

橄榄油与橄榄油基二酯油煎炸薯条 品质差异分析

谭文涛¹, 陈莹¹, 罗日明², 丁思梁³, 杨博³, 王卫飞⁴, 戚穗坚¹, 王永华¹

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广州 510640; 2. 广东粤膳特医营养科技有限公司, 广东佛山 528226;
3. 华南理工大学生物科学与工程学院, 广州 510640; 4. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广州 510640)

摘要:甘油二酯(DAG)作为一种低热值的功能性脂质,因其特殊的理化性质和生理功能被广泛应用于食品体系中。为了考察DAG油作为煎炸油的可行性,以橄榄油基二酯油(ODO, 82.3%)和橄榄油(OO, 92.43%)煎炸薯条,对比研究两种油煎炸后的薯条在水分含量、质构、油含量、色泽、淀粉糊化度以及体外模拟消化淀粉水解率等方面的差异,并用扫描电子显微镜观察消化过程中薯条表面的微观形态变化,最后对两种油煎炸的薯条进行感官评价。结果表明:ODO煎炸薯条的水分含量(57.07%)、油含量(28.15%)、淀粉糊化度(90.7%)、体外模拟消化淀粉水解率(63.02%)分别高于OO煎炸薯条的水分含量(49.93%)、油含量(25.74%)、淀粉糊化度(88.3%)和体外模拟消化淀粉水解率(53.47%);在质构和色泽上,与OO煎炸薯条相比,ODO煎炸薯条具有更高的脆度、更低的硬度及更好的色泽;从微观形态看,ODO煎炸薯条外表面淀粉颗粒的收缩、分散和变形更明显,经体外模拟消化后,OO和ODO煎炸薯条均发生了较大的细胞破裂,其中ODO煎炸薯条显微结构破坏更严重;OO和ODO煎炸薯条在口感、外观、风味、油腻性、脆度、硬度和整体接受度方面不存在显著差异。总体说来,ODO能够在一定程度上改善薯条品质,具有作为煎炸油的潜力。

关键词:甘油二酯;橄榄油;煎炸薯条;品质;体外消化

中图分类号:TS225.1;TS201.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)12-0065-07

Quality difference of French fries fried in olive oil and olive – based diacylglycerol oil

TAN Wentao¹, CHEN Ying¹, LUO Riming², DING Siliang³, YANG Bo³,
WANG Weifei⁴, QI Suijian¹, WANG Yonghua¹

(1. College of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. Guangdong YUE – SHAN Special Nutrition Technology Co., Ltd., Foshan 528226, Guangdong, China; 3. School of Biology and Biological Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 4. Sericultural & Agri – Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Diacylglycerol (DAG), as a functional lipid with low calorific value, is widely used in food system because of its special physicochemical properties and physiological functions. In order to investigate the feasibility of DAG oil as frying oil, French fries were fried with olive – based diacylglycerol

收稿日期:2022-08-20;修回日期:2023-07-18

基金项目:国家重点研发项目(2019YFD1002403);国家自然科学基金(31930084);国家杰出青年科学基金(31725022);佛山市南海区人才创新创业团队(201811070001)

作者简介:谭文涛(1994),男,硕士研究生,研究方向为油脂化学(E-mail)1515693327@qq.com。

通信作者:王永华,教授,博士(E-mail)yonghw@scut.edu.cn。

oil (ODO, 82.3%) and olive oil (OO, 92.43%), and the differences in moisture content, oil content, color, texture, starch gelatinization rate and starch hydrolysis rate in vitro simulated digestion of French fries were studied. In addition, the surface micromorphology changes of French fries during digestion were observed by scanning electron microscope

(SEM). Finally, sensory evaluation of two kinds of French fries was carried out. The results showed that the moisture content (57.07%), oil content (28.15%), starch gelatinization rate (90.7%) and starch hydrolysis rate in vitro simulated digestion(63.02%) of French fries fried in ODO were higher than those in OO(49.93% moisture content, 25.74% oil content, 88.3% starch gelatinization rate, and 53.47% starch hydrolysis rate in vitro simulated digestion). As for color and texture, French fries fried in ODO possessed higher crispness, lower hardness and better color compared with that in OO. The microscopic morphology showed that the shrinkage, distraction and deformation of the starch granules on the outer surface of French fries fried in ODO were more obvious. After in vitro digestion, large cell rupture occurred in both OO and ODO French fries, and French fries fried in ODO had more serious damage to the microstructure. There were no obvious differences in mouthfeel, appearance, flavor, oiliness, crispness, hardness and overall acceptability between OO and ODO French fries. In general, ODO can improve the quality of French fries to a certain extent, so ODO has potential for application in frying.

