

## 低温油炸黄茶风味小麦脆片加工工艺优化及品质分析

鲍雨婷<sup>1,2</sup>, 陈琪<sup>3</sup>, 王灼琛<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>安徽省农业科学院农产品加工研究所 合肥 230031

<sup>2</sup>安徽省食品微生物发酵与功能应用工程实验室 合肥 230031

<sup>3</sup>安徽农业大学 茶树生物学与资源利用国家重点实验室 合肥 230036

**摘要** 为改善油炸小麦脆片的产品品质,缓解加工过程中油炸温度过高,产品风味和营养不佳的问题,本文将黄茶超微粉碎后添加到小麦脆片中,采用低温真空油炸的方式进行产品加工,并对加工工艺参数进行优化,同时探究产品的理化特性和抗氧化活性。采用气相色谱-离子迁移谱技术(GC-IMS)测定其挥发性成分变化,评价黄茶粉对小麦脆片风味品质的影响。结果表明:最佳工艺参数为:黄茶粉添加量 3%(小麦粉质量计),黄茶粉粒径 150 目,油炸时间 35 min,油炸温度 90 ℃。在该优化条件下制作的黄茶风味脆片,比容为 5.17 g/mL、硬度为 289.47 g,较未添加黄茶粉的脆片均有所上升,同时表现出较好的体外抗氧化活性,对 DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基清除率分别为 88.46%和 92.49%。GC-IMS 检测结果显示醛类风味物质在黄茶脆片中含量较高。结论:将黄茶粉应用于低温油炸小麦脆片加工中,可为丰富油炸类小麦制品品类,提升产品品质提供新思路。

**关键词** 低温真空油炸; 黄茶; 小麦脆片; 挥发性风味物质; 品质分析

**文章编号** 1009-7848(2024)11-0254-15 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.11.024

黄茶是中国特有的一种茶类,主要通过杀青、揉捻、初烘、闷黄、高火烘焙等工艺加工而成<sup>[1]</sup>。由于其加工过程中采用“闷黄”的特殊工艺来促进酯型儿茶素的转化,利用高温焙烤促使黄变和美拉德褐变,进而形成黄茶独特的色泽与锅巴焦香味,因此受到众多消费者的青睐<sup>[2]</sup>。许多文献研究表明<sup>[3-4]</sup>,黄茶具有抗氧化,调节糖脂代谢,调节高脂日粮引起的小鼠肠道菌群紊乱,维系肠道屏障功能等作用。目前,将茶叶添加到食品中,可以作为一种新型营养强化剂,提升产品的风味口感及营养价值<sup>[5-6]</sup>。黄茶具有这些特点,使其在新型茶食品的开发市场中占据较大优势。

油炸类小麦制品在我国深受大众欢迎,如炸麻叶、炸馓子、油条、麻花等传统中式点心,几乎占据国人的早餐市场。然而,这些常压油炸的面制品经长时间、高温度的油炸加工,很容易流失食品本身的营养价值,并产生丙烯酰胺等有害物质<sup>[7]</sup>,含油量也较高,对人体健康不利<sup>[8]</sup>,这给产品的加工

和销售带来很大局限性。近年来,低温真空油炸技术在食品加工工业兴起。低温油炸膨化技术的原理是在低于大气压力条件下,利用油脂作为介质,当油温达到设定值时,物料中的水分在负压下急速沸腾,与油脂进行交换脱水并大量散发蒸汽,达到对物料进行膨化的目的<sup>[9]</sup>。低温真空油炸技术在脆片领域早有较深入的研究,如 Belkova 等<sup>[10]</sup>将 2 种马铃薯切片,分别于 125 ℃真空、165 ℃常压下油炸,发现真空油炸可减少 98%丙烯酰胺和其它美拉德氧化终产物的生成。真空油炸技术阻隔了食品与氧气的接触,且低温度油炸条件下减少了油脂的氧化劣变及致癌物产生,可有效保留食品原来的色泽、营养成分和风味<sup>[11]</sup>。低温油炸脆片的相关研究虽较多,但大多集中在果蔬、水产和肉制品等方面<sup>[12-14]</sup>。关于面制品方面,特别是茶风味的小麦脆片的相关研究鲜有报道。为了改善油炸小麦脆片的产品品质,缓解加工过程中油炸温度过高,产品风味和营养不佳的问题,本文将黄茶超微粉碎后添加到小麦脆片中,采用低温真空油炸方式加工产品,并对加工工艺参数进行优化。同时探究产品的理化特性和抗氧化活性,采用 GC-IMS 测定其挥发性风味成分变化,评价黄茶粉对小麦脆片的品质影响。为丰富油炸类小麦制品品类及黄

收稿日期: 2023-11-12

基金项目: 安徽省重点研发计划国际合作专项(202004b11020004)

第一作者: 鲍雨婷,女,硕士

通信作者: 王灼琛 E-mail: wzc45098@163.com

茶深加工制品的开发提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

霍山黄茶,安徽省霍山县亨大茶叶有限公司;中筋小麦粉,潍坊风筝面粉有限公司;食用棕榈油,益海粮油工业有限公司;食盐、饮用水,当地超市。

没食子酸标准品,上海源叶生物科技有限公司;福林酚,上海麦克林生化科技有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH),梯希爱(上海)化成工业发展有限公司;2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二胺盐 [2,2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS],上海阿拉丁生化科技股份有限公司;无水乙醇、无水甲醇、碳酸钠、过硫酸钾均为国产分析纯级试剂。

### 1.2 仪器与设备

TAXT plus 质构仪,英国 Stable Micro System 公司;CR-400 色差仪,日本 Konica Minolta 公司;FlavourSpec®风味分析仪,山东海能科学仪器有限公司;MXT-5 色谱柱,美国 RESTEK 公司;800C 多功能粉碎机,永康市红太阳机电有限公司;HM750 厨师机,青岛汉尚电器有限公司;真空油炸机,烟台海瑞食品设备有限公司;DKZ-2 电热恒温振荡水浴锅,上海恒一科技有限公司;SC-3610 低速离心机,安徽中科中佳科学仪器有限公司;INFINITE E PLEX 酶标仪,奥地利 Tecan Austria GmbH 公司。

### 1.3 黄茶风味脆片制作工艺

1.3.1 工艺流程 黄茶风味脆片的工艺流程如下:黄茶粉碎→过筛→原辅料混合→调制面团→静置醒发→辊压→切片→低温油炸→冷却→成品。

1.3.2 制作方法 将黄茶超微粉碎后,过一定目数筛网,得到黄茶粉。以 100 g 小麦粉为基准,称取一定比例的茶粉、1%盐,将各原料和面粉投入厨师机内充分搅拌,少量多次加水,加水总量占小麦粉质量的 50%,厨师机 1~2 档和面 10~15 min 直至形成较均匀平滑的面团。随后用保鲜膜覆盖面团,室温下静置 10 min,将面团按扁擀至一定厚

度,再放入与厨师机配套的压面配件中进行辊压(最终厚度约 1.5 mm)。压面完成后将面片切分为逐个边长 2.5 cm 的方形薄片,置于-18 ℃下冷冻 16~18 h 备用。油温预热后将冻好的面片下锅,油炸膨化结束后,将脆片取出并放置在室温下冷却,得到脆片成品。对照组(CK)为不添加茶粉制作的脆片。

### 1.4 单因素实验

1.4.1 茶粉添加量 固定油炸时间 30 min,油炸温度 90 ℃,茶粉目数 100 目,以 100 g 小麦粉为基准,称取质量分数 0%,2%,3%,4%,5%的茶粉,进行茶粉添加量单因素实验。

