

乙烯利处理对油茶采后种仁品质的影响

王玮琦, 陈怡汀, 张嘉锡, 马晓玲

(中南林业科技大学 经济林培育与保护教育部重点实验室, 长沙 410004)

摘要:为开发对油茶籽进行大规模处理以促进其后熟的方法,以‘华硕’油茶鲜果为试验材料,去皮后得到油茶籽,并用1.5 g/L 乙烯利溶液浸泡处理,分析处理后0、3、6、9、12 d和15 d的油茶种仁含油率、可溶性糖、蔗糖、内源1-氨基-环丙烷羧酸(ACC)含量及其油脂不饱和和脂肪酸含量,考察乙烯利处理对油茶采后种仁品质的影响。结果表明:1.5 g/L 乙烯利溶液浸泡处理油茶籽,显著提高了种仁含油率(处理组和对照组均在处理后9 d达到峰值,处理组比对照组高15.64%)、可溶性糖和蔗糖含量(处理组和对照组均在处理后12 d达到峰值,处理组分别比对照组高16.41%和36.49%)及油脂不饱和脂肪酸含量(处理组在处理后3 d达到峰值,对照组在处理后6 d达到峰值,处理组比对照组高0.28%),并改变了油茶种仁内源ACC含量的变化趋势,使原本的双峰型变为单峰型。综上,采用乙烯利浸泡处理有利于提高油茶采后种仁的品质,减少收贮不当造成的损失。

关键词:油茶; 乙烯利; 种仁含油率; 不饱和脂肪酸; 可溶性糖; 蔗糖; 1-氨基-环丙烷羧酸

中图分类号:TS222+.1; TQ646.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2024)10-0029-05

Effects of ethephon on quality of postharvest seed kernels of *Camellia oleifera*

WANG Weiqi, CHEN Yiting, ZHANG Jiayi, MA Xiaoling

(Key Laboratory of Cultivation and Protection for Non-Wood Forest Trees of the Ministry of Education, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: In order to develop a method for large-scale processing of *Camellia oleifera* seeds to promote their post-ripening, using the fresh fruit of *Camellia oleifera* variety 'Huashuo' as the experimental material, after peeling, *Camellia oleifera* seeds were obtained. *Camellia oleifera* seeds were treated with 1.5 g/L ethephon solution soaking, and the contents of oil, soluble sugar, sucrose and endogenous 1-aminocyclopropane carboxylic acid (ACC) in *Camellia oleifera* seed kernels and unsaturated fatty acid content in its oil were analyzed after 0, 3, 6, 9, 12 d and 15 d of treatment. The effects of ethephon on quality of postharvest seed kernels of *Camellia oleifera* were investigated. The results showed that 1.5 g/L ethephon soaking *Camellia oleifera* seeds significantly increased the oil content (9 d after treatment, the oil contents of control group and treatment group reached their peak, with the treatment group 15.64% higher than that of the control group), the contents of soluble sugar and sucrose in seed kernels (12 d after treatment, the contents of soluble sugar and sucrose of control group and treatment group reached their peaks, with the treatment group 16.41% and 36.49% higher than those of the control group, respectively), and the unsaturated fatty acid content in oil (3 d after treatment, the unsaturated fatty acid content in the treatment group reached a peak, and 6 d after treatment, the unsaturated fatty acid content in the control group reached a peak, with the treatment group 0.28% higher than that of the control group). The trend of endogenous ACC content in *Camellia oleifera* seed kernels was changed, so that the original bimodal type changed to unimodal type. In conclusion, the use of ethephon soaking treatment is beneficial for improving the quality of postharvest *Camellia oleifera* seed kernels and reducing losses caused by improper harvesting and

收稿日期:2023-03-25;修回日期:2024-05-21

基金项目:湖南省科技创新计划种业创新项目(2021NK1007);长沙市自然科学基金资助项目(kq2208412)

作者简介:王玮琦(1998),女,硕士研究生,研究方向为经济林栽培与利用(E-mail)3300813411@qq.com。

通信作者:马晓玲,讲师,博士(E-mail)fanxiaoling@163.com。

storage.