Key words: diacylglycerol; olive oil; frying French fries; quality; in vitro digestion

甘油二酯(DAG)是天然动植物油脂中的微量成分(2%~10%),是甘油三酯(TAG)中一个脂肪酸被羟基取代的结构脂。研究表明,长期摄入富含DAG的油脂可降低血脂、体质量和体脂,预防高血脂、糖尿病、肥胖等代谢性疾病^[1]。

薯条是一种广受消费者喜爱的高含油食品,其油含量一般在10%~30%之间,有些甚至超过40%。薯条因具有独特的感官特征、价格便宜、便于携带等优点,其全球年消费量达到700万t左右^[2]。然而,高含油薯条的大量食用,可能会导致消费者患肥胖、糖尿病、高血脂等疾病^[3]。因此,作为一种能够改善代谢的功能性脂质,DAG受到了研究人员的广泛关注。

Liu等^[4]研究报道了高纯度大豆油基二酯油(SDO,98.07%)比大豆油具有更高的氧化稳定性,煎炸后SDO中未检测到缩水甘油酯和氯丙醇酯。Li等^[5]用富含DAG的油脂和商用TAG油煎炸土豆3h,发现两种油的氧化变质程度相似,无显著性差异。刘麒薇等^[6]研究发现,橄榄油、大豆油和葵花籽油反复煎炸后,橄榄油劣变程度最低。陈纯等^[7]研究发现,相比于大豆油,橄榄油更适用于煎炸。目前,DAG用于煎炸的研究主要集中在DAG经过煎炸后的热降解和氧化稳定性,关于DAG对煎炸薯条品质的研究还鲜有报道。

本研究以橄榄油基二酯油(ODO,82.3%)和橄榄油(OO,92.43%)为煎炸用油,以油相分布、产品质地及色泽、表现形态、淀粉糊化度和体外模拟消化淀粉水解率等为指标探究ODO和OO煎炸薯条的品质差异,以期考察DAG油作为煎炸油的可行性。

1 材料与方法

1.1 实验材料

马铃薯(水分含量71.30%),购买于当地市场;

橄榄油(OO,92.43%)及橄榄油基二酯油(ODO,82.3%),广东粤膳特医营养科技有限公司;胃蛋白酶(来自猪胃黏膜,800~2500U/mg)、淀粉糖苷酶(100kU/mL)、胰酶(来自猪胰腺),中国上海阿拉丁有限公司;蔗糖酶(来自面包酵母,>200U/mg),麦克林有限公司;BC0700-淀粉测定试剂盒,北京索莱宝科技有限公司。

DF25A恒温电炸锅,斯乐得电器有限公司;Agilent7890气相色谱仪,安捷伦科技有限公司;TAXTC-18质构分析仪,上海保圣实业发展有限公司;AQUALAB4TE水分活度仪,美国METER Group Inc公司;CR-400色差仪,科尼卡美能达有限公司;PCHB-C600电热鼓风干燥箱,中仪(国科)科技有限公司;DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限公司;SXT-02索氏抽提器,上海洪纪仪器设备有限公司;DSC-214差示扫描量热仪,德国耐驰公司;Merlin场发射扫描电子显微镜(FE-SEM),德国蔡司公司。

1.2 实验方法

1.2.1 薯条的制备

将马铃薯清洗去皮后用模具制成10mm×10mm×60mm大小的条状,清洗后于沸水中漂烫2min,冷却后擦干表面水分,得到新鲜薯条。将新鲜薯条分别置于装有1L OO和ODO的电炸锅中,在180℃下煎炸4min,取出薯条,待完全冷却后进行相关指标检测。

1.2.2 水分含量和水分活度的测定

薯条中水分含量的测定参照GB5009.3—2016。水分活度采用水分活度仪测定:将薯条切成小块(2mm×2mm×2mm)均匀地铺在样品杯中,合上盖子,拉手柄至读数位置,待读数稳定后记录。

1.2.3 质构的测定

采用压缩法对薯条进行质构测定,质构分析仪具体参数如下:模式为 TAP,探头 P/36R,测前速度 2 mm/s,测中速度 2 mm/s,测后速度 10 mm/s,触发力 5 g,压缩比 70%。根据仪器自带软件,对得到的力-位移曲线进行分析,获得质构参数硬度(第一次循环压缩的峰值力)和脆度(出现的第一个断裂峰值力)。