1.4.2 茶粉粒径 固定油炸时间 30 min,油炸温度 90 ℃,茶粉添加量 3%,进行茶粉目数单因素实验(80,100,150,200 目)。

1.4.3 油炸时间的确定 固定油炸温度 90 ℃,茶粉目数 100 目,茶粉添加量 3%,进行油炸时间单因素实验(20,25,30,35,40 min)。

1.4.4 油炸温度的确定 固定油炸时间 30 min,茶粉目数 100 目,茶粉添加量 3%,进行油炸温度单因素实验(80,85,90,95,100 ℃)。

### 1.5 正交试验

选取单因素实验中各因素较优的 3 个水平进行参数组合优化,采用  $L_9(3^4)$  正交试验设计,以脆片比容为优化指标确定最佳工艺配方。

表 1 正交试验设计因素水平

Table 1 Orthogonal test design factor level

水平	黄茶粉添加量(A)/%	黄茶粉粒径(B)/目	油炸时间(C)/min	油炸温度(D)/℃
1	2	80	30	85
2	3	100	35	90
3	4	150	40	95

### 1.6 比容测定

以 100 mL 的量筒为容器,在量筒底部加入小米,加入 3 片膨化后的脆片,再加入小米将量筒内的空隙填满,适当振动量筒,使小米表面与 100 mL 刻度线平齐。将脆片取出,测定小米的体积,量筒容积减去小米体积,即为脆片体积( $V$ ),再用电子天平称量脆片的质量( $m$ ),根据公式(1)计算脆片的比容。重复测定 3 次,取平均值。

$$\text{比容}(\text{mL/g}) = V/m \quad (1)$$

### 1.7 感官评定

采用评分法对脆片的感官品质进行分析。感官评价小组由 10 名食品专业的学生组成,对脆片

的色泽、外观、香气、滋味、粗糙度、硬度进行逐一评审。每份样品约 50 g,采用 3 位数随机编码,随机顺序呈送给每名评价员。

表 2 感官评分标准表

Table 2 Sensory evaluation standard table

指标	标准	评分
色泽	有明显黄茶粉的黄褐色,颜色均匀光泽度好	7~10
	颜色较淡或颜色较均匀	4~6
	颜色过深或颜色分布不均匀,无光泽	<4
外观	形状规则,表面平整、光滑,基本无破损	7~10
	形状较规则,表面较平整、较光滑,有少许破损	4~6
	形状不规则,表面不平整、不光滑,有多处破损	<4
香气	有浓郁的黄茶香气,无异味	7~10
	黄茶香气一般或较淡,有轻微异味	4~6
	几乎没有黄茶香气或有较重异味	<4
滋味	有适口的黄茶味道,没有生粉味道或焦糊味道	7~10
	黄茶味道一般或不明显,有较轻或较重的生粉味道或焦糊味道	4~6
	味道特别苦涩,有非常重的生粉味道或焦糊味道	<4
粗糙度	细腻、基本无异物和颗粒感	7~10
	较细腻、略有异物和颗粒感	4~6
	粗糙且颗粒感较重	<4
硬度	硬度适中	7~10
	较硬或较软	4~6
	特别硬或特别软	<4

### 1.8 质构测定

参考文献[15]中的方法并稍作修改,在 TA-XT Plus 质构分析仪的 Compression 模式下测定脆片的质构特性,图像的最大峰值代表样品的硬度值,峰值越高,硬度越大;从原点至第 1 个断裂点的距离为脆度值,距离越短,脆度越大。测试条件如下,探头:P/2;测前、中速度:1 mm/s;测后速度:10 mm/s;压缩距离:5 mm;触发力:5 g。

### 1.9 色差测定

使用手持色差计测量脆片的色差值( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ )。 $L^*$ 表示明暗度,其参数值越大表示色泽越明亮; $a^*$ 表示红绿值; $b^*$ 表示黄蓝值。每个测量组重复 5 次并取平均值。

### 1.10 抗氧化品质测定

1.10.1 样品提取液的制备 取 2 g 研磨后样品加入 40 mL 的 80% 甲醇溶液中混匀得到样品混合液,将混合液置于恒温振荡水浴锅中以温度 37

℃,转速 150 r/min 提取 2 h,再以 4 000 r/min 离心 15 min,取上清液保存为样品提取液。

1.10.2 总酚含量测定 测定方法参考刘梦等<sup>[16]</sup>并略作修改。吸取 0.5 mL 样品提取液至 10 mL 离心管中,蒸馏水稀释至 5 mL,加 0.5 mL 福林酚试剂至离心管中摇匀,避光反应 5 min,随后加入 0.5 mL 20% 碳酸钠溶液混匀,室温下避光反应 1 h,于波长 760 nm 处测定溶液吸光度。用相同方法测定不同浓度没食子酸的反应溶液吸光度,以没食子酸浓度为横坐标,反应液吸光度为纵坐标,绘制标准曲线,线性回归方程为  $y=52.755x+0.0748$ ,相关系数  $R^2=0.9991$ 。通过标准曲线方程计算样品总酚含量。

1.10.3 DPPH 自由基清除率测定 用无水乙醇配制浓度为 0.1 mmol/L 的 DPPH 溶液,取 1 mL 上述样品提取液与 3.5 mL 的 DPPH 溶液混匀,避光条件下反应 30 min 后,取上清液于波长 517 nm 处测

定吸光度  $A_1$ 。对照组将无水乙醇与样品提取液二者混合,反应后吸光度记作  $A_2$ ;空白组将无水乙醇与 DPPH 溶液二者混合,反应后吸光度记作  $A_0$ 。根据公式(2)计算样品对 DPPH 自由基清除率,结果保留 4 位有效数字。

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%) = [1 - (A_1 - A_2) / A_0] \times 100 \quad (2)$$

1.10.4 ABTS 阳离子自由基清除率测定 用蒸馏水配制 7 mmol/L ABTS 溶液和 2.45 mmol/L 过硫酸钾溶液,两者等体积混合后于避光条件下反应 18 h,再加入无水乙醇稀释反应溶液至波长 734 nm 处的吸光值为  $(0.70 \pm 0.02)$ ,即为 ABTS 工作液。取 0.5 mL 上述样品提取液于离心管中,加入 4.0 mL 的 ABTS 工作液,黑暗处反应 6 min 后记录波长 734 nm 处的溶液吸光值  $A_3$ 。以 0.5 mL 无水乙醇替代 0.5 mL 样品提取液配置空白组,吸光值记作  $A_4$ 。样品对 ABTS 阳离子自由基清除率的计算方法如式(3),结果保留 4 位有效数字。

$$\text{ABTS 阳离子自由基清除率}(\%) = [(A_4 - A_3) / A_4] \times 100 \quad (3)$$

### 1.10.5 挥发性风味成分测定

1.10.5.1 样品前处理 称取 2 g 样品(2 g 茶粉, TP 组;2 g 对照组小麦脆片,CK 组;2 g 添加 3% 黄茶粉的脆片,TWC 组)置于 20 mL 顶空气相样品

瓶中,在恒温水浴 80 °C 条件下富集 15 min 后进样测试。进样针温度 85 °C,进样体积为 200  $\mu$ L。

1.10.5.2 GC 条件 色谱柱型号为 MXT-5,柱长 15 m,内径 0.53 mm,柱温 60 °C;以高纯度氮气为载气,载气流速:0~2 min 为 2 mL/min,2~10 min 为 10 mL/min,10~20 min 为 100 mL/min,20~25 min 为 150 mL/min,运行时间为 25 min。

1.10.5.3 IMS 条件 温度为 45 °C,漂移气为高纯度氮气,流量为 150 mL/min,分析时间为 25 min。

## 2 结果分析

### 2.1 单因素实验结果

2.1.1 黄茶粉添加量对脆片的影响 随黄茶粉添加量的增加,脆片的比容和感官得分均有所上升,2%~4% 为较佳茶粉添加量。适量黄茶粉的添加可以增加脆片的风味,带来适宜的黄茶香与色泽,提升脆片的比容;黄茶粉添加较少时,脆片的风味不足,且脆度大导致油炸过程中较易破损;而黄茶粉添加量较高时,使得脆片颜色过深、风味过浓,出现令人难以接受的苦涩味,口感变得较为粗糙,引起感官评分的下降,且较高水平的黄茶粉添加量,也会导致脆片的膨化效果较差,这与黄茶粉中的亲水物质如纤维的含量较高相关<sup>[17]</sup>。