Key words: *Camellia oleifera*; ethephon; oil content in seed kernel; unsaturated fatty acid; soluble sugar; sucrose; 1-aminocyclopropane carboxylic acid

油茶(*Camellia oleifera* Abel.)是山茶科山茶属的常绿灌木或小乔木,是我国特有的重要木本油料树种,主要分布在湖南、江西、浙江等南方低山丘陵地区^[1-2]。以油茶籽为原料制取的油茶籽油营养价值较高,不饱和脂肪酸含量超过80%,具有软化血管、降低血脂和血压、提高脑细胞活性、增强记忆力和思维能力等作用^[3]。另外,油茶籽油中还富含对人体有益的生物活性物质,如甾醇、茶多酚、角鲨烯等^[4-5],不仅能起到降低人体血清胆固醇、预防肿瘤和心脑血管疾病的作用,还对创伤的表层皮肤、软组织挫伤等有良好的治疗效果,被誉为“东方橄榄油”^[6]。

油茶科研工作者对培育优质油茶品种非常重视,已选育出很多优质高产的油茶品种^[7]。但在生产中要获得高品质油茶籽面临困难,主要原因是油茶果从采摘到贮藏主要靠人工,且传统的采摘收贮方法往往使丰产不能丰收,或丰收后贮藏不当导致油茶籽质量变差,含油率相对较低^[8]。乙烯利是一种人工合成的植物生长调节剂^[9],目前在多种果实的后熟促进上有所应用,被用来降低果实硬度,提高成熟度^[10-13]。然而,目前对油茶籽化学处理的相关报道较少。本研究旨在探索出一种能对油茶籽进行大规模处理促进其后熟的方法,减少贮藏过程中因天气等不可控因素造成的浪费和损失,并为后续研究油茶籽后熟的分子机制和激素响应机制提供理论基础。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

‘华硕’油茶鲜果,于2021年11月18日采自湖南省浏阳市好韵味合作社,果实商业成熟时采收,装入自封袋当天运至实验室。乙烯利,吐温,石油醚,甲醇,正庚烷,乙醇,稀硫酸,盐酸,氢氧化钾,硫酸氢钠,活性炭,氢氧化钠,蔗糖标准品,间苯二酚、蒽酮,无水葡萄糖;1-氨基-环丙烷羧酸(ACC)检测试剂盒,江纯蓝生物试剂有限公司。

1.1.2 仪器与设备

B-811型索氏抽提器,瑞士步琦公司;7230 G型可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;GC-2010型气相色谱仪,日本岛津公司;分析天平;烘

箱;粉碎机;水浴锅;TG16G台式高速离心机,常州市亿能实验仪器厂。

1.2 试验方法

1.2.1 油茶鲜果处理

挑选大小相似、成熟度一致、无病虫害、无机械损伤的油茶鲜果,参考荔枝和胡椒收获后用乙烯利催熟的相关研究^[14-15],剥去油茶鲜果果皮后得到油茶籽,将油茶籽分为质量相同的两组,其中一组用1.5 g/L乙烯利溶液(添加500 μL/L吐温80用作表面活性剂)浸泡2 min,标记为乙烯利处理组,另一组用等体积去离子水浸泡2 min,标记为对照组。将浸泡后的油茶籽放在阴凉通风处阴干,然后放入25℃恒温人工气候室。

分别于乙烯利浸泡处理后的0、3、6、9、12、15 d后熟期间取油茶籽,进行相关指标的测定,每组测定用约6个油茶籽,进行3次重复。

1.2.2 油茶种仁含油率测定

取油茶籽,剥去种壳和种皮,参照文献^[16]采用索氏抽提法测定油茶种仁含油率。

1.2.3 油茶籽油不饱和脂肪酸含量测定

取1.2.2提取得到的油茶籽油,参照文献^[17]采用气相色谱法测定油茶籽油不饱和脂肪酸含量。

1.2.4 油茶种仁含糖量测定

1.2.4.1 可溶性糖含量测定

采用蒽酮比色法^[18]测定油茶种仁的可溶性糖含量。

将油茶种仁粉碎并准确称取0.3 g,用研钵磨碎至粉末状,用10 mL离心管收集,加入4 mL 80%乙醇溶液,不断轻轻混匀,80℃水浴加热40 min,取出自然冷却至室温,3 500 r/min离心10 min,吸取上清液;向残渣中加入4 mL 80%乙醇溶液,80℃水浴二次提取,吸取上清液,合并上清液于10 mL离心管中,加入100 mg活性炭,于80℃水浴中脱色30 min,取出冷却、过滤,用80%乙醇溶液定容于10 mL容量瓶中,得可溶性糖待测液。

吸取0.2 mL上述待测液,加0.8 mL蒸馏水,加入5 mL 1 mg/mL蒽酮试剂,摇匀混合;于100℃水浴加热10 min,取出冷却至室温;使用分光光度计在625 nm波长下测定吸光度。取1 mg/mL葡萄糖溶液稀释为不同浓度梯度,按照上述方法测定吸光度,