1.2.4 油含量和油脂分布测定

参照文献[8]对薯条中油含量和油脂分布进行测定。分别在新鲜薯条煎炸的 30、60、90、120、180、240 s 和薯条冷却过程的 270、300、360、540、840 s 时间点取样,将薯条放入装有 30 mL 石油醚的铝盒中浸泡 1~2 s,然后将铝盒置于通风柜中 24 h 以彻底除去石油醚,测定铝盒中油脂(为薯条的表面油)质量并计算表面油含量。将去除表面油的薯条烘干,参照 GB 5009.3—2016 采用索氏提取法测定结构油含量。总油含量为表面油含量和结构油含量之和。

1.2.5 表面色泽测定

采用色差仪测定薯条的表面色泽,以 L 、 a 、 b 值表示,其中: L 表示明度; a 表示红/绿; b 表示黄/蓝。以色差值(ΔE)表示煎炸前后薯条的色泽变化程度, ΔE 越小代表样品色泽变化越小。

1.2.6 淀粉糊化度测定

参照文献[9]并稍作修改测定薯条的淀粉糊化度。将新鲜薯条和煎炸薯条分别冻干、研磨并过 0.150 mm(100 目)筛网。分别取约 5 mg 冻干样品与 16 μ L 纯水混合,密封置于铝锅中。采用差示扫描量热仪,以 5 $^{\circ}$ C/min 的速度从 20 $^{\circ}$ C 加热到 95 $^{\circ}$ C,由仪器自带软件计算起始温度(T_o)、峰值温度(T_p)、结束温度(T_c)和糊化焓(ΔH),用式(1)计算淀粉糊化度。

$$D = (\Delta H_{\text{raw}} - \Delta H_{\text{fried}}) / \Delta H_{\text{raw}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: D 为糊化度; ΔH_{raw} 为新鲜薯条的糊化焓; ΔH_{fried} 为煎炸薯条的糊化焓。

1.2.7 体外模拟消化淀粉水解率测定

使用淀粉测定试剂盒测定薯条(干基)的总淀粉含量。参照文献[10]并略微修改进行体外模拟消化实验,具体操作如下:

模拟口腔消化:将薯条样品高速均质 3 min,然后准确称量 20 g 样品放入 250 mL 玻璃烧杯中,加入 170 mL 纯水混合均匀,在(37.0 \pm 0.5) $^{\circ}$ C 恒温水浴锅中平衡 30 min。

模拟胃部消化:口腔消化结束后加入 HCl 调整

pH 为 1.2 \pm 0.1,然后加入 1 mL 消化液(含 70 mg 胃蛋白酶),模拟胃部消化 30 min。分别在 0、15、30 min 时收集模拟消化上清液 0.5 mL。

模拟肠道消化:胃部消化结束后加入适量 1 mol/L NaOH 调节 pH 为 6.8 \pm 0.1,加入含胰酶(49.5 mg)、淀粉糖苷酶(0.988 mL)和蔗糖酶(3.8 mg)的人工肠液模拟肠道消化 120 min,期间保持 pH 为 6.8 \pm 0.1。分别在 5、10、15、30、60、90、120 min 时收集模拟消化上清液 0.5 mL。

向收集的模拟消化上清液中加入 2.5 mL 95% 乙醇使酶失活,然后以 4 000 r/min 离心 10 min,收集上清液,向上清液中加入 0.1 mL 淀粉糖苷酶和 4 mg 蔗糖酶(加肠消化液定容至 10 mL)反应 10 min,使水解过程中产生的低聚糖和双糖转化为葡萄糖,期间保持环境温度为 37 $^{\circ}$ C。参考文献[11]测定水解反应液中葡萄糖含量,用公式(2)计算淀粉水解率。

$$H = 0.9G_p / S \times 100\% \quad (2)$$

其中: H 为淀粉水解率; G_p 为水解产生的葡萄糖量,g; S 为淀粉的初始量,g;0.9 为转换系数[淀粉单体的分子质量与葡萄糖的分子质量比值(162/180=0.9)]。

1.2.8 显微结构观测

参照文献[12]用 FE-SEM 观察煎炸薯条和体外模拟消化过程中薯条的表面形态。具体操作如下:先用刀片将薯条切成 3 mm \times 3 mm \times 1 mm 的薄片,再按 1.2.7 方法进行消化,在模拟胃部消化 30 min 和模拟肠道消化 120 min 后取出薄片。采集的样品立即用液氮浸泡,冷冻干燥后将样品涂上金粉,用 FE-SEM 观察样品表面形态。

1.2.9 感官评价

参照文献[13]中的方法,挑选 20 名人员对煎炸薯条进行感官评定,评估其口感、脆度、硬度、外观、色泽、风味、油腻性和整体接受度。总分为 10 分(1、2 分为极差;3、4 分为差;5、6 分为普通;7、8 分为好,9、10 分为极好),且分数越高评价越高,将薯条随机分给检测人员进评定打分。

