

一种简单高效的核桃脂肪酸测定方法

寸宇智¹, 杨卫花^{2*}, 李春灵³

(1. 大理大学农学与生物科学学院, 大理 671003; 2. 大理州质量技术监督综合检测中心, 大理 671000;
3. 大理大学公共卫生学院, 大理 671000)

摘要: **目的** 建立一种简便的核桃脂肪酸测定方法。**方法** 将核桃仁研磨至膏状, 然后直接进行甲酯制备, 经毛细管柱气相色谱分析, 用面积归一化法测定脂肪酸百分含量。对一个泡核桃(*Juglans sigillata* Dode)样品进行对比测定, 用 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》中的归一化法和新方法分别平行测定 20 次, 计算两组测定值之间的差异显著性, 计算新方法的相对标准偏差, 以检验新方法的准确性和精密度。**结果** 国家标准方法和新方法都检出了棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和 α -亚麻酸 5 种脂肪酸, 它们的平均含量(标准偏差)分别为: 6.412% (0.041%)和 6.403% (0.046%)、1.681% (0.016%)和 1.679% (0.029%)、18.274% (0.146%)和 18.274% (0.093%)、65.229% (0.168%)和 65.244% (0.120%)、8.404% (0.028%)和 8.400% (0.082%)。 t 检验表明两组测定值之间无显著差异($P>0.05$)。新方法中 5 种脂肪酸的相对标准偏差均小于 1.7%。**结论** 新建方法准确可靠, 且因省去了耗时费力的粗脂肪提取步骤, 非常适于快速处理大批量样品。**关键词:** 核桃; 脂肪; 脂肪酸; 气相色谱法

A concise method for the determination of fatty acids in walnut

CUN Yu-Zhi¹, YANG Wei-Hua^{2*}, LI Chun-Ling³

(1. College of Agriculture and Bioscience, Dali University, Dali 671003, China; 2. Dali Quality and Technical Supervision Comprehensive Inspection Centre, Dali 671000, China; 3. College of Public Health, Dali University, Dali 671000, China)

ABSTRACT: Objective To establish a simple method for determination of fatty acids in walnut. **Methods** Walnut kernels were ground into paste, which was then directly prepared into methyl ester, the fatty acid content was determined by area normalization method after capillary column gas chromatography. A sample of *Juglans sigillata* Dode was comparatively determined and the new method and the normalization method in GB 5009.168—2016 National food safety standard-Determination of fatty acid were used for parallel determination for 20 times, respectively. The significant difference between the measured values of the 2 groups was calculated, and the relative standard deviation of the new method was calculated to test the accuracy and precision of the new method. **Results** Five fatty acids including palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid and α -linolenic acid were detected by that national standard method and the new method, their mean levels (standard deviations) were 6.412% (0.041%) and 6.403% (0.046%), 1.681% (0.016%) and 1.679% (0.029%), 18.274% (0.146%), 18.274% (0.093%), 65.229% (0.168%), and 65.244% (0.120%), 8.404% (0.028%), and 8.400% (0.082%), respectively. t test showed no significant difference between the two groups of measured values ($P>0.05$). The relative standard deviations of the 5 kinds of fatty acids in the new method were all less than 1.7%. **Conclusion** The new method is accurate and reliable, and it

*通信作者: 杨卫花, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全检测。E-mail: 491568228@qq.com

*Corresponding author: YANG Wei-Hua, Master, Senior Engineer, Dali Quality and Technical Supervision Comprehensive Inspection Centre, Economic Development Zone 1Box, Dali 671000, China. E-mail: 491568228@qq.com

saves time-consuming and labor-intensive crude fat extraction steps, so it is very suitable for rapid processing of large quantities of samples.