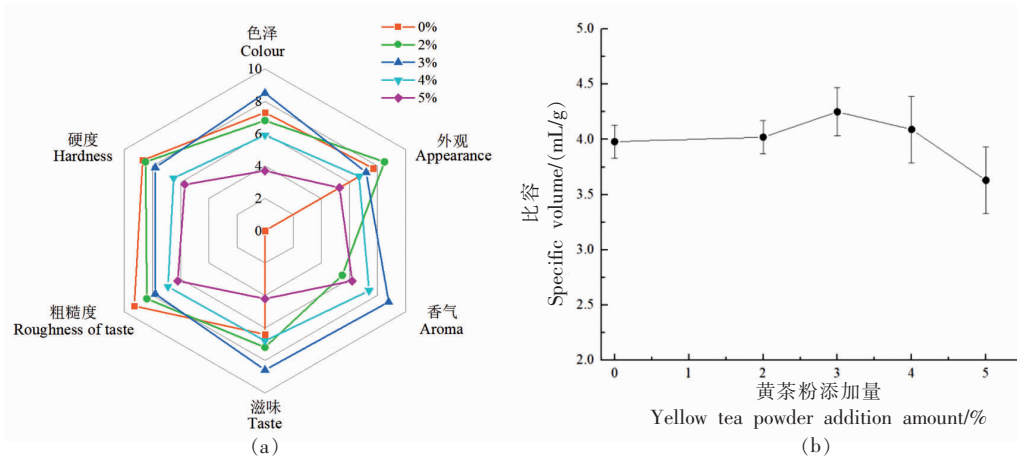


图 1 不同黄茶粉添加量对脆片品质的影响

Fig.1 Effects of different addition amount of yellow tea powder on chips quality

2.1.2 黄茶粉粒径对脆片的影响 脆片的感官得分随黄茶粉粒径的减小开始升高而后降低,100 目(约 0.15 mm)和 150 目(约 0.10 mm)黄茶粉制作

出的脆片较好,颜色深浅适中、色泽较为均匀,表面较为平整,颗粒感较弱。80 目(约 0.20 mm)黄茶粉制作的脆片,色泽较不均匀,颗粒感较重,硬度

较大;而 200 目(约 0.075 mm)黄茶粉制作的脆片虽然基本无颗粒感,但脆片颜色较深,色泽不佳。随黄茶粉粒径的减小,脆片的比容开始有所上升,在黄茶粉粒径为 100 目时脆片比容最高,而后黄茶粉粒径减小对脆片比容影响较不明显。粒径较大时,黄茶粉中的纤维颗粒也比较大,粗纤维与面

团中蛋白和淀粉等相互作用并竞争吸水,阻碍了水分的脱除,从而抑制了脆片的膨化<sup>[18]</sup>。有文献报道<sup>[19]</sup>,粉的粒径会影响面团的吸水性和黏性等性质,进而使面制品的质构及感官特性等发生相应变化。

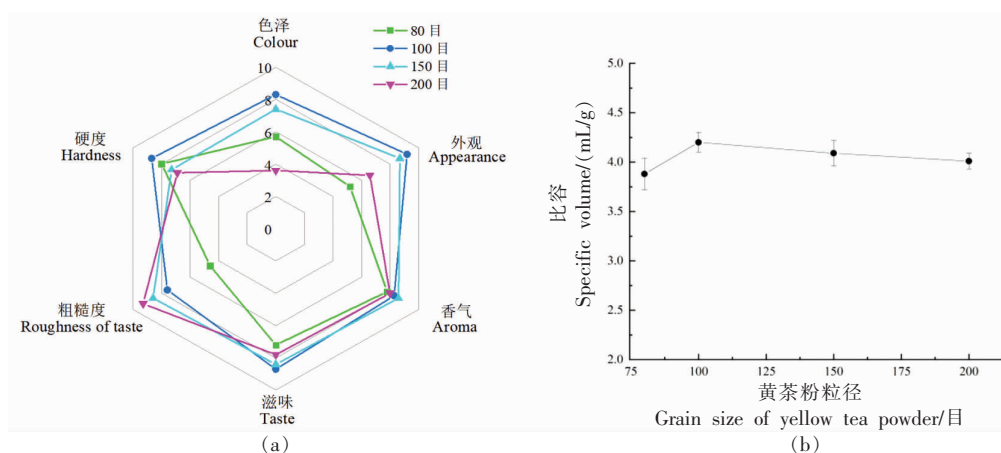


图2 不同黄茶粉粒径对脆片品质的影响

Fig.2 Effects of different grain size of yellow tea powder on chips quality

2.1.3 油炸时间对脆片的影响 从图 3 可观察到,随油炸时间的增加,脆片的比容优劣与感官得分较为一致,在油炸时间为 30~35 min 时脆片的比容较高,外形较为平滑完整,口感酥脆,硬度适中,具有油炸食品的独特香气。较短的油炸时间,

导致脆片尚未完全膨化,整体较硬,表面粗糙易破损;而油炸时间较长时,由于脆片中水分急剧减少,使得脆片脆度降低,硬度上升<sup>[20]</sup>,脆片表面出现许多膨化时产生的小气孔,吸油量变高,这些变化对脆片的比容及感官得分均有负面影响。

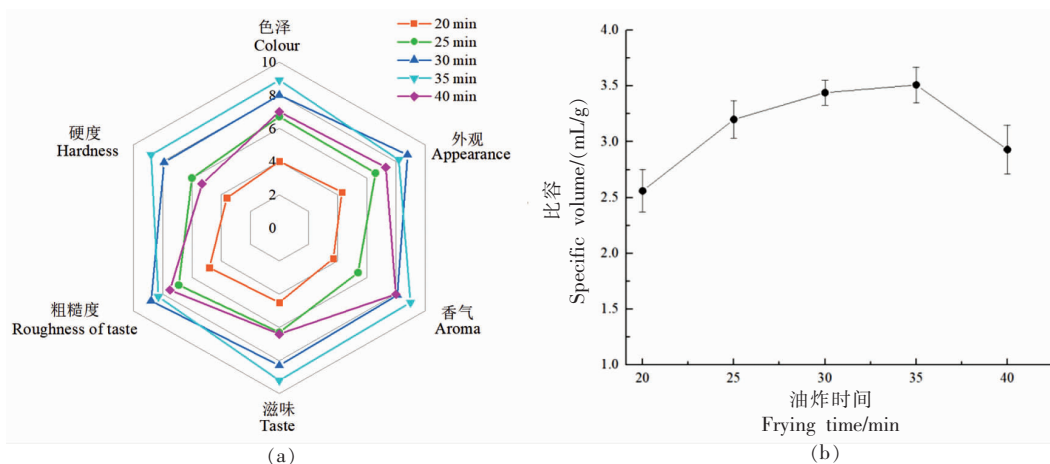


图3 不同油炸时间对脆片品质的影响

Fig.3 Effects of different frying time on chips quality

2.1.4 油炸温度对脆片的影响 图 4 显示了不同油炸温度下脆片的比容和感官得分情况,油炸温

度过低时,脆片中水分不能有效脱出,内部未充分膨化熟透,导致比容较小,口感粗糙,而过高膨化

温度会导致脆片色泽变暗,甚至出现焦糊现象。试验结果显示,当温度在 80~90 °C 时,脆片的感官得分呈上升趋势,可能因为伴随着油炸温度的升高,脆片中水分扩散速度加快,使得脆片膨化体积增大,形成较好的酥脆口感<sup>[21]</sup>。在油炸温度为 90~95

°C 时,脆片整体表现较好。当温度从 95 °C 上升至 100 °C 时,脆片的感官得分有较大幅度下降,考虑是由于高温加速美拉德褐变反应,使脆片颜色加深,并产生苦味物质进而导致脆片感官得分的下降<sup>[22]</sup>。