1.2.10 统计分析

所有实验重复 3 次,使用 SPSS 24.0 进行单向方差分析(ANOVA)分析实验数据。并进行 Duncan 多重比较。

2 结果与讨论

2.1 水分含量和水分活度

两种油煎炸后薯条中水分含量和水分活度的测定结果如图 1 所示。

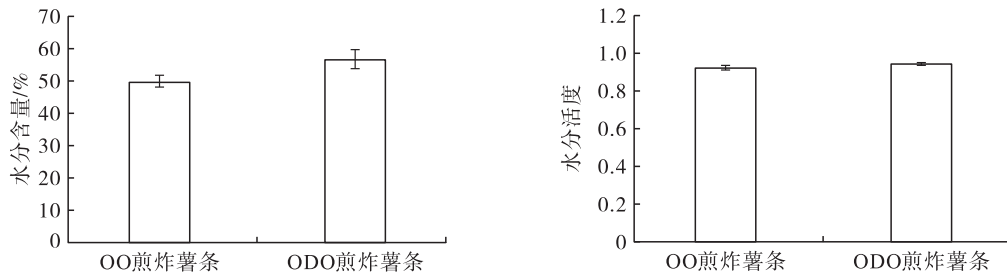


图1 薯条中水分含量和水分活度

由图1可以看出,经过OO和ODO煎炸后薯条水分含量分别下降至49.93%和57.07%,二者存在显著差异($p < 0.05$)。两种油煎炸后薯条水分含量的差异可能是因为两种油传热传质的强度不同,从而导致薯条外壳结构改变,ODO煎炸后薯条的表面结构相对而言更加紧实,阻碍了水分向外迁移,进而造成其水分含量高于OO煎炸的薯条。李培燕^[14]的研究中报道,煎炸油的不同会影响煎炸薯条外壳的厚度和微观结构。本研究中,经OO和ODO煎炸后薯

条的水分活度分别为0.9301和0.9474,ODO煎炸薯条的水分活度略高于OO煎炸薯条的。结合水分含量和水分活度变化,推测ODO煎炸薯条的内部质地更加柔软,汁液较多。

2.2 质构

硬度和脆度是表征薯条品质的最重要的物理特性。两种油煎炸后薯条硬度和脆度的测定结果如图2所示。

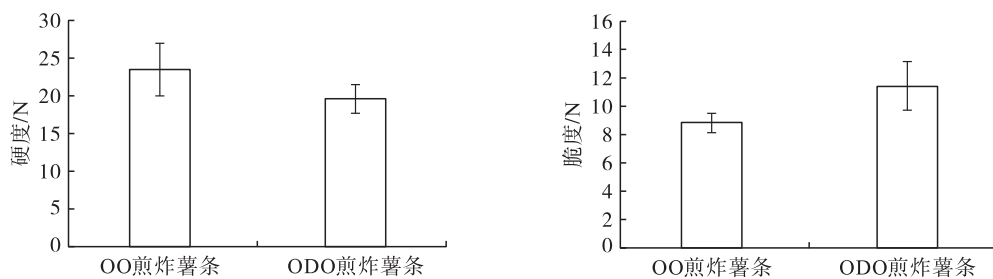


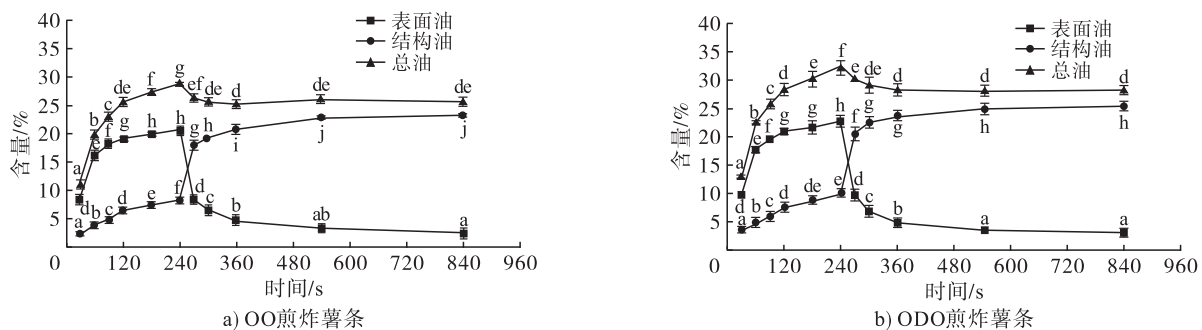
图2 薯条的硬度和脆度

由图2可以看出,OO煎炸薯条的硬度(23.42 N)大于ODO煎炸薯条(19.51 N)的,而OO煎炸薯条的脆度(8.78 N)则小于ODO煎炸薯条(11.38 N)的。结合ODO煎炸薯条和OO煎炸薯条的水分含量可知,ODO煎炸薯条的口感较好,硬度低,脆度