KEY WORDS: walnut; fat; fatty acid; gas chromatography

0 引言

核桃坚果富含脂肪、蛋白质、维生素及多种微量元素,营养价值高,被誉为“四大坚果”之首^[1-3]。2012年,核桃还被世界卫生组织评为零售类健康食品冠军^[4]。核桃仁加工成的核桃油经济价值高,能与油茶籽油和橄榄油相媲美^[5]。我国是核桃的原产地之一,栽种面积广泛,除黑龙江、上海、广东、海南外,其他省份均有栽种^[6]。我国核桃产量、消费量和出口量均居世界第一位^[2-3,7-8]。

脂肪是构成人体细胞的必要成分,也是细胞内的储能物质,参加细胞内的代谢活动^[9-10]。按碳链上双键的有无和数目,脂肪酸分为饱和脂肪酸(如棕榈酸、硬脂酸)、单饱和脂肪酸(如油酸)和多不饱和脂肪酸(如亚油酸和 α -亚麻酸)^[11]。不饱和脂肪酸在人体内有許多重要的生理功能,增加膳食中不饱和脂肪酸的摄入量,相应地降低饱和脂肪酸的摄入量,一方面可以促进婴幼儿期大脑和视网膜的发育;另一方面可以降低患心血管疾病、2型糖尿病、肥胖症、神经组织退化和某些癌症等慢性疾病的风险^[12-16]。核桃仁中脂肪含量达60%~70%,且不饱和脂肪酸约占脂肪的90%,饱和脂肪酸只占10%左右^[17-18]。与其他常见的食用坚果相比,核桃脂肪中饱和脂肪酸占比最低,不饱和脂肪酸占比最高^[3,19]。另外,亚油酸和 α -亚麻酸不能在人体内合成,必须从食物中摄取,称为必需脂肪酸^[11]。而核桃脂肪中亚油酸含量约占60%, α -亚麻酸含量约占7.5%,均高于一般食用油^[20-21]。因此,脂肪酸含量对核桃品质具有重要意义,核桃中脂肪酸组分分析研究开展得也比较多^[21]。

目前,在测定植物油料中脂肪酸组分的方法中,前处理包括两个步骤,即粗脂肪提取和甲酯制备^[2,18]。粗脂肪提取通常采用索氏提取法^[18,21-24],或水解提取法^[2,25-29]。GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》采用了水解提取法。水解提取法操作步骤多、耗时费力。索氏提取法还含有蒸馏步骤^[18,21-24],更加烦琐复杂,且易造成目标物损失。因此,开发简便高效的检测方法用来快速测定大批量核桃样品中脂肪酸的组分极具实用价值。

本研究拟简化 GB 5009.168—2016 中的归一化测定法,将核桃仁用研钵充分研磨至膏状,让结合态脂肪游离出来,然后直接进行甲酯制备,省去烦琐的粗脂肪提取步骤。并用与国家标准的对比检测和精密度检验,检验新方法的准确性和可靠性。中国粮油学会 2019 年发布的团

体标准 T/CCOA—2—2019《特级核桃油》对核桃油中各类脂肪酸的含量等作了明确规定:棕榈酸为2.2%~10.0%、硬脂酸为0.5%~6.0%、油酸为11.5%~35.5%、亚油酸为50.0%~70.0%、 α -亚麻酸为5.5%~18.0%。如果新建方法准确可靠,则可用于快速筛查大批量核桃仁中脂肪酸的组分,对原料进行分级,用优质核桃加工优质核桃油。新方法也可用在核桃良种选育工作中,从大量核桃植株中快速筛选出含特定脂肪酸组分的良株,如高 α -亚麻酸含量的植株。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

2019年采自云南省大理州漾濞县的泡核桃(*Juglans sigillata* Dode)坚果样品1份(5 kg)。所采坚果均成熟饱满,大小基本一致,且无病害。

37种脂肪酸甲酯标准品(200 mg/L,上海安谱实验科技股份有限公司);盐酸(分析纯,天津福晨化学试剂有限公司);95%乙醇(分析纯,云南新蓝景化学工业有限公司);乙醚、石油醚(分析纯,上海试剂四赫维化工有限公司);甲醇(色谱纯,美国默克公司);异辛烷(分析纯,天津利安隆博华医药化学有限公司);氢氧化钾(分析纯,天津光复科技发展有限公司);硫酸氢钠(分析纯,天津风船化学试剂科技有限公司)。

