DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251217003
引用格式: 陈奕锟, 吕旺, 王垠坤, 等. 芦笋曲奇饼干配方优化与风味成分分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(9): 269–278.
CHEN YK, LV W, WANG YK, *et al*. Recipe optimization and flavor composition analysis of *Asparagus* cookie [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(9): 269–278. (in Chinese with English abstract).

芦笋曲奇饼干配方优化与风味成分分析

陈奕锟[1,2], 吕　旺[1,2], 王垠坤[1,2], 刘昕洋[1,2], 蔡　静[1,2], 徐立荣[1,2*], 钟　凤[1,2*]

(1. 青岛大学营养与健康研究院, 青岛　266071; 2. 青岛大学公共卫生学院, 青岛　266071)

摘　要: 目的　研究芦笋粉对饼干品质及风味的影响。**方法**　实验过程中分别进行了单因素试验以及正交试验, 确定了芦笋曲奇饼干最优配方。以低筋粉曲奇饼干为对照, 对两者的理化性质、感官品质和风味进行评价, 并进一步利用固相微萃取结合气相色谱-质谱联用仪进行风味成分分析。**结果**　在烤箱 170 ℃预热后烤制 8 min, 降温至 120 ℃后烤制 12 min 的调温烘焙下, 最终确定了芦笋曲奇饼干的配方为: 芦笋粉 6 g、低筋面粉 120 g、黄油 37.5 g, 玉米油 25 g, 葵花籽油 12.5 g, 牛奶 24 g, 玉米淀粉 4 g, 糖粉 33 g, 盐 1 g。芦笋曲奇饼干共检测到 32 种风味成分, 低筋粉曲奇饼干中共检测到 21 种风味成分, 与对照组相比, 芦笋曲奇饼干中检测出了独有的风味物质, 比如具有水果香气的反式香叶基香叶醇、蘑菇香气的 1-辛烯-3-醇, 青草香气的反-2-庚烯醛。**结论**　在低筋粉中添加适量芦笋粉制作曲奇饼干可提升饼干的风味, 本研究为芦笋粉作为功能性及增香配料用于烘焙食品提供支持。

关键词: 曲奇饼干; 芦笋粉; 感官评价; 质构特性; 正交试验; 风味物质

Recipe optimization and flavor composition analysis of *Asparagus* cookie

CHEN Yi-Kun[1,2], LV Wang[1,2], WANG Yin-Kun[1,2], LIU Xin-Yang[1,2], CAI Jing[1,2], XU Li-Rong[1,2*], ZHONG Feng[1,2*]

(1. *Institute of Nutrition & Health*, *Qingdao University*, *Qingdao* 266071, *China*; 2. *School of Public Health*, *Qingdao University*, *Qingdao* 266071, *China*)

ABSTRACT: Objective　To investigate the effects of *Asparagus* powder on the quality and flavor of cookies. **Methods**　Single-factor experiments and orthogonal experiments were conducted to determine the optimal formula of *Asparagus* cookies. Using low-gluten flour cookies as the control, the physicochemical properties, sensory quality, and flavor of both groups were evaluated. Furthermore, solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry was employed for the analysis of volatile flavor components. **Results**　Under the temperature-controlled baking condition (preheating the oven to 170 ℃, baking for 8 min, then cooling to 120 ℃ and baking for another 12 min), the optimal formula of *Asparagus* cookies was determined as follows: *Asparagus*

收稿日期: 2025-12-17
基金项目: 国家自然科学基金项目(32202083); 山东省自然科学基金项目(ZR2024QC124); 山东省青年科技人才托举工程项目(SDAST2025QTA083); 中国营养学会飞鹤基金项目(CNS-feihe2020A36)
第一作者: 陈奕锟(2002—), 男, 主要研究方向为食品营养方面研究。E-mail: 15953039566@163.com
***通信作者:** 徐立荣(1991—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品加工和营养工作。E-mail: 15877484825@163.com
钟凤(1979—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为老年人群营养与健康。E-mail: zhfoeg@163.com