高。因此,相较于OO煎炸薯条,ODO煎炸薯条具有更好的质构特性。

2.3 油含量和油脂分布

煎炸和冷却过程中薯条中油含量和油脂分布情况如图3所示。



注:同一指标不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)

图3 煎炸和冷却过程中薯条中油含量和油脂分布

由图3可以看出,在煎炸和冷却过程中,两种油煎炸薯条的总油含量、表面油含量和结构油含量都有显著变化($p < 0.05$)。在两种油煎炸的薯条中,表面油含量都是在前60 s迅速增加,在240 s时达到最大值,然后在冷却过程中迅速降低,在整个过程

中,ODO煎炸薯条的表面油含量略高于OO煎炸薯条的。这种现象可能与煎炸完成后的油脂滴落速率有关,由于ODO黏度(208.54 mPa·s)高于OO(110.32 mPa·s),使得ODO煎炸薯条表面的油脂滴落速率小于OO煎炸薯条的^[15],所以ODO煎炸

薯条的表面油含量大于 OO 煎炸薯条的。

结构油在煎炸和冷却过程中的变化趋势与表面油不同。结构油含量在煎炸过程中缓慢上升,当薯条从电炸锅中取出后,结构油含量迅速上升,这可能是因为表面油在冷却过程中渗入薯条内部成为结构油,导致结构油含量迅速上升。相较于 OO 煎炸薯条(结构油含量 23.31%),冷却后(840 s)ODO 煎炸薯条的结构油含量略高(25.33%)。总油含量是表面油和结构油的总和。冷却后(840 s)OO 和 ODO 煎炸薯条的总油含量分别为 25.74% 和 28.15%,两者都低于消费者能接受的 40% 油含量界限,但从总油含量角度考虑,ODO 更适合煎炸薯条。

2.4 表面色泽

两种油煎炸后薯条表面色泽的变化情况如表 1 所示。

由表 1 可以看出,煎炸后薯条 L 值和 a 值都有

上升的趋势,而 b 值则呈下降的趋势。ODO 煎炸薯条的 L 值和 b 值高于 OO 煎炸薯条的, a 值则呈现相反的现象。从刚煎炸完薯条的外观也能看出同样的规律。ODO 煎炸薯条的 ΔE 比 OO 煎炸薯条的更低,说明 ODO 煎炸薯条的色泽更接近于新鲜薯条,因此相较于 OO 煎炸薯条,ODO 煎炸薯条的色泽更好。

表 1 两种油煎炸后薯条表面色泽的变化

样品	L	a	b	ΔE
新鲜薯条	35.41 ± 0.32 ^a	-0.92 ± 0.15 ^a	20.65 ± 0.48 ^c	
OO 煎炸薯条	52.91 ± 0.66 ^b	3.05 ± 0.52 ^b	18.87 ± 0.35 ^a	20.01 ± 0.86 ^a
ODO 煎炸薯条	54.94 ± 0.81 ^c	2.53 ± 0.47 ^b	19.94 ± 0.80 ^b	17.87 ± 0.71 ^b

注:同列中不同小写字母表示具有显著性差异($p < 0.05$)。下同

2.5 淀粉糊化度

表 2 为新鲜薯条、OO 和 ODO 煎炸薯条的淀粉糊化过程中起始温度(T_0)、峰值温度(T_p)、结束温度(T_c)、糊化焓(ΔH)的变化情况及煎炸薯条的糊化度。

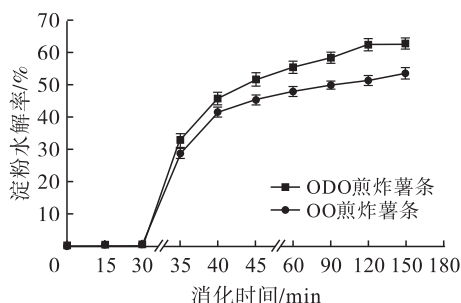
表 2 新鲜薯条和煎炸薯条的 DSC 熔化参数及淀粉糊化度

样品	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J/g})$	糊化度/%
新鲜薯条	57.7 ± 0.6 ^a	60.6 ± 0.8 ^a	64.1 ± 1.1 ^b	16.2 ± 0.5 ^a	
OO 煎炸薯条	50.5 ± 0.3 ^b	55.8 ± 0.4 ^b	69.7 ± 0.6 ^a	1.9 ± 0.2 ^b	88.3 ± 0.3 ^b
ODO 煎炸薯条	45.8 ± 0.2 ^c	53.3 ± 0.5 ^c	68.6 ± 0.5 ^a	1.5 ± 0.1 ^c	90.7 ± 0.6 ^a