盐酸溶液(8.3 mol/L:量取250 mL浓盐酸,用110 mL纯水稀释,混匀);乙醚-石油醚混合液[1:1 (V/V):分别取250 mL的乙醚和石油醚,混匀];氢氧化钾-甲醇溶液(2 mol/L:称取13.1 g氢氧化钾溶于100 mL甲醇中,可轻微加热,加入无水硫酸氢钠干燥,过滤,即得澄清溶液,现用现配)。

1.2 仪器与设备

GC-2010 plus 气相色谱仪[具有氢火焰离子化检测器(flame ionization detector, FID),日本岛津公司];SPTM-2560 毛细管色谱柱(100 m×25 mm, 0.2 μ m, 美国色谱科公司);TG16-WS 台式高速离心机(带50 mL塑料离心管,湖南湘仪离心机仪器有限公司);M37610-33CN 漩涡振荡仪(美国赛默飞公司);4000 efficient 旋转蒸发器(德国海道尔夫公司);DZKW-S-4 电热恒温水浴锅(北京光明医疗仪器厂);101-2BS 电热恒温鼓风干燥箱(上海力辰科技股份有限公司);FW100 高速万能粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司);AB204-E 万分之一电子天平(上海梅特勒-托利多有限公司);移液器(100~1000 μ L, 德国 Eppendorf 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 制 样

从泡核桃样品中随机选取 30 个坚果, 在 40 °C 烘箱中烘烤 60 h, 剥壳取仁, 充分混合后用粉碎机粉碎, 粉末分为 2 份, 1 份按 GB 5009.168—2016 中的酸水解法进行前处理, 1 份用新前处理方法处理。

1.3.2 国家标准方法

粗脂肪提取: 按照 GB 5009.168—2016 中的酸水解法进行。称取制备好的泡核桃仁粉末 10 g(精确至 0.1 mg)至 250 mL 平底烧瓶中, 加 8.3 mol/L 盐酸溶液 10 mL, 混匀。75 °C 水浴 40 min, 每隔 10 min 振荡 1 次, 使黏附在烧瓶内壁上的颗粒混入溶液中。取出烧瓶冷却至室温, 加入 95% 乙醇 10 mL, 混匀。将烧瓶中的水解液转移至分液漏斗中, 用 50 mL 乙醚-石油醚混合液冲洗烧瓶和塞子, 冲洗液并入分液漏斗中, 加盖, 振摇 5 min, 静置 10 min, 将醚层提取液收集至 250 mL 烧瓶中。重复提取水解液 3 次, 最后用乙醚-石油醚混合液冲洗分液漏斗, 全部收集到 250 mL 烧瓶中。将收集到的滤液放入旋转蒸发器中浓缩至干, 残留物即为粗脂肪提取物。

甲酯制备: 按照 GB 5009.168—2016 中的酯交换法进行。

1.3.3 新方法

称取制备好的泡核桃仁粉末 10 g(精确至 0.1 mg)至研钵中, 充分研磨至膏状。称取膏状物 60 mg(精确至 0.1 mg), 参照 GB 5009.168—2016 中的酯交换法进行甲酯制备。加入异辛烷 4 mL, 氢氧化钾-甲醇溶液 200 μ L, 盖上塞子, 涡旋振荡 2 min, 静置澄清。加入 1 g 硫酸氢钠中和氢氧化钾,

待盐沉淀后将上清液移至进样瓶中, 待测。

1.3.4 优化后的色谱条件

色谱柱: SPTM-2560 毛细管色谱柱(100 m \times 25 mm, 0.2 μ m); 检测器: FID 检测器, 温度 250 °C; 载气为氮气, 流速 1.09 mL/min; 进样量 1 μ L, 分流比 20:1; 氢气流速 40 mL/min; 空气流速 400 mL/min; 升温程序: 初始温度 120 °C, 不保持, 以 10 °C/min 升温至 175 °C, 保持 10 min, 再以 5 °C/min 升温至 210 °C, 保持 5 min, 再以 5 °C/min 升温至 230 °C, 保持 11 min, 最后以 5 °C/min 升温至 240 °C, 保持 15 min, 检测时间共计为 59.5 min。