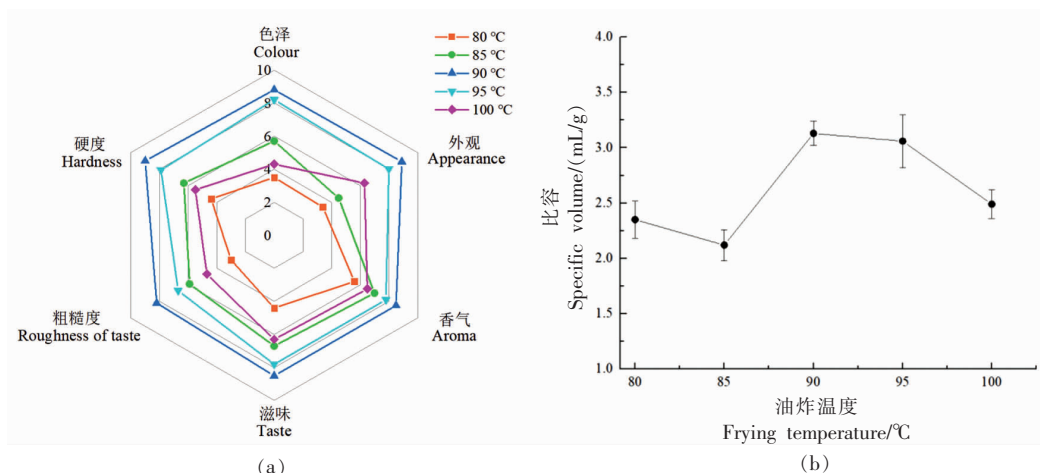


图 4 不同油炸温度对脆片品质的影响

Fig.4 Effects of different frying temperatures on chips quality

2.2 正交试验结果

在单因素实验结果的基础上,依据  $L_9(3^4)$  正交设计表设计了 9 组试验,以脆片的比容为优化

指标,探究黄茶风味小麦脆片的最佳配方工艺组合。正交试验设计方案及结果如表 3 所示。

表 3 正交试验设计方案及结果  
Table 3 Orthogonal test design and results

试验号	因素				比容/(mL/g)
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	3.18
2	1	2	2	2	4.95
3	1	3	3	3	5.16
4	2	1	2	3	5.00
5	2	2	3	1	5.14
6	2	3	1	2	5.23
7	3	1	3	2	4.65
8	3	2	1	3	4.62
9	3	3	2	1	5.01
$k_1$	4.430	4.280	4.345	4.442	
$k_2$	5.124	4.900	4.986	4.946	
$k_3$	4.759	5.133	4.982	4.925	
$r$	0.694	0.852	0.641	0.503	
因素主次					$B>A>C>D$
最优组合					$A_2B_3C_2D_2$

对正交试验结果进行直观分析,由极差值  $r$  可以得出三因素对脆片比容的影响效果主次分别

为:黄茶粉粒径>黄茶粉添加量>油炸时间>油炸温度,从均值  $k$  值得到黄茶风味脆片的最优工

艺组合为  $A_2B_3C_2D_2$ , 即黄茶粉添加量 3%, 黄茶粉粒径 150 目, 油炸时间 35 min, 油炸温度 90 °C。

对黄茶风味脆片工艺优化的正交试验结果进

行方差分析, 结果见表 4。从正交试验结果方差分析可知, 各因素对黄茶风味脆片的比容均有影响效果, 且具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

表 4 正交试验结果方差分析

Table 4 Variance analysis for the results of orthogonal test

因素	离差平方和	自由度	均方	F 值	显著性
黄茶粉添加量	1.447	2	0.724	12.171	*
黄茶粉粒径	2.330	2	1.165	19.596	*
油炸时间	1.633	2	0.816	13.732	*
油炸温度	0.974	2	0.487	8.191	*
误差	0.535	9	0.059		

注: “\*”表示差异显著,  $P < 0.05$ 。

### 2.3 脆片理化品质分析

基于 2.1 节和 2.2 节的试验结果, 选择优化得到的最佳工艺参数制备黄茶风味小麦脆片以进行后续脆片的理化品质分析相关试验。

**2.3.1 脆片比容和质构及色差分析** 在食品检验过程中, 通常需要对固态食品: 如馒头、面包、饼干、冰淇淋等食品比容进行测量, 比容是指单位质量的固态食品所具有的大小, 它能直接影响成品的口感、外观、组织, 从而影响到消费者的选择<sup>[23]</sup>。若食品的比容过小, 可能出现内部组织不均匀, 风味不好; 比容过大, 可能导致体积膨胀过分, 组织结构粗糙, 产品质量降低; 适宜的比容下, 食品的组织相对均匀, 膨化充分, 外观、风味及口感都较易使人接受。因此通过测量脆片的比容可反映出脆片组织结构与膨化效果的优劣, 对于评价脆片的食用品质有重要意义。表 5 及图 5 显示, 相较于对照组, 加入黄茶粉的脆片比容有所增加, 外观结构相对饱满完整, 膨化更加充分, 可以带来更好的食用口感。

质构性质是评价食品品质的重要参数, 质构仪通过模拟人口腔的咀嚼过程对食品进行多次挤压测定, 其结果可以反映出食品的硬度、脆度等物理性质<sup>[24]</sup>, 硬度和脆度可直接体现脆片的酥脆程

度。采用质构仪的 Compression 模式测定脆片的质构特性, 图像的最大峰值代表样品的硬度值, 峰值越高, 硬度越大; 从原点至第 1 个断裂点的距离为脆度值, 距离越短, 脆度越大。表 5 可观察到, 较对照组, 黄茶脆片的硬度和脆度均有所提高。脆度的增加与黄茶脆片的膨化体积增大相关, 较大的膨化体积使得黄茶脆片更易破碎。黄茶粉中的较多纤维成分引入面团可能是脆片硬度上升的主要原因<sup>[25]</sup>, 有文献提出添加纤维成分的饼干硬度增加与纤维的吸水能力更高有关<sup>[26]</sup>, 含水量较高的面团会促进面筋网络结构的形成, 从而导致面制品变硬<sup>[27]</sup>。

在 CIE-LAB 表色系中, 参数  $L^*$  代表明暗度, 其数值越大表示样品色泽越明亮;  $a^*$  表示红绿值, 其数值越大表示色泽越接近红色, 反之则接近绿



图 5 脆片外观图

Fig.5 The appearance of chips

表 5 脆片的比容和质构及色差值

Table 5 The specific volume and texture and color values of chips

组别	比容/(mL/g)	硬度/g	脆度/mm	$L^*$	$a^*$	$b^*$
对照脆片	$4.89 \pm 0.15$	$268.96 \pm 98.16$	$0.43 \pm 0.15$	$71.25 \pm 3.45$	$-0.82 \pm 0.24$	$14.82 \pm 2.47$
黄茶脆片	$5.17 \pm 0.21$	$289.47 \pm 93.38$	$0.39 \pm 0.11$	$46.44 \pm 2.10$	$2.79 \pm 0.38$	$17.61 \pm 0.97$

色; $b^*$ 表示黄蓝值,其数值越大表示样品色泽越接近黄色,越小就越接近蓝色<sup>[28]</sup>。通过对 2 种脆片表皮色差值进行测定与对比,来表征黄茶脆片的颜色变化。从表 5 可以看出,与对照组相比,黄茶脆片的  $L^*$  值降低, $a^*$  值与  $b^*$  值升高,说明黄茶粉的加入使脆片色泽变暗,同时颜色变暖,更偏向于红黄色,在图 5 中也可明显观察到二者的颜色差异。黄茶粉中较多的茶褐素以及油炸过程中儿茶素的氧化,可能是黄茶脆片颜色加深的原因<sup>[29]</sup>,脆片表现出更多的红色与黄色推测是黄茶粉中的茶红素和茶黄素等带来的<sup>[30]</sup>。

**2.3.2 脆片抗氧化品质分析** 图 6 显示的是对照组和黄茶脆片的总酚含量与二者对 DPPH 自由基、ABTS 阳离子自由基的清除能力。DPPH 自由基的醇溶液在波长 517 nm 处有很强的紫外吸收,溶液的颜色为紫色。在溶液体系中加入某种抗氧化物质后,该物质能与 DPPH 的单电子结合,使其紫色逐渐消失,进而评估该物质清除 DPPH 自由基的能力<sup>[31]</sup>。Barhé 等<sup>[32]</sup>通过 DPPH 自由基清除试验来比较几种食物总多酚提取物的抗氧化活性,结果显示黄茶多酚提取物的抗自由基能力最强。为探究添加黄茶粉对油炸脆片抗氧化作用的影响,本试验以脆片的总酚提取液与 DPPH 自由基、ABTS 阳离子自由基反应来评估其体外抗氧化能力。