由表 2 可以看出,与新鲜薯条相比,煎炸薯条淀粉糊化的起始温度(T_0)均低于新鲜薯条,而结束温度(T_c)均高于新鲜薯条。新鲜薯条 ΔH 值最高(16.2 J/g),其次是 OO 煎炸薯条(1.9 J/g)和 ODO 煎炸薯条(1.5 J/g)。OO 和 ODO 煎炸薯条的淀粉糊化度分别为 88.3% 和 90.7%,两者之间存在显著性差异($p < 0.05$),这可能是因为 DAG 是一种表面活性剂^[16],在煎炸过程中加速了油脂与薯条的相互作用,从而导致 ODO 煎炸薯条的淀粉糊化度更高。

2.6 体外模拟消化淀粉水解率的变化

图 4 为体外模拟消化过程中 OO 和 ODO 煎炸薯条的淀粉水解率变化情况。



注:前 30 min 为胃部消化阶段,后面为肠道消化阶段;口腔消化时间未计入

图 4 体外模拟消化过程中 OO 和 ODO 煎炸薯条的淀粉水解率

由图 4 可以看出,在胃部消化阶段薯条中的淀粉基本没发生水解,这可能是因为模拟胃液中不含淀粉酶所致。而在模拟肠道消化过程中,薯条中的淀粉迅速水解,模拟肠道消化 5 min,OO 和 ODO 煎炸薯条淀粉水解率分别为 28.75% 和 32.73%,消化 120 min 时,ODO 煎炸薯条淀粉水解率为 63.02%,而 OO 煎炸薯条淀粉水解率为 53.47%。在模拟肠道消化过程中,ODO 煎炸薯条的淀粉水解率始终高于 OO 煎炸薯条的,这可能与 ODO 煎炸薯条的淀粉糊化度(90.7%)高于 OO 煎炸薯条(88.3%)有关。此外,TAG 会在淀粉颗粒周围形成油膜而对淀粉的水解产生抑制作用,而 DAG 具有乳化作用可以减轻这种抑制^[17]。因此,ODO 煎炸薯条更容易被水解消化和吸收。

2.7 显微结构

OO 和 ODO 煎炸薯条及其体外模拟消化过程中的表面显微结构如图 5 所示。

从图 5 可以看出:经过 OO 和 ODO 煎炸后,薯条表面(图 5a 和图 5d)都有完整的淀粉结构,OO 煎炸薯条表面淀粉结构更加致密;经过胃部消化后,OO 和 ODO 煎炸薯条表面结构(图 5b 和图 5e)均发生了不可逆的变化,淀粉粒吸水膨胀,薯条表面变得不平整,并出现了不规则的孔洞;经肠道消化 120 min