绘制可溶性糖标准曲线。根据标准曲线方程计算待测液的可溶性糖含量,并按公式(1)计算油茶种仁中可溶性糖含量(C)。

$$C = C_1 V / (m \times 10^6) \times 100\% \quad (1)$$

式中: V 为样品稀释后的体积,mL; C_1 为提取液的可溶性糖含量, $\mu\text{g}/\text{mL}$; m 为油茶种仁质量,g。

1.2.4.2 蔗糖含量测定

采用间苯二酚法^[15]测定油茶种仁的蔗糖含量。

吸取1 mL 1.2.4.1可溶性糖待测液于20 mL试管中,加入0.5 mL 2 mol/L的NaOH溶液,沸水浴5 min,取出冷却后加入2 mL 0.1%间苯二酚,加入7 mL 30% HCl溶液,充分混合摇匀,80℃水浴10 min,取出冷却后,使用分光光度计在480 nm波长下测定吸光度。取1 mg/mL蔗糖溶液稀释为不同浓度梯度,按照上述方法测定吸光度,绘制蔗糖标准曲线。根据标准曲线方程计算待测提取液的蔗糖含量,并按公式(2)计算油茶种仁中的蔗糖含量(C')。

$$C' = C_2 V / (m \times 10^6) \times 100\% \quad (2)$$

式中: V 为样品稀释后的体积,mL; C_2 为提取液的蔗糖含量, $\mu\text{g}/\text{mL}$; m 为油茶种仁质量,g。

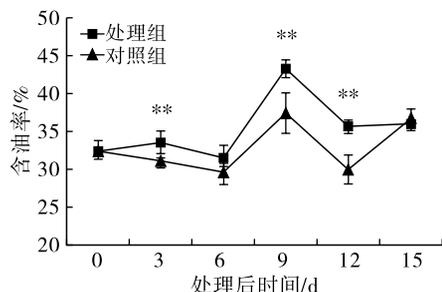
1.2.5 油茶种仁内源 ACC 含量测定

根据ACC检测试剂盒说明书对油茶种仁内源ACC含量进行测定。

2 结果与讨论

2.1 乙烯利处理对后熟期间油茶种仁含油率的影响

乙烯利处理对后熟期间油茶种仁含油率的影响见图1。



注:**表示与对照组相比具有显著差异($p < 0.05$)。下同
Note: ** Significantly different from the control group ($p < 0.05$). The same below

图1 乙烯利处理后熟期间油茶种仁含油率

Fig.1 Oil content in *Camellia oleifera* seed kernels during ripening after ethephon treatment

由图1可知,乙烯利处理组和对照组油茶种仁含油率总体均呈现先上升后下降趋势,均在处理后9 d达到峰值,分别为43.18%和37.34%,处理组比对照组高15.64%。油茶后熟期间种仁含油率先上升后下降趋势与吴建文等^[19]在研究光和温度对采

后油茶果油脂转化影响的结果基本一致,但油茶种仁含油率到达峰值的时间不同,可能与贮藏环境条件不同有关。乙烯利处理组在处理后的3,9 d和12 d油茶种仁含油率显著高于对照组($p < 0.05$)。综上,乙烯利处理在后熟期间促进了油茶种仁含油率的提高,且在处理后9 d榨油出油率最高。

2.2 乙烯利处理对后熟期间油茶籽油不饱和脂肪酸含量的影响

乙烯利处理对后熟期间油茶籽油不饱和脂肪酸含量的影响见图2。

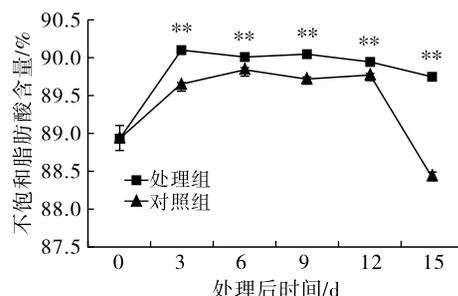


图2 乙烯利处理后熟期间油茶籽油不饱和脂肪酸含量
Fig.2 Unsaturated fatty acid content in *Camellia oleifera* seed kernels during ripening after ethephon treatment