通过图 6 可以看出,相比于对照组,黄茶脆片的总酚含量明显上升,约为对照组的 8.7 倍;黄茶脆片对 DPPH 自由基的清除率约为对照组的 11.6 倍,对 ABTS 阳离子自由基的消除率约为对照组脆片的 10.3 倍,说明黄茶粉的加入使得脆片在低温油炸后仍可保留黄茶中的一些抗氧化活性物质如儿茶素类、黄酮及黄酮醇类、花色苷类、酚酸类等茶多酚化合物<sup>[33-34]</sup>,从而提升了脆片的总酚含量与抗氧化能力。Trang 等<sup>[35]</sup>将废绿茶叶粉添加到饼干面团配方中,制作出的绿茶饼干其硬度及抗氧化活性均得以提高;Gramza-Michałowska 等<sup>[36]</sup>将绿茶与黄茶作为饼干的营养强化原料,其中黄茶强化的饼干具有更高的自由基清除活性,与它的酚类物质含量密切相关,这类研究与本试验有着相似的结果。

**2.3.3 脆片挥发性风味物质分析** 气相色谱-离

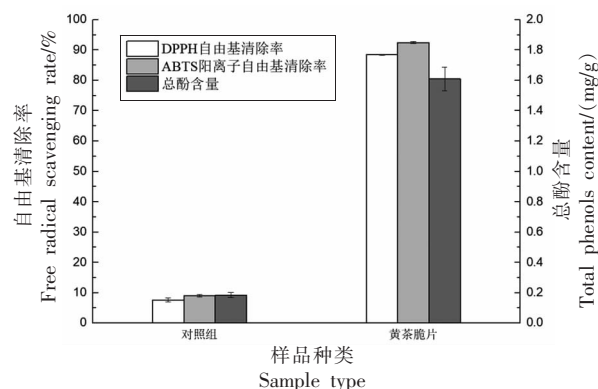


图 6 脆片的抗氧化品质

Fig.6 The antioxidant properties of chips

子迁移谱联用技术(Gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)是近年来兴起的一种食品检验检测高新技术,其结合了气相色谱仪的分离效果与离子迁移谱的高灵敏度、快速响应的特性,较多应用于食品风味测定、质量评级、真伪鉴别等方面。利用 GC-IMS 技术检测和比较分析对照脆片(CK)、3%黄茶小麦脆片(TWC)以及黄茶粉(TP)中的挥发性风味物质,得到结果如下。

图 7 显示的是 3 种样品的 GC-IMS 差异谱图,差异图是选取 CK 的二维谱图作为参比,由 TWC 和 TP 减扣 CK 的谱图信号峰而生成,便于观察和比较不同样品中风味物质的差异。谱图的纵坐标显示气相色谱的保留时间,横坐标显示离子迁移时间,横坐标 1.0 处的红色竖线为反应离子峰。离子峰两侧每一个点代表一种挥发性有机物,若匹配的挥发性有机物相对含量较一致,则扣减后参比后的样品点为白色,红色代表该化合物的含量高于参比,蓝色则表示该化合物的含量低于参比。可以看到扣除 CK 图谱后 TWC 差异图中红色部分较多,说明添加黄茶粉对脆片的挥发性风味成分产生了较大影响,使脆片的香气变得更加丰富。

为进一步直观地比较不同样品间的风味化合物组成差异,采用 Gallery Plot 插件建立样品中挥发性有机物的指纹图谱,结果如图 8、9 所示。指纹图谱的每一行表示一种样品中选取的挥发性物质的全部信号峰,每一列表示不同样品中的同一挥发性有机物的信号峰,若为白色说明该挥发性物质的浓度较低,红色说明物质浓度较高,颜色越深则浓度越大。一种有机物可能会在同一个样品中产



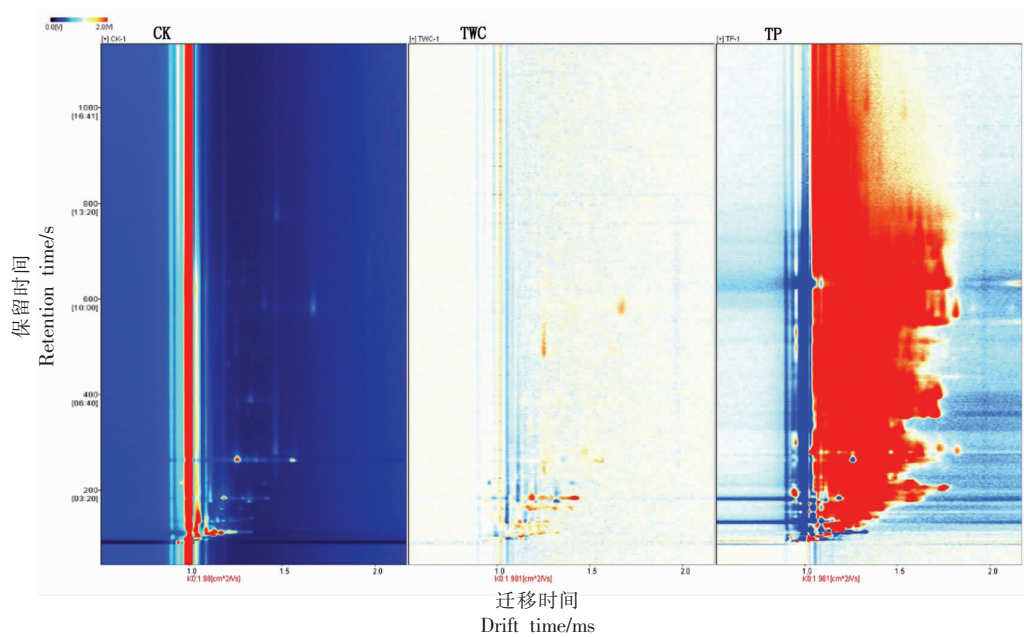
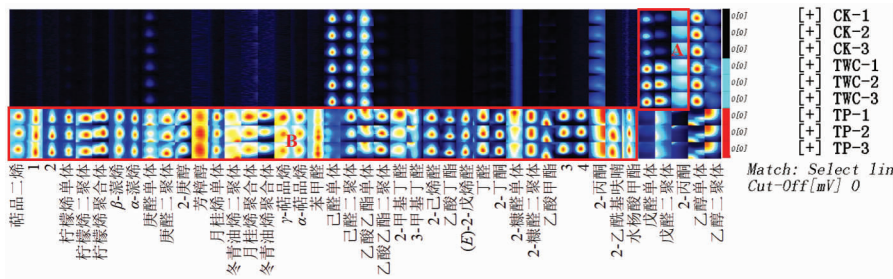


图7 3种样品挥发性有机物的GC-IMS差异谱图

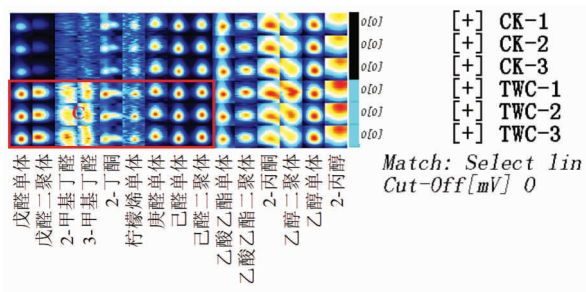
Fig.7 GC-IMS difference diagram of volatile organic compounds from three samples



注:图中数字编号为未鉴定出的峰。图中标注A区域为CK及TWC中含量较高化合物,B区域为TP中含量较高化合物。

图8 3种样品挥发性有机物的指纹谱图(对比图)

Fig.8 The fingerprint of volatile organic compounds in three samples (Comparison chart)



注:图中标注C区域为TWC中含量较高化合物。

图9 CK和TWC中挥发性有机物的指纹谱图(对比图)