后,相比于 OO 煎炸薯条(图 5c),ODO 煎炸薯条(图 5f)表面淀粉水解程度更高,结构破坏也更彻底,这可能是因为淀粉表面的油脂会阻断吸附位点来降低

酶的结合而影响淀粉的酶敏感性^[18],而由于 DAG 结构的特殊性,在体外胃、肠消化过程中起到乳化剂的作用,从而促进了淀粉的水解。

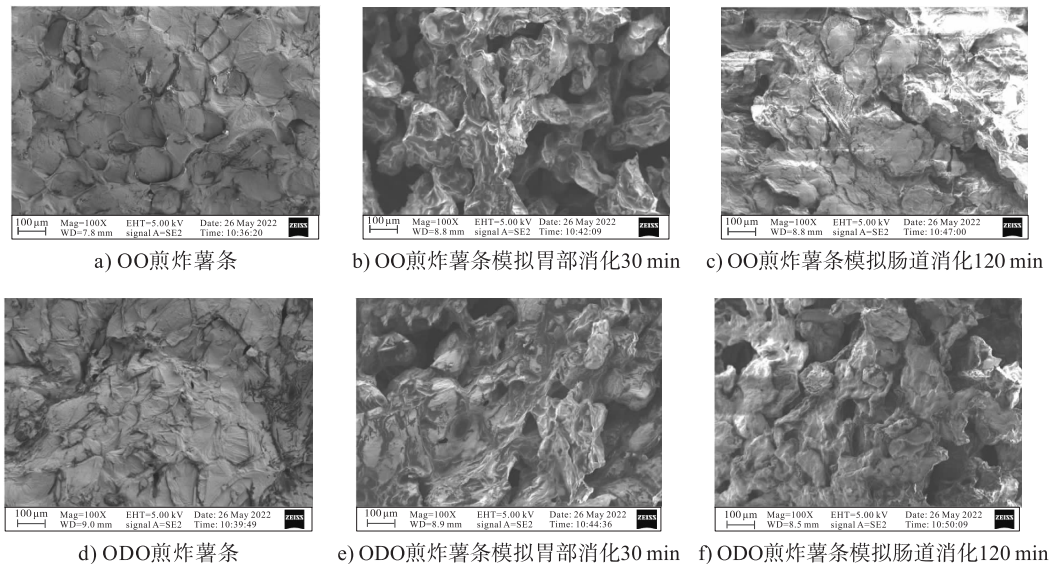


图 5 体外模拟消化过程中 OO 和 ODO 煎炸薯条表面显微结构

2.8 感官评价

OO 和 ODO 煎炸薯条的感官评价结果如图 6 所示。

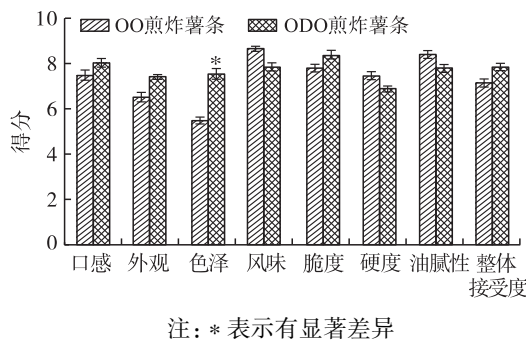


图 6 OO 和 ODO 煎炸薯条感官评价结果

由图 6 可知,OO 和 ODO 煎炸薯条在口感、外观、风味、油腻性、脆度、硬度、油腻性和整体接受度上没有显著差异,但 OO 煎炸薯条色泽得分(5.49)低于 ODO 煎炸薯条的(7.54),两者之间具有显著差异($p < 0.05$)。OO 煎炸薯条色泽整体偏红,而 ODO 煎炸薯条色泽金黄,这些差异与表 1 中的数据具有一致性。综合整体的感官评价,ODO 煎炸薯条在感官上具有更高的得分,可见,ODO 更适用于煎炸薯条。

3 结论

本文对比研究了 OO 与 ODO 煎炸薯条的水分含量、质构、油含量、色泽、淀粉糊化度、体外模拟消化淀粉水解率、显微结构和感官评价,综合分析评价 OO 与 ODO 对薯条品质的影响。结果表明,相对于

OO 煎炸薯条,ODO 煎炸薯条具有更高的水分含量、水分活度、油含量、脆度、淀粉糊化度、感官得分,并且具有更低的硬度和更好的色泽。总体来说,ODO 能在一定程度上改善薯条品质,具有作为煎炸油的潜力。但 ODO 价格高以及其煎炸薯条淀粉水解率高的特点也不容忽视。

参考文献:

- [1] IJIRI Y, NAEMURA A, YAMASHITA T, et al. Dietary diacylglycerol extenuates arterial thrombosis in *apoE* and *LDL* deficient mice [J]. *Thromb Res*, 2006, 117(4): 411-417.
- [2] DOURADO C, PINTO C, BARBA F J, et al. Innovative non-thermal technologies affecting potato tuber and fried potato quality [J]. *Trends Food Sci Tech*, 2019, 88: 274-289.
- [3] GUO Q, YE A, BELLISSIMO N, et al. Modulating fat digestion through food structure design [J]. *Prog Lipid Res*, 2017, 68: 109-118.
- [4] LIU X, XU L, LUO R, et al. Thermal properties, oxidative stability, and frying applicability of highly pure soybean-based diacylglycerol oil [J/OL]. *J Food Process Pres*, 2022, 46(5): e16528 [2022-08-20]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16528>.
- [5] LI C M, KIMURA F, ENDO Y, et al. Deterioration of diacylglycerol- and triacylglycerol-rich oils during frying of potatoes [J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2005, 107(3): 173-179.

(下转第 96 页)