powder 6 g, low-gluten flour 120 g, butter 37.5 g, corn oil 25 g, sunflower oil 12.5 g, milk 24 g, corn starch 4 g, powdered sugar 33 g and salt 1 g. A total of 32 kinds of volatile flavor compounds were detected in the *Asparagus* cookies, whereas 21 kinds of were identified in the control group (low-gluten flour cookies). Compared with the control group, several unique flavor substances were exclusively found in the *Asparagus* cookies, including trans-geranylgeraniol (fruity aroma), 1-octen-3-ol (mushroom aroma) and trans-2-heptenal (grassy aroma). **Conclusion** The addition of an appropriate amount of *Asparagus* powder to low-gluten flour effectively enhances the flavor profile of cookies. This study demonstrates that *Asparagus* powder can serve as a functional and flavor-enhancing ingredient in baked goods.

KEY WORDS: cookie; *Asparagus* powder; sensory evaluation; texture characteristics; orthogonal test; flavor composition

0 引 言

传统曲奇饼干是指使用面粉、黄油和糖粉等食材, 辅以盐、牛奶, 通过高温烤制而成的一类西式点心, 这类饼干因其酥脆的质构以及易咀嚼的特性赢得了广大顾客群体的喜欢[1–3]。由于小麦粉的精细加工及生产过程中白砂糖和油脂的添加, 使其成为高油高糖的食品, 长期摄入易导致肥胖[4]。

芦笋为百合科天门冬亚科多年生被子植物石刁柏的嫩芽[5–6], 在日常膳食体系中, 芦笋作为一种常见蔬菜被广泛食用, 其富含多种营养成分, 具有重要的营养价值。芦笋中含有大量的营养元素和生物活性物质[7], 大量的科学研究证明, 芦笋具有保护肝脏、调节免疫力[8]、降低血脂、抗肿瘤[9]、抗疲劳、抗衰老等作用[10], 长久以来, 它被营养专家和素食爱好者誉为纯绿色的健康功能性食品。芦笋在商品化加工过程中会产生大量副产物, 这些副产物蕴含与商品笋相似的有价值成分, 但通常在传统加工流程中被视为损耗而遗弃或仅用于畜禽饲料生产, 造成资源浪费。为了实现非商品笋和副产物的全质化利用, 前期将芦笋粉制备成为芦笋粉的研究中发现, 制备的芦笋粉中膳食纤维含量约 13%, 不可溶性膳食纤维约 63%, 相比前人研究膳食纤维含量大大提升[11]。近几年, 芦笋相关食品的研发正在逐渐增多, 比如芦笋复合保健醋[12]、芦笋咀嚼片[13]、芦笋汁饮料[14]等, 本研究将关注点聚焦于芦笋曲奇饼干的研发, 希望二者的融合能带来新的健康食品。鉴于芦笋丰富的营养成分和生物活性物质, 将其应用于曲奇饼干制作, 有望在提升饼干风味的同时, 赋予产品一定的保健功能, 满足消费者对健康食品的需求, 为传统曲奇饼干的创新发展提供新的方向。

目前市场上的曲奇饼干中的黄油主要以饱和脂肪酸为主。研究发现在日常膳食中脂肪酸的摄入比例不同会对血脂调节等慢性病的发生、发展产生不同的效应, 因此日常膳食中的脂肪酸摄入不仅要有数量限制也应当有比例要求[15]。所以本研究在制作芦笋曲奇过程中采用葵花籽油与玉米油组成的调和油替代部分黄油, 使饱和脂肪酸:多不饱和脂肪酸:单不饱和脂肪酸质量比例接近 1:1:1[16], 更符合人体在脂肪方面的营养平衡, 更有利于人体健康。

目前固相微萃取技术(solid-phase microextraction, SPME)结合气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分离与鉴定样品中的挥发性香气成分已经广泛应用于食品等领域中[17–20]。本研究以芦笋粉、糖粉、调和油添加量为影响因素设计单因素试验, 并在其基础上采用正交试验确定芦笋曲奇饼干的最佳工艺配方。同时分析芦笋曲奇饼干与日常食用的普通饼干的风味物质成分。在完善芦笋曲奇饼干配方的基础上, 为实现芦笋粉的综合利用, 增加曲奇饼干的种类以及食品工业中的应用提供一定的理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