Fig.9 Fingerprint of volatile organic compounds in CK and TWC (Comparison chart)

生1个、2个或多个信号峰,分别代表该有机物的单体(Monomer, M)、二聚体(Dimer, D)或聚合体

(Polymer, P)。

结合图8、9和表6可知3种样品共鉴别出39种挥发性有机物,大致分为醇类5种、醛类14种、酮类2种、酯类5种、其它化合物13种。根据图7、图8结果,将3种样品比对发现2-丙醇、戊醛在CK和TWC中含量明显高于TP,其中戊醛在TWC中含量较高,如图8中A区域。2-丙醇具有类似酒精的气味,可能是小麦粉中本身含有的一种香气成分<sup>[37]</sup>。在TP中萜品二烯、柠檬烯、 $\beta$ -蒎烯、 $\alpha$ -蒎烯、庚醛、2-庚醇、芳樟醇、月桂烯、 $\gamma$ -萜品烯、 $\alpha$ -萜品烯、苯甲醛、己醛、乙酸乙酯、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、2-己烯醛、乙酸丁酯、(E)-2-戊烯醛、丁醛、2-丁酮、2-糠醛、乙酸甲酯、2-丙酮、

2-乙酰基呋喃、水杨酸甲酯的含量较高,如图8中B区域。芳樟醇具有甜花果香气,被认为是组成茶叶香气的重要成分之一<sup>[38]</sup>。苯甲醛具有苦杏仁、樱桃及坚果香气,柠檬烯具有橘皮、柠檬香,水杨酸甲酯具有绿叶青香气,这些都是茶叶中典型的风味化合物<sup>[39]</sup>。2-糠醛、2-乙酰基呋喃具有杏仁样、坚果样、焦糖样及烤香和烟熏香气,它们是形成黄茶特有焙烤风味的重要贡献成分<sup>[40]</sup>。

通过对比两种脆片样品的挥发性成分,TWC中戊醛、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、2-丁酮、柠檬烯单体、庚醛单体的含量明显高于CK,如图9中C区域。少量的2-甲基丁醛有独特的可可和咖啡样的甜香气;3-甲基丁醛常用于调配巧克力、可可、咖啡、坚果等食用香精,低浓度时可产生果香和甜味;2-丁酮存在于葡萄、覆盆子、咖啡、干酪、面包中,具有飘逸的醚香、果香、青香;柠檬烯含有橘皮的愉快香气;庚

醛具有类似甜杏、坚果样的风味;己醛则主要贡献脂肪气息、青香和草香,这说明TP中的一些香气成分在低温油炸作用下可能分解并转化成了新的化合物存在于TWC中,赋予其类似咖啡、可可甜香和果香、青香的气味,与黄茶的焙烤风味接近。然而,在TP中检测出的部分风味物质,在TWC中表现并不明显,可能是茶粉添加剂量(3%)有限所致。根据表6结果显示,醛类化合物为2种脆片样品挥发性风味物质中占比最多的成分。在脆片中,醛类风味物质主要从以下2类方式累积而来:一类是美拉德反应的初期产物经Strecker途径而降解还原为还原酮、还原葡萄糖醛酮和糠醛;另一类是油脂的自身氧化产生过氧化物,再进一步裂解产生脂肪族醇、醛、酮等化合物<sup>[41]</sup>。醛类化合物中,戊醛在TWC中的含量尤为突出,据文献报道其带有弱香蕉样气味<sup>[42]</sup>,该化合物赋予了TWC区别于CK的特殊风味。

表6 3种样品挥发性有机物峰强度(峰体积)(GC-IMS)

类别	化合物名称		保留时间/		保留指数	迁移时间/		峰体积	
	中文	英文	分子式	s		ms	CK	TWC	TP
醇类	芳樟醇	Linalool	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	769.87	1.098.40	34.97 ± 3.58	47.45 ± 3.82	279.30 ± 14.47	
	庚醇	2-Heptanol	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O	399.10	901.90	57.33 ± 7.98	50.57 ± 6.60	1 538.87 ± 168.05	
醛类	乙醇单体	Ethanol M	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	105.28	471.60	1 648.02 ± 39.97	1 658.01 ± 14.37	948.51 ± 64.58	
	乙醇二聚体	Ethanol D	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	106.39	476.00	362.58 ± 4.40	382.27 ± 12.30	937.37 ± 90.69	
	2-丙醇	2-Propanol	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	113.07	501.60	133.73 ± 4.60	142.34 ± 2.60	49.17 ± 2.05	
	苯甲醛	Benzaldehyde	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	452.67	935.90	154.41 ± 8.87	152.45 ± 11.91	2 044.95 ± 176.54	
	庚醛单体	Heptanal monomer	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	389.39	895.30	238.29 ± 3.62	253.63 ± 4.88	1 123.39 ± 47.67	
	庚醛二聚体	Heptanal D	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	382.64	890.40	53.47 ± 4.82	48.13 ± 3.28	1 176.63 ± 80.97	
	己醛单体	Hexanal M	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	265.00	785.10	1 248.68 ± 3.44	1 371.88 ± 9.53	1 089.19 ± 91.29	
	己醛二聚物	Hexanal D	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	263.62	783.70	483.55 ± 10.30	582.91 ± 10.83	1 185.88 ± 271.99	
	戊醛单体	Pentanal M	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	184.21	698.70	440.42 ± 23.10	961.45 ± 24.87	239.81 ± 10.73	
	戊醛二聚物	Pentanal D	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	182.83	696.90	57.22 ± 5.12	331.95 ± 14.22	246.10 ± 16.30	

(续表 6)

类别	化合物名称		分子式	保留时间/ s	保留指数	迁移时间/ ms		峰面积	
	中文	英文				CK	TWC	TP	
醇类	3-甲基丁醛	3-Methylbutanal	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	159.79	646.70	1.41	13.88 ± 1.42	31.75 ± 2.78	533.22 ± 47.42
	2-甲基丁醛	2-Methylbutanal	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	167.62	666.80	1.40	10.20 ± 1.02	23.53 ± 1.75	586.34 ± 54.15
	2-己烯醛	2-Hexenal	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	320.88	840.00	1.52	43.91 ± 7.11	39.88 ± 4.29	1 046.42 ± 81.03
	反式-2-戊烯醛	(E)-2-Pentenal	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O	227.06	748.30	1.36	71.81 ± 3.25	59.94 ± 6.95	4 566.89 ± 74.42
	丁醛	Butanal	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	141.85	596.70	1.29	31.42 ± 0.91	37.75 ± 7.15	1 595.86 ± 57.76
	2-糠醛二聚体	2-Furfural D	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	339.70	856.30	1.34	101.95 ± 8.01	83.90 ± 5.78	8 194.89 ± 187.34
	2-糠醛单体	2-Furfural monomer	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	340.25	856.80	1.08	351.08 ± 21.92	326.35 ± 4.16	854.08 ± 114.60
	2-丁酮	2-Butanone	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	137.47	583.60	1.25	178.36 ± 15.37	219.39 ± 17.85	5 707.25 ± 182.59
	2-丙酮	2-Propanone	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	108.17	483.00	1.12	590.20 ± 16.58	545.8 ± 21.65	1 660.57 ± 58.29
	酯类	乙酸乙酯二聚体	Acetic acid ethyl ester D	142.16	597.60	1.33	46.63 ± 3.75	46.69 ± 1.13	1 219.37 ± 19.71
	乙酸乙酯单体	Acetic acid ethyl ester M	143.27	600.90	1.09	531.21 ± 18.59	515.03 ± 16.20	678.92 ± 16.52	
	乙酸丁酯	Butyl acetate	276.50	797.30	1.62	58.69 ± 9.59	61.74 ± 14.11	1 543.70 ± 6.59	
	乙酸甲酯	Acetic acid methyl ester	119.05	523.20	1.19	273.31 ± 3.61	289.14 ± 14.50	6 083.98 ± 360.53	
其他	水杨酸甲酯	Methyl salicylate	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	970.78	1 175.70	1.20	496.23 ± 62.22	571.76 ± 79.44	2 537.66 ± 190.61
	异松油烯	Terpinolene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	735.83	1 083.40	1.22	98.44 ± 4.39	97.10 ± 6.46	1 361.06 ± 74.06
	月桂烯单体	Myrcene M	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	551.07	988.90	1.21	210.93 ± 21.88	173.84 ± 15.90	1 984.93 ± 18.69
	冬青油烯二聚体	Myrcene D	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	550.17	988.40	1.29	41.56 ± 9.89	43.77 ± 7.52	302.86 ± 7.40
	月桂烯聚合体	Myrcene P	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	556.45	991.50	1.64	60.29 ± 9.85	46.10 ± 2.66	495.69 ± 23.83
	冬青油烯聚合体	Myrcene P	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	553.76	990.20	1.71	84.98 ± 9.44	77.85 ± 4.13	837.13 ± 90.44
	柠檬烯单体	Limonene monomer	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	632.83	1 033.20	1.30	198.90 ± 4.76	184.24 ± 1.57	2 714.13 ± 238.88
	柠檬烯二聚体	Limonene D	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	633.25	1 033.40	1.65	139.04 ± 8.98	141.95 ± 15.16	3 426.20 ± 13.57
	柠檬烯聚合体	Limonene P	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	634.10	1 033.80	1.73	152.18 ± 12.21	147.07 ± 14.30	6 131.69 ± 92.82
	γ-松油烯	γ-Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	686.34	1 060.20	1.21	41.41 ± 2.77	40.68 ± 4.25	664.11 ± 37.56
α-松油烯	α-Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	608.40	1 020.00	1.22	76.83 ± 4.50	71.75 ± 6.19	1 392.95 ± 52.32	
α-蒎烯	α-Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	466.25	943.80	1.21	166.85 ± 14.38	164.64 ± 32.05	1 852.94 ± 81.37	
β-蒎烯	β-Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	511.40	968.70	1.22	119.26 ± 4.89	114.02 ± 7.07	1 594.21 ± 70.65	
2-乙酰基呋喃	2-Acetylfuran	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	440.87	928.70	1.44	209.97 ± 2.81	213.1 ± 12.83	3 442.27 ± 246.18	