1.3.5 数据处理

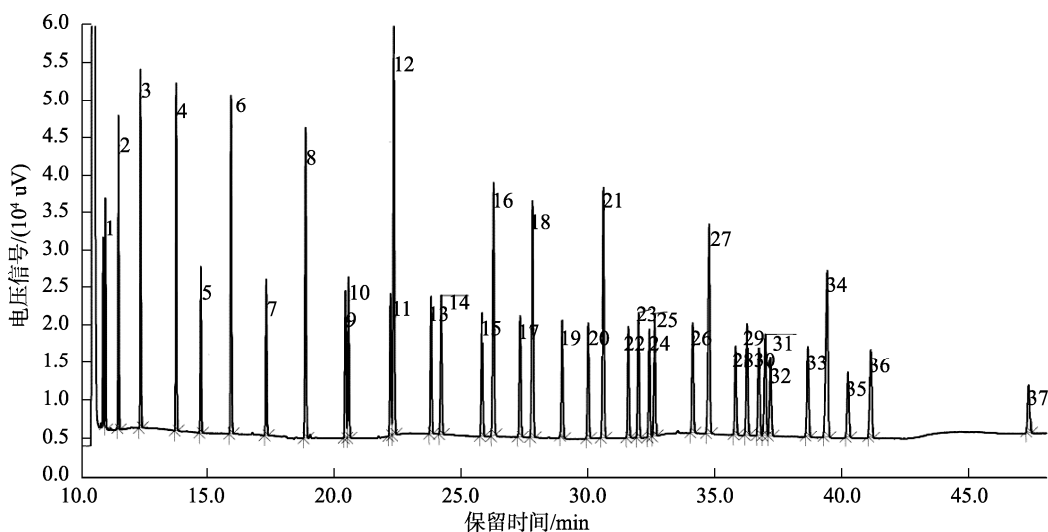
根据脂肪酸甲酯标准品在气相色谱条件下的出峰保留时间鉴定泡核桃中脂肪酸类别。采用峰面积归一化法计算脂肪酸各组分在总组分中的含量百分比。

对同一份泡核桃样品, 用 GB 5009.168—2016 平行处理 20 份, 新方法处理 20 份, 上机检测获得两组数据, 用 SPSS 26.0 对两组数据之间的差异显著性进行 *t* 检验。并对新方法获得的 20 次检测数据用 Excel 计算相对标准偏差(relative standard deviation, RSD), 检验新方法的重现性。

2 结果与分析

2.1 对比测定

按 1.3.4 所述的色谱条件对脂肪酸甲酯标准品进行分析, 得到各组分的气相色谱图与保留时间。由图 1 可见, 37 种脂肪酸甲酯标准品在经优化后的气相色谱条件下, 基本按照烷基碳链长度由短至长出峰, 各个色谱峰峰形良好且分离度高, 满足气相色谱法对脂肪酸含量测定的要求。



注: 1. C4:0; 2. C6:0; 3. C8:0; 4. C10:0; 5. C11:0; 6. C12:0; 7. C13:0; 8. C14:0; 9. C14:1, cis-9; 10. C15:0; 11. C15:1, cis-10; 12. C16:0; 13. C16:1, cis-9; 14. C17:0; 15. C17:1, cis-10; 16. C18:0; 17. C18:1T, trans-9; 18. C18:1, cis-9; 19. C18:2TT, trans-9,12; 20. C18:2, cis-9,12; 21. C20:0; 22. C18:3, cis-6,9,12; 23. C20:1, cis-11; 24. C18:3, cis-9,12,15; 25. C21:0; 26. C20:2, cis-11,14; 27. C22:0; 28. C20:3, cis-8,11,14; 29. C22:1, cis-13; 30. C20:3, cis-11,14,17; 31. C20:4, cis-5,8,11,14; 32. C23:0; 33. C22:2, cis-13,16; 34. C24:0; 35. C20:5, cis-5,8,11,14,17; 36. C24:1, cis-15; 37. C22:6, cis-4,7,10,13,16,19。

