。

参考Schagger^[23]的方法进行Tricine-SDS-PAGE。测试条件:浓缩胶体积分数4%,分离胶体

积分数16%,上样量10μL,样品在进入浓缩胶之前电压为30V,进入分离胶后电压调为100V。电泳指示剂距分离胶前沿0.5cm时关闭电泳仪,进行固定、染色、脱色,用凝胶成像仪拍照。

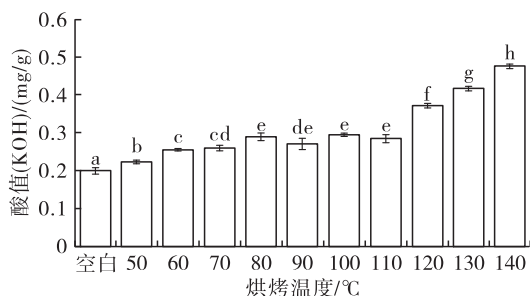
1.2.9 数据分析

实验数据测定3次,使用Excel 2019处理数据求平均值,使用Origin 8.5拟合曲线和绘图,利用SPSS统计分析软件对数据进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 烘烤温度对花生油品质的影响

2.1.1 对酸值的影响(见图1)



注:空白为未烘烤样;字母不同表示存在显著性差异($p < 0.05$)。下同

图1 烘烤温度对花生油酸值的影响

由图1可知,随着烘烤温度的提高,花生油的酸值也随之升高,这是因为甘油三酯水解产生游离脂肪酸,而温度升高加速了甘油三酯的水解。当烘烤温度升高至80℃时,花生油酸值(KOH)上升至0.29mg/g,烘烤温度在80~110℃之间时,花生油酸值(KOH)无明显变化,基本保持在0.29mg/g左右,当烘烤温度继续升高时,花生油酸值(KOH)迅速上升,140℃时达0.48mg/g。姚宏燕等^[24]研究表明,随着烘烤温度的升高,奇亚籽油酸值呈上升趋势;刘晓君^[25]研究发现,随着炒籽温度的升高,花生油酸值随之升高:均与本研究结果一致。

2.1.2 对过氧化值的影响(见图2)

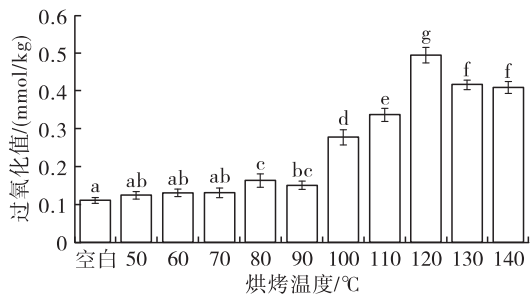


图2 烘烤温度对花生油过氧化值的影响

由图2可知:烘烤温度在50~90℃时,花生油的过氧化值增加缓慢,这是因为温度较低,油脂氧化速率较慢;烘烤温度在90~120℃时,由于温度逐渐

升高,油脂氧化速率提高,且温度越高氧化速率越快,故过氧化值逐渐增大,但此时仍处于油脂氧化前期;烘烤温度在 120 ~ 140 °C 时,温度较高,油脂氧化程度大,进入氧化后期,消耗氢过氧化物形成醛、酮、酸等小分子化合物,故氢过氧化物含量降低,表现为过氧化值降低^[25]。

值得注意的是,烘烤温度为 110 °C 时,花生及其压榨所得花生油均出现焙烤香味,且当烘烤温度升至 120 °C 时,香气浓郁。

2.2 烘烤温度对蛋白质变性程度的影响

2.2.1 对蛋白质提取率的影响(见图 3)