由图2可知,乙烯利处理组和对照组油茶籽油不饱和脂肪酸含量均呈现先上升后下降趋势,处理组在处理3 d达到峰值,为90.09%,对照组在处理6 d达到峰值,为89.84%,处理组峰值比对照组高0.28%,且在处理后3~15 d内处理组不饱和脂肪酸含量均显著高于对照组($p < 0.05$)。目前,对油茶籽油不饱和脂肪酸含量变化的研究,绝大多数都集中在油茶果实成熟期间,如李好等^[20]对油茶籽成熟过程中油脂及营养物质变化的研究,而对油茶籽后熟期间油脂中不饱和脂肪酸含量变化的研究鲜有报道。综上,乙烯利处理促进了油茶籽油不饱和脂肪酸含量的提高,并提前了不饱和脂肪酸含量的峰值,在乙烯利处理后3 d榨油,油脂中不饱和脂肪酸含量最高。

2.3 乙烯利处理对后熟期间油茶种仁含糖量的影响

乙烯利处理对后熟期间油茶种仁可溶性糖含量的影响见图3。

由图3可知,乙烯利处理组和对照组油茶种仁的可溶性糖含量均呈现先上升后下降趋势,且变化趋势基本一致。乙烯利处理组和对照组油茶种仁可溶性糖含量在处理0~6 d持续上升,上升趋势较为平缓,在处理6~9 d急剧上升,在处理9~12 d上升趋势变缓,在处理12~15 d缓慢下降。乙烯利处理组和对照组油茶种仁可溶性糖含量均在处理后12 d达到峰值,分别为9.72%和8.35%,处

理组比对照组高 16.41%；在处理后 3~15 d，乙烯利处理组油茶种仁可溶性糖含量均显著高于对照组 ($p < 0.05$)。综上，乙烯利处理在油茶种仁后熟期间促进了可溶性糖含量的提高。乙烯利处理组和对照组油茶种仁含油率均在处理后 9 d 达到峰值 (图 1)，在此期间可溶性糖含量急剧增加，与处理后 12 d 可溶性糖含量峰值接近。

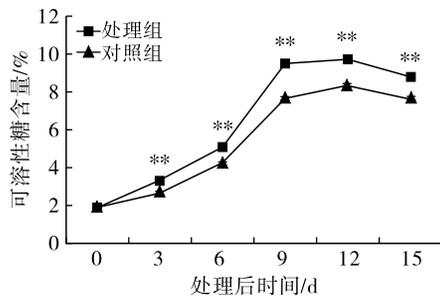


图 3 乙烯利处理后熟期间油茶种仁可溶性糖含量

Fig. 3 Soluble sugar content in *Camellia oleifera* seed kernels during ripening after ethephon treatment

乙烯利处理对后熟期间油茶种仁蔗糖含量的影响见图 4。

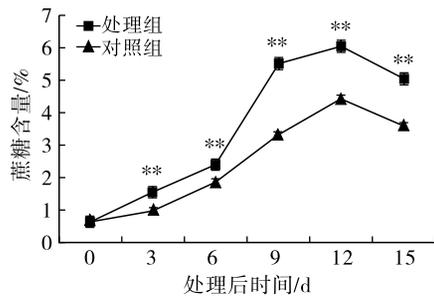


图 4 乙烯利处理后熟期间油茶种仁蔗糖含量

Fig. 4 Sucrose content in *Camellia oleifera* seed kernels during ripening after ethephon treatment

由图 4 可知，乙烯利处理组和对照组油茶种仁蔗糖含量均呈现先上升后下降趋势，且变化趋势基本一致。乙烯利处理组和对照组在处理后 0~6 d，油茶种仁蔗糖含量上升较为平缓，在处理后 6~9 d 急剧增加，在处理后 9~12 d，处理组油茶种仁蔗糖含量上升趋势变缓，而对照组油茶种仁蔗糖含量增加速率与处理后 6~9 d 相当。乙烯利处理组和对照组油茶种仁蔗糖含量均在处理后 12 d 达到峰值，与油茶种仁可溶性糖含量峰值出现时间一致，分别为 6.06% 和 4.44%，处理组油茶种仁蔗糖含量比对照组高 36.49%，且在处理后 3~15 d 内处理组油茶种仁蔗糖含量均显著高于对照组 ($p < 0.05$)。乙烯利处理组和对照组油茶后熟期间种仁可溶性糖含量先上升后下降的趋势与吴建文等^[19]在研究光和温度对采后油茶果油脂转化影响的结果基本一