图 1 37 种脂肪酸甲酯标准溶液色谱图

Fig.1 Chromatogram of standard solution of 37 kinds of fatty acid methyl esters

为了验证新方法的可靠性,对 1 个泡核桃样品进行了 GB 5009.168—2016 方法和新方法各自 20 次平行检测。结果表明,无论用国家标准方法还是新方法处理样品,都得到了相同的 5 种脂肪酸甲酯的气相色谱图(图 2)。参照脂肪酸甲酯标准品谱图(图 1)可鉴定出,泡核桃中主要的脂肪酸有棕榈酸(序号 12, $t_r=22.29$ min)、硬脂酸(序号 16, $t_r=26.22$ min)、油酸(序号 18, $t_r=27.75$ min)、亚油酸(序号 20, $t_r=29.94$ min)、 α -亚麻酸(序号 24, $t_r=32.36$ min)(图 2)。

采用峰面积归一化法计算脂肪酸各组分在总组分中的含量百分比。新方法 20 次测定的 5 种脂肪酸的平均含量(标准偏差)分别是:棕榈酸 6.403% (0.046%)、硬脂酸 1.679% (0.029%)、油酸 18.274% (0.093%)、亚油酸 65.244% (0.120%)、 α -亚麻酸 8.400% (0.082%); 国家标准方法测定的 5 种脂肪酸的平均含量(标准偏差)分别是:棕榈酸 6.412% (0.041%)、硬脂酸 1.681% (0.016%)、油酸 18.274% (0.146%)、亚油酸 65.229% (0.168%)、 α -亚麻酸 8.404% (0.028%)。国家标准方法测定的 5 种脂肪酸的平均值和标准偏差与新方法非常接近,且两种方法的标准偏差都很小(表 1)。

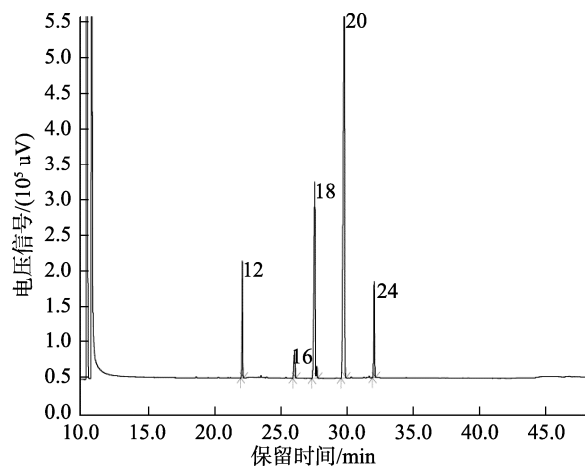
2.2 t 检验

两正态总体方差未知,而且它们不相等,即 $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$, 根据来自这两个总体的样本参数,检验两个总体之间平均数差异的显著性,即检验 $H_0: u_1 = u_2$ 是否成立^[30]。用 SPSS 26.0 对国家标准方法和新方法测得的两组数据之间的差异显著性进行 t 检验。由表 1 可知,棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和 α -亚麻酸的 t 值分别为: 0.608、0.296、0.018、0.323、0.189。查 t 值表^[30], 自由度 $d_f=38$, $t(38)_{0.05}=2.024$ 。5 种脂肪酸的实际计算 t 值均远小于 2.024, 则 $P>0.05$, 不

能否定 $H_0: u_1 = u_2$, 表明总体平均数 u_1 和 u_2 无显著差异, 国家标准方法和新方法对同一个泡核桃样品测得的两组数据之间无显著差异。

2.3 精密度检验

用 Excel 计算一个泡核桃样品的 20 次新方法检测数据的相对标准偏差。棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和 α -亚麻酸的相对标准偏差分别为 0.7%、1.7%、0.5%、0.2% 和 1.0%, 都小于 2.0%(表 1), 说明新方法的重现性很好, 能稳定地测定泡核桃仁中脂肪酸的组分。