### 3 结论

主要采用黄茶粉为原料,应用于低温油炸面制脆片的加工中,通过单因素实验结合正交试验优化黄茶风味小麦脆片的加工工艺,得出最佳工艺参数为:黄茶粉添加量3%,黄茶粉粒径为150目,油炸时间35 min,油炸温度90℃。在该优化条件下生产出的黄茶风味脆片,其比容、硬度、脆度较未添加黄茶粉的脆片均有所上升,同时表现出较好的体外抗氧化活性,其总酚含量约为对照组脆片的8.7倍,对DPPH自由基的清除率约为对照组脆片的11.6倍,对ABTS阳离子自由基的清除率约为对照组脆片的10.3倍。GC-IMS检测结果显示醛类风味化合物尤其戊醛在黄茶脆片中含量较高,赋予了黄茶脆片独特的风味。综上,在低温油炸小麦脆片中添加适当的黄茶粉能够改善产品的感官品质,提高其抗氧化效果,并且增强脆片的风味,为油炸类小麦制品及黄茶深加工产品的研发提供新思路。然而,由于添加剂量有限,黄茶粉中的部分特征风味成分在黄茶小麦脆片中没有较多体现,后续可以进一步优化产品配方,添加改良剂对其进行品质改良,以增加原材料添加量。

### 参 考 文 献

- [1] WEI Y M, FANG S M, JIN G, et al. Effects of two yellowing process on colour, taste and non-volatile compounds of bud yellow tea[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 55(8): 2931-2941.
- [2] GUO X, HO C T, SCHWAB W, et al. Aroma compositions of large-leaf yellow tea and potential effect of theanine on volatile formation in tea[J]. Food Chemistry, 2018, 280: 73-82.
- [3] TENG Y, LI D, GURUVAIAH P, et al. Dietary supplement of large yellow tea ameliorates metabolic syndrome and attenuates hepatic steatosis in db/db mice[J]. Nutrients, 2018, 10(1): 75.
- [4] TAKASHI H, MIHO G, HIROYUKI S, et al. Yellow tea is more potent than other types of tea in suppressing liver toxicity induced by carbon tetrachloride in rats[J]. Phytotherapy Research: PTR, 2007, 21(7): 668-700.
- [5] BUDRYN G, ŻYŻELEWICZ D, NEBESNY E, et al. Influence of addition of green tea and green coffee extracts on the properties of fine yeast pastry fried products[J]. Food Research International, 2013, 50(1): 149-160.
- [6] NING J, HOU G G, SUN J, et al. Effect of green tea powder on the quality attributes and antioxidant activity of whole-wheat flour pan bread[J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 79: 342-348.
- [7] HAN Z H, GAO J X, ZHANG S Y, et al. Simultaneously mitigation of acrylamide, 5-hydroxymethylfurfural, and oil content in fried dough twist via different ingredients combination and infrared-assisted deep-frying[J]. Foods, 2021, 10(3): 604.
- [8] HAN L P, HE Y, WANG S J, et al. Effects of methyl cellulose and soybean protein isolate coating on oil content and chemical hazards of Chinese fried dough cakes[J]. Journal of Food Protection, 2021, 84(8): 1333-1339.
- [9] SU Y, ZHANG M, ADHIKARI B, et al. Improving the energy efficiency and the quality of fried products using a novel vacuum frying assisted by combined ultrasound and microwave technology[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2018, 50: 148-159.
- [10] BELKOVA B, HRADECKY J, HURKOVA K, et al. Impact of vacuum frying on quality of potato crisps and frying oil[J]. Food Chemistry, 2018, 241: 51-59.
- [11] SHAZIYA M, FA M, RUBIYA R, et al. Advances in vacuum frying: Recent developments and potential applications[J]. Journal of Food Process Engineering, 2022, 46(2): e14219.
- [12] FARUQ A A, ZHANG M, ADHIKARI B. A novel vacuum frying technology of apple slices combined with ultrasound and microwave[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 52: 522-529.
- [13] PEI Z S, MA T T, WEN P, et al. Effect of vacuum frying and atmospheric frying on the quality and protein oxidation of squid (*Loligo chinensis*) [J]. Journal of Food Science, 2021, 86(10): 4316-4329.
- [14] MONTERO C P M, TORRES D L, TORRES D S, et al. Mass transfer during atmospheric and vacuum frying of chorizo[J]. International Journal of Food Science, 2021, 2021: 9142412.
- [15] 候春辉. 再造型胡萝卜复合脆片加工工艺及品质研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2018.