致，但是与苗森浩等^[21]发现油茶籽在成熟过程中可溶性总糖含量下降，与油脂积累呈负相关的结果不一致。油茶后熟期间种仁含油率和种仁含糖量变化之间的联系和区别有待深入研究。综上，乙烯利处理在油茶种仁后熟期间促进了种仁蔗糖含量的提高。

2.4 乙烯利处理对后熟期间油茶种仁内源 ACC 含量的影响

甲硫氨酸在 S-腺苷甲硫氨酸合成酶 (SAMS) 催化下合成 S-腺苷甲硫氨酸 (SAM)，然后 SAM 在 ACC 合成酶催化作用下产生 ACC 和 5'-甲硫腺苷 (MTA)，最后 ACC 在 ACC 氧化酶的作用下产生乙烯^[22]，因此测定种仁内源 ACC 含量，可以反映油茶种仁内源乙烯含量。乙烯利处理对后熟期间油茶种仁内源 ACC 含量的影响见图 5。

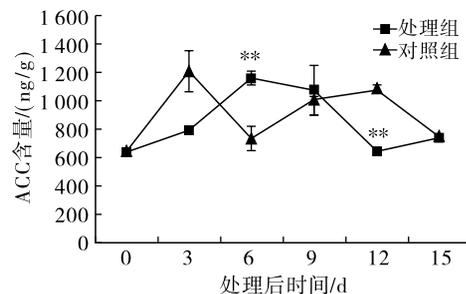


图 5 乙烯利处理后熟期间油茶种仁内源 ACC 含量

Fig. 5 Endogenous ACC content in *Camellia oleifera* seed kernels during ripening after ethephon treatment

由图 5 可知，乙烯利处理组油茶种仁内源 ACC 含量呈单峰变化，而对照组呈双峰变化。在处理后 0~3 d，处理组和对照组油茶种仁内源 ACC 含量均呈上升趋势，但对照组上升较为迅速，并在处理后 3 d 达到峰值 (1 207.17 ng/g)；在处理后 3~6 d，处理组油茶种仁内源 ACC 含量上升趋势加剧，在处理后 6 d 时达到峰值 (1 156.18 ng/g)，对照组则急剧下降；在处理后 6~9 d，处理组油茶种仁内源 ACC 含量呈下降趋势，对照组则呈上升趋势，在处理后 9 d 时，处理组和对照组油茶种仁含油率均达到峰值 (图 1)，且内源 ACC 含量较为接近，分别为 1 076.87 ng/g 和 1 014.54 ng/g；在处理后 9~12 d，处理组油茶种仁内源 ACC 含量下降，对照组则上升；在处理后 12~15 d，处理组油茶种仁内源 ACC 含量上升，对照组则下降，在处理后 15 d 时二者含量相近，分别为 739.76 ng/g 和 745.43 ng/g。在处理后 6、12 d，乙烯利处理组和对照组油茶种仁内源 ACC 含量有显著差异 ($p < 0.05$)。综上，乙烯利处理组油茶种仁内源 ACC 含量较对照组出现峰型变化，

说明外源乙烯利浸泡处理导致油茶种仁内源乙烯含量发生变化,具体变化成因的分子机制还有待更进一步研究。

3 结论

对采后油茶籽进行 1.5 g/L 乙烯利溶液浸泡处理,对油茶种仁含油率、可溶性糖和蔗糖含量及其油脂中不饱和脂肪酸含量的提高均有促进作用,同时改变了采后油茶种仁内源 ACC 含量的变化趋势,使原本的双峰型变为单峰型。采后油茶籽以 1.5 g/L 乙烯利溶液浸泡处理,在处理 9 d 进行榨油,出油率最高。

参考文献:

- [1] 陈庆潮,邱劲柏,林金凤. 油茶落花落果成因及防控技术[J]. 湖南林业科技, 2016, 43(5): 128-130.
- [2] 陈勇,廖朝阳,黄永红. 油茶成林保花保果技术[J]. 湖南林业科技, 2017, 44(6): 99-102.
- [3] LIU X X, LUO X F, LUO K X, et al. Small RNA sequencing reveals dynamic microRNA expression of important nutrient metabolism during development of *Camellia oleifera* fruit[J]. Int J Biol Sci, 2019, 15(2): 416-429.
- [4] 王彦花,刘娟,马小灵,等. 不同富硒方法对茶油品质特性及功能性成分的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(5): 54-59.
- [5] WANG X, ZENG Q, VERARDO V, et al. Fatty acid and sterol composition of tea seed oils: Their comparison by the "FancyTiles" approach [J]. Food Chem, 2017, 233: 302-310.
- [6] 谭传波,田华,赖琼玮,等. 鲜榨山茶油中生物活性物质研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(11): 19-21.
- [7] 彭邵锋,陆佳,陈永忠,等. 油茶品种资源现状与良种筛选技术[J]. 经济林研究, 2012, 30(4): 174-179.
- [8] 王少斌,张亮,彭慧,等. 油茶的采摘贮藏管理[J]. 湖北林业科技, 2016, 45(6): 85-86.
- [9] 徐爱东. 乙烯利催熟对番茄果实营养品质影响的研究

进展[J]. 北方园艺, 2011(10): 181-184.