注: 12. 棕榈酸甲酯(C16:0), 22.29 min; 16. 硬脂酸甲酯(C18:0), 26.22 min; 18. 油酸甲酯(C18:1, cis-9), 27.75 min; 20. 亚油酸甲酯(C18:2, cis-9,12), 29.94 min; 24. α -亚麻酸甲酯(C18:3, cis-9,12,15), 32.36 min。

图 2 泡核桃样品色谱图

Fig.2 Chromatogram of one sample of *Juglans sigillata* Dode

表 1 两种方法的平均值、标准偏差、方差、相对标准偏差和 t 检验

Table 1 Means, standard deviations, variances, relative standard deviations and t -value of 2 kinds of methods

脂肪酸	检测方法	最小值/%	最大值/%	变幅/%	平均值/%	方差/%	标准偏差/%	RSDs/%	t 值
棕榈酸	国家标准方法	6.342	6.511	0.169	6.412	0.002	0.041	0.6	0.608
	新方法	6.330	6.492	0.162	6.403	0.002	0.046	0.7	
硬脂酸	国家标准方法	1.655	1.732	0.077	1.681	0.001	0.016	0.9	0.296
	新方法	1.601	1.759	0.158	1.679	0.001	0.029	1.7	
油酸	国家标准方法	17.866	18.510	0.644	18.274	0.021	0.146	0.8	0.018
	新方法	18.133	18.448	0.315	18.274	0.009	0.093	0.5	
亚油酸	国家标准方法	64.908	65.648	0.740	65.229	0.028	0.168	0.3	0.323
	新方法	64.994	65.413	0.419	65.244	0.014	0.120	0.2	
α -亚油酸	国家标准方法	8.313	8.435	0.122	8.404	0.001	0.028	0.3	0.189
	新方法	8.311	8.539	0.228	8.400	0.007	0.082	1.0	

3 结论

t 检验和精密度检验结果表明,新方法的测定结果准确可靠,且重现性好。因省去了 GB 5009.168—2016 中的粗脂肪提取步骤,新方法操作简便,适合快速处理大批量样品,可用于:1)核桃油加工前的原料筛选和分级,实现用优质核桃加工优质核桃油;2)从大量核桃植株中筛选出含特定脂肪酸组分的良株,作为优质种质资源。另外,因样品用量极少(仅需 60 mg),新方法也可用于稀少植物油料样品中脂肪酸组分的测定。