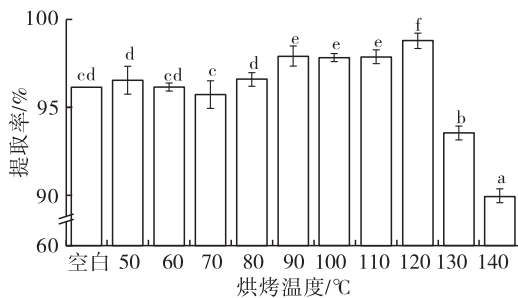


图 3 烘烤温度对花生蛋白质提取率的影响

由图 3 可知,与未烘烤的花生蛋白质提取率(96.18%)相比,烘烤温度为 50 ~ 80 °C 时蛋白质提取率无显著变化($p > 0.05$),烘烤温度为 90 ~ 120 °C 时蛋白质提取率显著增加($p < 0.05$),并且在 120 °C 时达到最高(98.78%),随着烘烤温度的继续升高,蛋白质提取率出现大幅下降,140 °C 时降至最低(89.96%)。据报道,花生伴球蛋白的变性温度为 90 °C,花生球蛋白的变性温度为 105 °C^[26]。以上结果说明,花生经适度烘烤可提高蛋白质提取率,而过度烘烤则会降低蛋白质提取率。

2.2.2 对 PDI 的影响(见图 4)

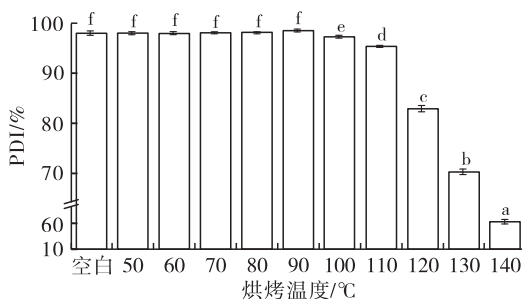


图 4 烘烤温度对花生 PDI 的影响

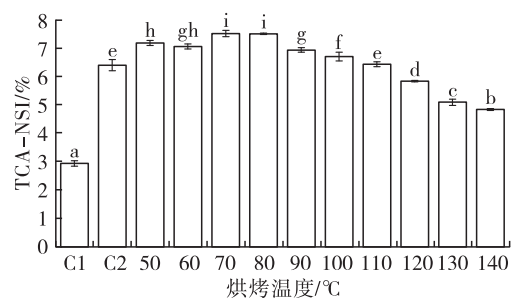
由图 4 可知,与未烘烤花生的 PDI(98.10%)相比,烘烤温度在 50 ~ 90 °C 时 PDI 无显著变化($p > 0.05$),90 °C 时 PDI 为 98.73%,而烘烤温度升高至 100 ~ 140 °C 时 PDI 显著下降($p < 0.05$),尤其在 120 ~ 140 °C 时迅速下降,烘烤温度小于或等于 110 °C 时,PDI 均超过 95%。以上结果说明高温烘

烤会降低花生的 PDI。在实验过程中发现,经过 130 °C 与 140 °C 烘烤的花生制备的浆液,在室温放置一段时间后,出现大量沉淀,说明蛋白质变性严重,花生蛋白的溶解度降低,与实验结果相符。

综合蛋白质提取率和 PDI,并结合 2.1 实验结果,建议选择 110 °C 作为烘烤温度,此时压榨所得花生饼蛋白质变性程度低,具有高蛋白质提取率(97.87%)和高 PDI(95.52%),并且榨制的花生油具有良好的品质[酸值和过氧化值均满足 GB/T 1534—2017 中一级压榨成品油酸值(KOH)小于或等于 1.5 mg/g,过氧化值小于或等于 6.0 mmol/kg 的要求]与焙烤风味,从而有利于花生中油脂和蛋白质的综合利用。

2.3 烘烤温度对花生内源性蛋白酶活性的影响

2.3.1 对内源性蛋白酶(内肽酶和外肽酶)协同活性的影响(见图 5)



注:C1 为未烘烤花生的花生浆;C2 为未烘烤花生的花生浆酶解液。下同

图 5 烘烤温度对花生内源性蛋白酶(内肽酶和外肽酶)协同活性的影响

由图 5 可知,花生浆酶解液的 TCA - NSI 随着烘烤温度的升高呈先升后降趋势,但均高于未烘烤花生浆的初始 TCA - NSI,说明经过烘烤后花生中的内源性蛋白酶还保留有不同程度的活性,花生中内源性蛋白酶的热稳定性较强。Chen 等^[22]研究发现,花生粗油体中含有花生内源性天冬氨酸蛋白酶,可水解油体蛋白,并且该酶在 90 °C 与 100 °C 时依然具有活性,说明花生内源性蛋白酶热稳定性较强,与本实验结果一致。