- [10] NOTARNICOLA M, PISANTI S, TUTINO V, et al. Effects of olive oil polyphenols on fatty acid synthase gene expression and activity in human colorectal cancer cells [J]. *Genes Nutr*, 2011, 6(1): 63 – 69.
- [11] 王安华, 龙国清, 王东东, 等. 橄榄油果渣中多酚提取及活性研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(5): 219 – 224.
- [12] REZAEI S, AKHLAGH M, SASAN I, et al. Olive oil lessened fatty liver severity independent of cardiometabolic correction in patients with non – alcoholic fatty liver disease: a randomized clinical trial[J]. *Nutrition*, 2019, 57(1):154 – 161.
- [13] 郑恒光, 翁敏劼, 汤葆莎, 等. 橄榄油保健和疾病预防功效研究进展[J]. *食品科技*, 2019, 44(10):196 – 199.
- [14] HERNÁEZ A, CASTAÑER O, ELOSUA R, et al. Mediterranean diet improves high – density lipoprotein function in high – cardiovascular – risk individuals: a randomized controlled trial [J]. *Circulation*, 2017, 135(7): 633 – 643.
- [15] 冯贺, 苗馨心, 郑大浩, 等. 玉米黄质的保健机制与生物合成研究进展[J]. *延边大学农学学报*, 2019, 41(4):90 – 98.
- [16] 陈焱, 罗兰, 吴疆. 玉米黄质的生物学功能及其应用[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(16):210 – 212.
- [17] PERRY A, RASMUSSEN H, JOHNSON E J. Xanthophyll (lutein, zeaxanthin) content in fruits, vegetables and corn and egg products [J]. *J Food Compos Anal*, 2009, 22(1):9 – 15.
- [18] 李红艳, 李丽娅, 农林玲, 等. 玉米黄质对高脂诱发鹌鹑模型血管脂质过氧化损伤的保护作用[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2011, 15(7):1227 – 1231.
- [19] 李大婧, 庞慧丽, 刘春泉. 叶黄素和玉米黄质对眼睛的保护作用研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(9): 1 – 4.
- [20] 张嘉颖, 林鑫, 樊威, 等. 复合凝聚法制备枸杞玉米黄质纳米胶囊及其性质研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(24):69 – 74,86.
- [21] 郝艳丽, 赵峻秀, 陈响, 等. 没食子酸对高脂血症小鼠的保护作用[J]. *中国兽医杂志*, 2022, 58(2):79 – 83.
- [22] 叶文斌, 樊亮. 纹党多糖对四氧嘧啶诱导糖尿病大鼠血糖血脂的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(20): 359 – 363.
- [23] 王静, 蒋万, 何生虎, 等. 自制中药复方片剂对小鼠的急性毒性实验[J]. *动物医学进展*, 2015, 36(2):120 – 124.

(上接第 70 页)

- [6] 刘麒薇, 李赛男, 白妍双, 等. 反复煎炸对 4 种食用植物油品质的影响 [J]. *中国食品卫生杂志*, 2014, 26(3): 274 – 277.
- [7] 陈纯, 李以隽. 橄榄油在高温条件下的稳定性研究 [J]. *粮食与油脂*, 2019, 32(1): 67 – 68.
- [8] PEDRESCHI F, COCIO C, MOYANO P, et al. Oil distribution in potato slices during frying [J]. *J Food Eng*, 2008, 87(2): 200 – 212.
- [9] CONTARDO I, PARADA J, LEIVA A, et al. The effect of vacuum frying on starch gelatinization and its in vitro digestibility in starch – gluten matrices [J]. *Food Chem*, 2016, 197: 353 – 358.
- [10] TIAN J H, CHEN S G, WU C H, et al. Effects of preparation methods on potato microstructure and digestibility: an in vitro study [J]. *Food Chem*, 2016, 211: 564 – 569.
- [11] RAMÍREZ C, MILLON C, NUÑEZ H, et al. Study of effect of sodium alginate on potato starch digestibility during in vitro digestion [J]. *Food Hydrocolloid*, 2015, 44: 328 – 332.
- [12] TIAN J, CHEN S, SHI J, et al. Microstructure and digestibility of potato strips produced by conventional frying and air – frying: an in vitro study [J]. *Food Struct*, 2017, 14: 30 – 35.
- [13] KEMP S, HOLLOWOOD T, HORT J. *Sensory evaluation: a practical handbook* [M]. New Jersey: John Wiley & Sons., Inc., 2013.
- [14] 李培燕. 油脂对煎炸薯条质构的影响及其机制[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2021.
- [15] GAMBLE M H, RICE P, SELMAN J D. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from cv. Record UK tubers [J]. *Int J Food Sci Tech*, 1987, 22(3): 233 – 241.
- [16] BLUMENTHAL M M, STIER R F. Optimization of deep – fat frying operations[J]. *Trends Food Sci Tech*, 1991, 2: 144 – 148.
- [17] XU Q, QIN X, LAN D, et al. Water – in – oil emulsions enriched with *alpha* – linolenic acid in diacylglycerol form: stability, formation mechanism and in vitro digestion analysis [J/OL]. *Food Chem*, 2022, 391: 133201[2022 – 08 – 20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133201>.
- [18] DHITAL S, BRENNAN C, GIDLEY M J. Location and interactions of starches in planta: effects on food and nutritional functionality [J]. *Trends Food Sci Tech*, 2019, 93: 158 – 166.