参考文献

- [1] 陆俊, 赵安琪, 成策, 等. 核桃营养成分与生理活性及开发利用[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 238–242.
LU J, ZHAO ANQ, CHENG C, *et al.* Nutrient composition, physiological activity, and development and utilization on walnut [J]. Food Mach, 2014, (6): 238–242.
- [2] 余启明, 谢代祖, 蔡锦源, 等. 19 种不同产地核桃的营养成分及脂肪酸的分析比较研究[J]. 2020, 41(2): 149–156.
YU QM, XIE DZ, CAI JY, *et al.* Analysis and comparison of the nutrients and fatty acids components in 19 walnuts (*Juglans regia* L.) from different regions [J]. Food Res Dev, 2020, 41(2): 149–156.
- [3] NGUYEN THD, VU DC. A review on phytochemical composition and potential health-promoting properties of walnuts [J]. Food Rev Int, 2021. DOI: 10.1080/87559129.2021.1912084
- [4] 莫开林, 蒋春蓉, 徐明, 等. 不同核桃脱青皮脱除技术对坚果品质的影响[J]. 四川林业科技, 2016, 37(2): 91–93.
MO KL, JIANG CR, XU M, *et al.* Effect of different walnut green husk removal technology on nut quality [J]. J Sichuan For Sci Technol, 2016, 37(2): 91–93.
- [5] 赵登超, 王钧毅, 韩传明, 等. 不同品种核桃仁脂肪含量及脂肪酸组成成分分析[J]. 华北农学报, 2009, 24(增刊): 295–298.
ZHAO DC, WANG JY, HAN CM, *et al.* Analysis of fat and fatty acids composition and content in walnut varieties [J]. Acta Agric Boreali-Sin, 2009, 24(Suppl): 295–298.
- [6] 李国和. 核桃种质资源研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2007.
LI GH. Studies on germplasm resources of walnuts [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2007.
- [7] 蒋建兵, 王玺, 王芸芸. 世界核桃产销形势分析[J]. 山西果树, 2012, 145(1): 58–59.
JIANG JB, WANG X, WANG YY. Analysis on the production and marketing situation of world walnut [J]. Shanxi Fruit, 2012, 145(1): 58–59.
- [8] 马婷, 宁德鲁. 中国核桃产业国际竞争力分析[J]. 林业科技通讯, 2021, 577(1): 3–7.
MA T, NING DL. Analysis of international competitiveness of walnut industry in China [J]. Forest Sci Technol, 2021, 577(1): 3–7.
- [9] LUNN J, THEOBALD HE. The health effects of dietary unsaturated fatty acids [J]. Nutr Bull, 2006, 31(3): 178–224.
- [10] BUCKLAND G, JOHNSON SDS, JOHNSON L, *et al.* The relationship between dietary intakes and plasma concentrations of PUFA in school-age children from the avon longitudinal study of parents and children (ALSPAC) cohort [J]. Brit J Nutr, 2021. DOI: 10.1017/S00071145 21002191
- [11] SCHULZE MB, MINIHADE AM, SALEH RNM, *et al.* Intake and metabolism of omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Nutritional implications for cardiometabolic diseases [J]. Lancet Diabet Endo, 2020, 8(11): 915–930.
- [12] LI J, GUASCH-FERRÉ M, LI Y, *et al.* Dietary intake and biomarkers of linoleic acid and mortality: Systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies [J]. Am J Clin Nutr, 2020, 112(1): 150–167.
- [13] MARANGONI F, AGOSTONI C, BORGHI C, *et al.* Dietary linoleic acid and human health: Focus on cardiovascular and cardiometabolic effects [J]. Atherosclerosis, 2020, 292: 90–98.
- [14] PETERSEN KS, SULLIVAN VK, FULGONI VL, *et al.* Circulating concentrations of essential fatty acids, linoleic and α -linolenic acid, in US adults in 2003–2004 and 2011–2012 and the relation with risk factors for cardiometabolic disease: An NHANES analysis [J]. Curr Dev Nutr, 2020, 4(12): 149.
- [15] TUTUNCHI H, OSTADRAHIMI A, SAGHAFI-ASL M. The effects of diets enriched in monounsaturated oleic acid on the management and prevention of obesity: A systematic review of human intervention studies [J]. Adv Nutr, 2020, 11(4): 864–877.
- [16] RAVAUT G, LÉGIOT A, BERGERON KF, *et al.* Monounsaturated fatty acids in obesity-related inflammation [J]. Inter J Mol Sci, 2021, 22(1): 330.
- [17] 敬丹. 核桃不饱和脂肪酸合成相关基因的筛选及分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
JING D. Screening and analysis of genes related to the synthesis of unsaturated fatty acids [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020.
- [18] 李国和, 杨冬生, 胡庭兴. 四川省不同产地核桃脂肪酸含量的变化[J]. 林业科学, 2007, 43(5): 36–41.
LI GH, YANG DS, HU TX. Changes in fatty acid content of walnut in different production areas of Sichuan Province [J]. Sci Silv Sin, 2007, 43(5): 36–41.
- [19] GAO P, LIU R, JIN Q, *et al.* Comparative studies 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.
- [20] 邓泽元. 我国食用调和油存在的问题和对策探讨[J]. 中国食品学报, 2014, 14(5): 1–12.
DENG ZY. Problems of vegetable blend oils in China and counter measures [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2014, 14(5): 1–12.
- [21] 耿树香, 宁德鲁, 陈海云, 等. 云南主栽核桃品种功能成分综合评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(2): 209–215.
GENG SX, NING DL, CHEN HY, *et al.* Comprehensive evaluation and analysis of nutrient contents of the main walnut varieties in Yunnan [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed), 2019, 43(2): 209–215.
- [22] 肖良俊, 张雨, 吴涛, 等. 云南紫仁核桃脂肪酸含量及营养评价[J]. 中国油脂, 2014, 39(9): 94–97.
XIAO LJ, ZHANG Y, WU T, *et al.* Fatty acid content and nutritional evaluation of Yunnan purple kernel walnut [J]. China Oils Fats, 2014, 39(9): 94–97.