本研究中未烘烤花生浆的初始 TCA - NSI 为 2.93%,经过酶解之后 TCA - NSI 升高至 6.40%。相比于未烘烤花生浆的酶解液,花生经 50 ~ 110 °C 烘烤 1 h,其酶解液的 TCA - NSI 均有所升高,说明适度烘烤使花生蛋白更易水解。王军^[27]、王忠合^[28]等研究发现,花生蛋白在 180 °C 经一定程度的烘烤后,其体外消化率增大,这可能是由于适度的烘烤导致蛋白质分子展开,使其结构松弛,有利于酶的

作用。Zheng等^[29]研究发现,热处理提高了压榨花生粉中变性蛋白的体外消化率,因为热处理可能会导致蛋白质中活性位点暴露,增加酶对蛋白质攻击的可及性。本研究中,当烘烤温度为120~140℃时,花生浆酶解液的TCA-NSI高于未烘烤花生浆

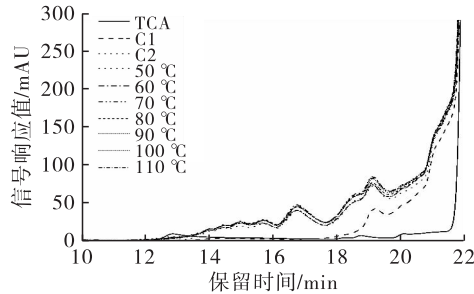


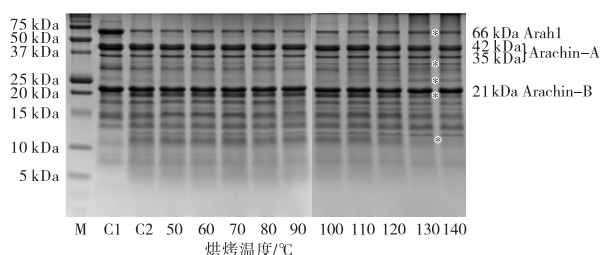
图6 不同烘烤温度下花生浆酶解液中TCA可溶性水解产物分子质量分布

经测定,各花生浆酶解液的分子质量分布均在300~12 400 Da之间。由图6可知,经过50~110℃烘烤的花生,其花生浆酶解液中水解产物的峰面积略大于未烘烤花生浆酶解液的,说明在此温度下烘烤后,花生中内源性蛋白酶水解花生蛋白生成的肽含量升高。经过110~140℃烘烤的花生,其花生浆酶解液中水解产物的峰面积随着烘烤温度的升高而逐渐下降,说明温度继续升高,内源性蛋白酶水解花生蛋白生成的肽含量逐渐降低。上述结果与图5的结果相符,说明适度烘烤使得花生蛋白更易水解,导致内源性蛋白酶水解花生蛋白生成的肽含量增加,而高温烘烤使得内源性蛋白酶活性降低,减弱了对蛋白质的水解作用,不利于TCA可溶性水解产物的生成。

综上所述:花生中内源性蛋白酶具有极强的热稳定性,在50~140℃条件下依然有活性;当烘烤温度小于或等于110℃时,内源性蛋白酶活性变化不大,但烘烤花生的蛋白质相比于未烘烤花生的蛋白质更易被内源性蛋白酶水解,其中,烘烤温度为70℃与80℃时,花生蛋白最易被水解;当烘烤温度升高为120~140℃时,内源性蛋白酶活性降低。