- HOU C H. Studied on processing technology and quality analysis of restructured carrot chips[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2018.
- [16] 刘梦, 毕金峰, 刘璇, 等. 浸胀与干燥过程对桃胶色泽及总酚含量的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(11): 105-111.
- LIU M, BI J F, LIU X, et al. Effect of the process of soaking and drying on color and total phenolic content of peach gum[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(11): 105-111.
- [17] SUBHASH P, TALIB M I, PARATE V R. Development of fiber-rich biscuit by incorporating dragon fruit powder[J]. International Journal of Fruit Science, 2020, 20(S3): S1620-S1628.
- [18] BRITO I L, DE SOUZA E L, FELEX S S, et al. Nutritional and sensory characteristics of gluten-free quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)-based cookies development using an experimental mixture design[J]. J Food Sci Technol, 2015, 52(9): 5866-5873.
- [19] ORTOLAN F, BRITES L T G, MONTENEGRO F M, et al. Effect of extruded wheat flour and pre-gelatinized cassava starch on process and quality parameters of French-type bread elaborated from frozen dough[J]. Food Research International, 2015, 76(Pt 3): 402-409.
- [20] 刘晶晶, 冀宏, 郑雪平, 等. 再造型杏鲍菇即食脆片的工艺研究[J]. 食品工业, 2018, 39(10): 120-125.
- LIU J J, JI H, ZHENG X P, et al. Study on the process of reformatting instant crisps of *Pleurotus eryngii*[J]. The Food Industry, 2018, 39(10): 120-125.
- [21] 施建斌, 隋勇, 蔡沙, 等. 低温真空油炸粉葛片工艺优化及其品质分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(8): 221-227.
- SHI J B, SUI Y, CAI S, et al. Optimization and quality comparison of low temperature vacuum fried *Pueraria thomsonii* crisp chips[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(8): 221-227.
- [22] ZIELINSKA M, BŁASZCZAK W, DEVAHASTIN S. Effect of superheated steam pre-frying treatment on the quality of potato chips[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2015, 50(1): 158-168.
- [23] SOULEF B, ANA S, TERESA S, et al. Optimization of xanthan and locust bean gum in a gluten-free infant biscuit based on rice-chickpea flour using response surface methodology[J]. Foods (Basel, Switzerland), 2020, 10(1): 12.
- [24] ANDREA A, YAIZA B G, ELENA V, et al. Mastication of crisp bread: Role of bread texture and structure on texture perception[J]. Food Research International, 2021, 147: 110477.
- [25] DARIUSZ D, KATARZYNA L, URSZULA G, et al. Shortbread cookies enriched with micronized oat husk: Physicochemical and sensory properties [J]. Applied Sciences, 2022, 12(24): 12512.
- [26] BAUMGARTNER B, ÖZKAYA B, SAKA I, et al. Functional and physical properties of cookies enriched with dephytinized oat bran[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 80: 24-30.
- [27] GAZIA N, KHAN C, AZAZ A, et al. Optimization of finger millet and carrot pomace based fiber enriched biscuits using response surface methodology[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(12): 4613-4626.
- [28] 杨兆甜, 李方巍, 王震昊, 等. 食品颜色评价及在食品工业中的应用[J]. 食品工业科技, 2021, 42(24): 417-423.
- YANG Z T, LI F W, WANG Z H, et al. Food color evaluation and application in food industry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(24): 417-423.
- [29] ZEHRA K, YAREN A. Assessment of instrumental and sensory quality characteristics of the bread products enriched with Kombucha tea[J]. International Journal of Gastronomy and Food Science, 2022, 29: 100562.
- [30] 刘晓, 张厅, 唐晓波, 等. 蒙顶黄芽不同加工工序中色泽变化与品质相关性研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 111-117.
- LIU X, ZHANG T, TANG X B, et al. Study on the correlation between color change and quality of mengding yellow bud by different processing procedure[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(13): 111-117.
- [31] ZHOU S H, FANG Z X, LÜ Y, et al. Phenolics and antioxidant properties of bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) pomace[J]. Food Chemistry, 2008, 112(2): 394-399.

- [32] BARHÉ T A, TCHOUYA G R F. Comparative study of the anti-oxidant activity of the total polyphenols extracted from *Hibiscus Sabdariffa* L., *Glycine max* L. Merr., yellow tea and red wine through reaction with DPPH free radicals [J]. *Arabian Journal of Chemistry*, 2016, 9(1): 1-8.
- [33] 卫聿铭, 宁井铭, 张梁, 等. 黄茶功能性成分与健康功效研究进展[J]. *中国茶叶*, 2021, 43(10): 46-54.
- WEI Y M, NING J M, ZHANG L, et al. Research progress on functional components and health effects of yellow tea[J]. *China Tea*, 2021, 43(10): 46-54.
- [34] SONG L J, WANG X S, ZHENG X Q, et al. Polyphenolic antioxidant profiles of yellow camellia [J]. *Food Chemistry*, 2011, 129(2): 351-357.
- [35] TRANG N N D, HUONG P T T, TRA T T T, et al. Enzymatic treatment of spent green tea leaves and their use in high-fibre cookie production [J]. *Food Technology and Biotechnology*, 2022, 60(3): 396-405.
- [36] GRAMZA-MICHAŁOWSKA A, KOBUS-CISOWSKA J, KMIĘCIK D, et al. Antioxidative potential, nutritional value and sensory profiles of confectionery fortified with green and yellow tea leaves (*Camellia sinensis*) [J]. *Food Chemistry*, 2016, 211: 448-454.
- [37] 赵莹, 任芳, 李振华, 等. 利用气相离子迁移谱对小麦与小麦粉挥发性物质研究[J]. *粮油食品科技*, 2020, 28(4): 145-151.
- ZHAO Y, REN F, LI Z H, et al. Study on the volatile matter of wheat and wheat flour using GC-IMS [J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2020, 28(4): 145-151.
- [38] 陈宏宇, 陈金华, 熊立瑰, 等. 不同海拔云南大叶种晒青茶感官品质及主要生化成分差异分析[J]. *中国食品学报*, 2023, 23(2): 276-287.
- CHEN H Y, CHEN J H, XIONG L G, et al. Analysis of the difference in sensory quality and main biochemical components of yunnan large leaf sun-dried green tea at different altitudes [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2023, 23(2): 276-287.
- [39] 彭靖茹, 温立香, 张芬, 等. 广西杏仁香茶树种质资源试制不同茶类品质分析[J]. *食品科学*, 2023, 44(14): 291-297.
- PENG J R, WEN L X, ZHANG F, et al. Quality analysis of trial-processed different tea with almond tea germplasm in guangxi [J]. *Food Science*, 2023, 44(14): 291-297.
- [40] GUO X Y, HO C T, SCHWAB W, et al. Effect of the roasting degree on flavor quality of large-leaf yellow tea [J]. *Food Chemistry*, 2021, 347: 129016.
- [41] 姚凌, 徐立荣, 蔡志鹏, 等. 11种煎炸油煎炸薯条挥发性成分的组成 [J]. *中国油脂*, 2022, 47(2): 39-46, 57.
- YAO L, XU L R, CAI Z P, et al. Volatile compound composition of french fries prepared in 11 kinds of frying oils [J]. *China Oils and Fats*, 2022, 47(2): 39-46, 57.
- [42] 伊冉, 黄晓琴, 姜忠磊, 等. 不同茶树品种与加工工艺对黄茶香气形成的影响 [J]. *茶叶通讯*, 2023, 50(1): 83-95.
- YI R, HUANG X Q, JIANG Z L, et al. Study on the effects of different tea plant cultivars and processing technology on aroma formation of yellow tea [J]. *Journal of Tea Communication*, 2023, 50(1): 83-95.

## Process Optimization and Quality Analysis of Low Temperature Fried Yellow Tea Flavor Wheat Chips

Bao Yuting<sup>1,2</sup>, Chen Qi<sup>3</sup>, Wang Zhuochen<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Agro-products Processing, Anhui Academy of Agricultural Science, Hefei 230031

<sup>2</sup>Anhui Engineering Laboratory of Food Microbial Fermentation and Functional Application, Hefei 230031

<sup>3</sup>State Key Laboratory of Tea Plant Biology and Utilization, Anhui Agricultural University, Hefei 230036

**Abstract** In order to improve the product quality of fried wheat chips and alleviate the problems of high frying temperature, poor flavor and nutrition of products in the usual processing process, the yellow tea was added to the wheat chips after ultra-fine grinding, and the product was processed by low temperature vacuum frying. Meanwhile, the processing

parameters were optimized, and the physical and chemical properties and antioxidant activities of the products were explored. The effect of yellow tea powder on the flavor quality of wheat crisp was evaluated by GC-IMS. The results showed that the optimum parameters were as follows: The content of yellow tea powder was 3% (by wheat flour quality), the grain size of yellow tea powder was 150 mesh, the frying time was 35 min, and the frying temperature was 90 °C. Under this optimized conditions, the specific volume and hardness of yellow tea flavor chips were 5.17 g/mL and 289.47 g, which were higher than those without yellow tea powder, and showed better antioxidant activity, the scavenging rate of DPPH free radical was 88.46%, and the scavenging rate of ABTS cationic free radical was 92.49%. The results of GC-IMS showed that the content of aldehydes in yellow tea chips was higher. In conclusion, the application of yellow tea powder in wheat chips processing could enrich the variety and quality of fried wheat products.

**Keywords** low temperature vacuum frying; yellow tea; wheat chip; volatile flavor compound; quality analysis