- [23] 常君, 任华东, 姚小华, 等. 41个薄壳山核桃品种果实营养成分与脂肪酸组成的比较分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(2): 20-30.
CHANG J, REN HD, YAO XH, *et al.* A comparative analysis of nutritional components and fatty acid composition of 41 pecan varieties [J]. J Southwest Univ (Nat Sci Ed), 2021, 43(2): 20-30.
- [24] 耿树香, 宁德鲁, 韩明珠, 等. 云南核桃主要栽培品种蛋白质及脂肪酸综合评价分析[J]. 中国油脂, 2019, 44(10): 116-120, 141.
GENG SX, NING DL, HAN MZ, *et al.* Comprehensive evaluation on protein and fatty acid of main cultivars of walnut in Yunnan province [J]. China Oils Fats, 2019, 44(10): 116-120, 141.
- [25] 唐琦, 余兆硕, 陈化东, 等. 湖南西部山核桃脂肪含量及脂肪酸组成研究[J]. 广州化工, 2016, 44(5): 82-84.
TANG Q, YU ZS, CHEN HD, *et al.* Comparison of fat content and fatty acid composition of *Carya chunanensis* from different origins in western Hunan province [J]. Guangzhou Chem Ind, 2016, 44(5): 82-84.
- [26] 房明虎, 吴彦兵, 王俊转, 等. 不同品种核桃仁中脂肪酸含量及组成分析[J]. 饮料工业, 2019, 22(1): 17-20.
FANG MH, WU YB, WANG JZ, *et al.* Analysis of fatty acids content and composition in different varieties of walnut kernel [J]. Bever Ind, 2019, 22(1): 17-20.
- [27] 谷瑶, 曾永明, 陈松武, 等. 广西不同产地核桃含油率和脂肪酸组分研究[J]. 现代农业科技, 2020, 781(23): 208-210.
GU Y, ZENG YM, CHEN SW, *et al.* Oil content and fatty acid composition of walnut produced from different areas in Guangxi [J]. Mod Agric Sci Technol, 2020, 781(23): 208-210.
- [28] 王蕤, 汤富彬, 钟冬莲, 等. 4种胡桃科坚果中氨基酸和脂肪酸组成分析与营养评价[J]. 中国油脂, 2020, 45(4): 86-91.
WANG R, TANG FB, ZHONG DL, *et al.* Composition analysis and nutrition evaluation of amino acids and fatty acids in four nuts of *Juglandaceae* [J]. China Oils Fats, 2020, 45(4): 86-91.
- [29] 周张涛, 高盼, 章景志, 等. 我国不同产区核桃油组成成分与氧化稳定性研究[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(1): 17-22.
ZHOU ZT, GAO P, ZHANG JZ, *et al.* Chemical composition and oxidation stability index of walnut oils from different production regions in China [J]. Sci Technol Cere Oils Foods, 2020, 28(1): 17-22.
- [30] 张吴平, 杨坚. 食品实验设计与统计分析[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2017.
ZHANG WP, YANG J. Food experiment design and statistics analysis [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2017.

(责任编辑: 张晓寒 韩晓红)

作者简介



寸宇智, 博士, 副教授, 主要研究方向为资源植物学。

E-mail: 2375038057@qq.com



杨卫花, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全检测。

E-mail: 491568228@qq.com