2.3.2 对内源性内肽酶水解活性的影响

烘烤温度对花生内源性内肽酶水解活性的影响如图7所示。

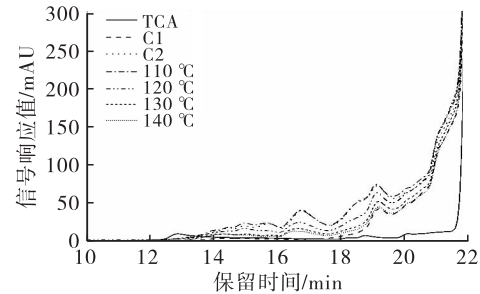


注:M. 标准蛋白

图7 烘烤温度对花生内源性内肽酶水解活性的影响

的初始TCA-NSI(2.93%),但与未烘烤花生浆酶解液TCA-NSI(6.40%)相比却有所降低,说明温度继续升高使得内源性蛋白酶活性降低。

采用SEC-HPLC测定酶解液中TCA可溶性水解产物的分子质量分布,结果如图6所示。



由图7可知,花生蛋白的主要条带为Arah 1(66 kDa)、Arachin-A(42 kDa与35 kDa)与Arachin-B(21 kDa)。经不同温度烘烤的花生,其浆液在pH 3、50℃酶解6 h后,Arah 1均发生明显降解,Arachin-A降解程度较小,Arachin-B基本没有发生降解。酶解产生了多种新条带与颜色加深的条带,是花生蛋白降解形成的多肽产物,说明经过50~140℃烘烤处理的花生其内源性内肽酶依然保留水解活性,内肽酶具有极强的热稳定性。

由图7还可知:烘烤温度为50~110℃时,花生浆酶解液的蛋白条带种类和强度与未烘烤花生的花生浆酶解液基本保持一致,说明此温度下花生内源性内肽酶活性无明显变化;而烘烤温度升高至120~140℃时,花生浆酶解液的蛋白条带强度发生变化(图中星号标注),主要表现为Arah 1与25 kDa条带强度降低,30 kDa条带强度增加,20 kDa与12 kDa条带强度降低。Arah 1与25 kDa条带为花生本身存在的蛋白质,其强度降低说明内源性内肽酶水解活性减弱,30 kDa为水解生成的较大分子质量的蛋白质,20 kDa与12 kDa为水解生成的较小分子质量的蛋白质,结果说明烘烤温度为120~140℃时,内源性内肽酶水解花生蛋白的能力下降。

3 结论

由烘烤花生压榨所得的花生油,其酸值总体上随烘烤温度升高而升高,过氧化值则总体上呈先升后降的趋势,但均未超过国家标准限量。对于整粒花生,110℃时即出现焙烤香味,120℃时香气浓郁。适度烘烤可增加花生饼中蛋白质提取率,最高可达98.78%(120℃),而PDI随烘烤温度升高呈先缓慢上升(但无显著差异)后下降趋势,90℃时最高(98.73%),烘烤温度小于或等于110℃时,PDI均

超过95%。花生中内源性蛋白酶具有较强的热稳定性,随烘烤温度升高内源性蛋白酶对花生蛋白的水解能力呈先升后降的趋势,烘烤温度小于或等于110℃时,有利于花生蛋白被内源性蛋白酶水解,其中烘烤温度为70~80℃时花生蛋白最易被水解,烘烤温度为120~140℃时,内源性蛋白酶活性降低。建议选择110℃作为花生的烘烤温度,以有利于花生中油脂和蛋白质的综合利用。

参考文献:

- [1] ZHAO X Y, CHEN J, DU F L. Potential use of peanut by-products in food processing: a review[J]. *J Food Sci Tech*, 2012, 49(5): 521-529.
- [2] 张驰. 多酚与花生蛋白相互作用及其对花生蛋白致敏性的影响[D]. 重庆:西南大学,2021.
- [3] 董林均, 刘国琴, 李琳. 五种制油工艺对花生油风味物质种类的影响[J]. *粮油食品科技*, 2020, 28(2): 14-21.
- [4] 魏松丽, 孙晓静, 张丽霞, 等. 不同预处理方式对花生油脂体增香效果的影响及其品质分析[J]. *食品科技*, 2020, 45(6): 231-238.
- [5] 孟令杰, 张宏荣. 烘烤预处理对冷榨菜籽油贮藏品质的影响[J]. *粮食科技与经济*, 2021, 46(3): 110-113.
- [6] 任志龙, 王涵. 亚麻籽烘烤预处理对亚麻籽油得率及贮藏稳定性的影响[J]. *中国油脂*, 2021, 46(5): 23-27.
- [7] SIGER A, KACZMAREK A, RUDZIŃSKA M, et al. Antioxidant activity and phytochemical content of cold-pressed rapeseed oil obtained from roasted seeds[J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2015, 117(8): 1225-1237.
- [8] 李晓栋. 提高冷榨芝麻油氧化稳定性的研究[D]. 郑州:河南工业大学,2017.
- [9] AL JUHAIMI F, ÖZCAN M M, GHAFOOR K, et al. Comparison of cold-pressing and Soxhlet extraction systems for bioactive compounds, antioxidant properties, polyphenols, fatty acids and tocopherols in eight nut oils[J]. *J Food Sci Tech*, 2018, 55(8): 3163-3173.
- [10] GAO P, LIU R, JIN Q, et al. Comparative study of chemical compositions and antioxidant capacities of oils obtained from two species of walnut: *Juglans regia* and *Juglans sigillata*[J]. *Food Chem*, 2019, 279: 279-287.
- [11] RAKAS A, SIGER A, WRONIAK M, et al. Phytochemicals and antioxidant activity degradation kinetics during long-term storage of rapeseed oil pressed from microwave-treated seeds[J/OL]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2018, 120(2): 1700283 [2022-02-22]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700283>.
- [12] RAKAS A, WRONIAK M, SIGER A, et al. Mechanical hulling and thermal pre-treatment effects on rapeseed oil antioxidant capacity and related lipophilic and hydrophilic bioactive compounds[J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2017, 68(7): 788-799.
- [13] XIAO H Q, LI Y Z, LIN Q L, et al. Enzymatic preparation of peptone from cold-pressed peanut meal and its application in microbial culture[J]. *食品科学*, 2019, 40(24): 157-166.
- [14] 肖怀秋, 李玉珍, 林亲录, 等. 冷榨花生粕蛋白胨质量分析及其在枯草芽胞杆菌增殖中的应用[J]. *生物资源*, 2019, 41(5): 419-425.
- [15] 王小鹤, 于森, 鲁明, 等. 响应面法优化冷榨花生粕制备锅巴工艺研究[J]. *辽宁农业科学*, 2016(4): 16-22.
- [16] 于森, 王小鹤, 鲁明, 等. 低温冷榨花生粕制备植物蛋白茶饮料工艺优化[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(1): 76-81.
- [17] 胡志和, 郭嘉. 利用冷榨花生饼制备花生多肽饮料[J]. *食品科学*, 2011, 32(20): 335-340.
- [18] 孙欣, 祝清俊, 王文亮, 等. 乳酸菌发酵冷榨花生粕生产花生酸奶的工艺研究[J]. *中国食物与营养*, 2011, 17(8): 56-58.
- [19] 刘庆芳, 蒋竹青, 贾敏, 等. 花生粕综合利用研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(7): 192-195.
- [20] KOZIOLEK M, GRIMM M, BECKER D, et al. Investigation of pH and temperature profiles in the GI tract of fasted human subjects using the intellicap system[J]. *J Pharm Sci*, 2014, 104(9): 2855-2863.
- [21] 裴昊铭. 核桃内源性蛋白酶的组成、水解蛋白条件及其在核桃加工中的运用[D]. 江苏无锡:江南大学,2021.
- [22] CHEN Y M, CHEN Y J, ZHAO L P, et al. A two-chain aspartic protease present in seeds with high affinity for peanut oil bodies[J]. *Food Chem*, 2018, 241(15): 443-451.
- [23] SCHAGGER H. Tricine-SDS-PAGE[J]. *Nat Protoc*, 2006, 1: 16-22.
- [24] 姚宏燕, 杨成, 沈晓芳. 烘烤条件对奇亚籽油理化性质及脂肪酸组成的影响[J]. *中国油脂*, 2019, 44(11): 8-12.
- [25] 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.
- [26] 赵冠里, 赵谋明, 刘岩, 等. 烘烤对花生分离蛋白结构及功能特性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2009, 35(7): 20-23.
- [27] 王军, 王忠合, 陈瑞英, 等. 烘烤对花生仁抗氧化性、蛋白功能性及油脂氧化稳定性的影响[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(9): 100-104.
- [28] 王忠合, 王军, 陈瑞英. 烘烤和酶解处理对花生蛋白功能性及抗氧化性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(11): 153-158.
- [29] ZHENG L, REN J, SU G, et al. Comparison of in vitro digestion characteristics and antioxidant activity of hot- and cold-pressed peanut meals[J]. *Food Chem*, 2013, 141(4): 4246-4252.