- [10] ZHANG L, LI S, LIU X, et al. Effects of ethephon on physicochemical and quality properties of kiwifruit during ripening [J]. Postharvest Biol Technol, 2012, 65: 69-75.
- [11] 李新峥,孔瑾,张建伟,等. 乙烯利不同催熟方式对番茄品质影响[J]. 北方园艺, 2001(2): 23-25.
- [12] NORDEY T, LÉCHAUDEL M, GÉNARD M, et al. Factors affecting ethylene and carbon dioxide concentrations during ripening: Incidence on final dry matter, total soluble solids content and acidity of mango fruit[J]. J Plant Physiol, 2016, 196/197: 70-78.
- [13] DHILLON W S, MAHAJAN B V C. Ethylene and ethephon induced fruit ripening in pear[J]. J Stored Prod Postharvest Res, 2011, 2(3): 45-51.
- [14] 李荣昌. 荔枝果实收获后用乙烯利催熟效果[J]. 广西热作科技, 1990(2): 45.
- [15] 吴桂苹,谷风林,魏来,等. 采后乙烯利处理对胡椒鲜果果皮脱除及品质的影响[J]. 热带作物学报, 2015, 36(2): 391-395.
- [16] 张帆航. 油茶 4 个主栽品种果实和种子发育比较研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2020.
- [17] 张志良,瞿伟菁,李小方. 植物生理学实验指导[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [18] 陈俊杰. 油茶成熟种子不同含水率的油脂代谢研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2017.
- [19] 吴建文,黄湘颖,黎贵卿,等. 光和温度对采后油茶果油脂转化的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(11): 208-213.
- [20] 李好,方学智,钟海雁,等. 油茶籽成熟过程中油脂及营养物质变化的研究[J]. 林业科学研究, 2014, 27(1): 86-91.
- [21] 苗森浩,马仲,苏淑钗. 4 个品种油茶成熟期果实品质的变化[J]. 东北林业大学学报, 2023, 51(1): 37-44.
- [22] 陈涛,张劲松. 乙烯的生物合成与信号传递[J]. 植物学通报, 2006, 41(5): 519-530.

(上接第 28 页)

- [25] ALADEDUNYE F, PRZYBYLSKI R. Performance of palm olein and modified rapeseed, sunflower, and soybean oils in intermittent deep-frying [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2014, 116(2): 144-152.
- [26] SHAROBA A M, RAMADAN M F. Impact of frying on fatty acid profile and rheological behaviour of some vegetable oils[J/OL]. J Food Process Technol, 2017, 3(7): 1000161 [2023-05-18]. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000161>.
- [27] 刘玉兰,王莹辉,张振山,等. 4 种油脂煎炸过程中维生素 E 组分含量变化的研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(12): 48-52.
- [28] RAMADAN M F. Oxidation of β -sitosterol and campesterol in sunflower oil upon deep- and pan-frying of French fries[J]. J Food Sci Technol, 2015, 52(10): 6301-6311.
- [29] HASSANIEN M F R, SHAROBA A M. Rheological characteristics of vegetable oils as affected by deep frying of French fries[J]. J Food Meas Charact, 2014, 8(3): 171-179.
- [30] GEWERS F L, FERREIRA G R, DE ARRUDA H F, et al. Principal component analysis: A natural approach to data exploration[J]. ACM Comput Surv, 2018, 54(4): 70.
- [31] LI L, ZHAO J, WANG C, et al. Comprehensive evaluation of robotic global performance based on modified principal component analysis[J/OL]. Int J Adv Rob Syst, 2020, 17(4): 172988141989688 [2023-05-18]. <https://doi.org/10.1177/1729881419896881>.
- [32] 龚家伟,任兴远,于泳,等. 大豆油与菜籽油煎炸薯条过程中的稳定性与适用性研究[J]. 美食研究, 2022, 39(3): 60-68.