芦笋粉(单县华远芦笋种植农场); 百乐麦糕点低筋粉(青岛百乐麦食品有限公司); 奈特兰淡味黄油(四川新希望贸易有限公司); 长寿花金胚玉米油(山东三星玉米产业科技有限公司); 金龙鱼阳光脂肪葵花籽油(益海嘉里食品营销有限公司); 凯贝特细糖粉(山东凯贝食品有限公司); 蒙牛纯牛奶[内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司]; 玉米淀粉(南京甘汁园股份有限公司); 天然海盐(山东省盐业集团有限公司); 邻二氯苯(纯度≥99.5%, 上海阿拉丁试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

LD150 九阳电动打蛋器(中国九阳股份有限公司); YK-B10001F 型电子天平(精度 0.1 g, 嘉兴优科维特电子科技有限公司); Clarus SQ 8 GC-MS 气质联用仪、PerkinElmer Clarus 690/590 气相色谱仪[PerkinElmer 企业管理(上海)有限公司]; TA-XT plus 食品物性分析仪(英国 Stable Micro System 公司); 20 mL 顶空瓶、DB-WAX MS 柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国安捷伦科技有限公司); 90-1A 磁力搅拌器(上海梅颖浦仪器仪表制造有限公司); HH-S4A 恒温水浴

锅(北京科伟永兴仪器有限公司)。

1.3 方　法

1.3.1 曲奇制作流程

(1)曲奇初始配方。芦笋粉 4 g, 黄油 37.5 g, 玉米油 25 g, 葵花籽油 12.5 g, 低筋面粉 120 g, 牛奶 24 g, 玉米淀粉 4 g, 糖粉 33 g, 盐 1 g。

(2)原料处理。室温软化黄油; 将盐加入牛奶中化开备用; 将低筋面粉、芦笋粉、玉米淀粉混合过 100 目筛备用。

(3)调制面团。将糖粉加入软化好的黄油中, 搅拌机一档(950 r/min)打发至浅色羽毛状; 加入葵花籽油、玉米油和牛奶打发至白色均匀黏稠态; 分多次加入粉类混合物, 搅拌均匀成团。

(4)成型。将处理好的面团通过模具制成厚 8 mm 形状相同的饼干放入烤盘中。

(5)烘烤。烤箱 175 ℃预热, 将烤盘放入烤箱中 175 ℃烘烤 8 min, 拿出烤盘; 将烤箱降温至 120 ℃, 二次烘烤 12 min, 烘烤结束, 室温冷却后得到成品。

芦笋曲奇饼干制作流程如图 1。

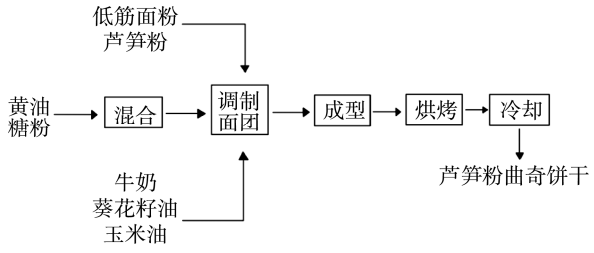


图 1　芦笋曲奇饼干的制作工艺流程

Fig.1　Production process of *Asparagus* cookies

1.3.2 单因素试验

从预试验结果可看出, 在芦笋曲奇饼干的制作流程中, 芦笋粉添加量、糖粉添加量以及调和油添加量都会对曲奇饼干的感官评价产生很大的影响。所以, 为确定最优配方, 通过对芦笋曲奇饼干进行单因素试验, 试验操作以 1.3.1 曲奇制作流程为准, 以感官评价得分及质构分析作为评判指标, 由此确定不同工艺流程对芦笋曲奇饼干的风味影响。

(1)芦笋粉添加量的确定

每组试验芦笋粉分别添加 4、6、8、10 g, 固定调和油 37.5 g, 低筋面粉 120 g, 牛奶 24 g, 玉米淀粉 4 g, 糖粉 33 g, 盐 1 g。根据感官评价标准对烤制的曲奇饼干进行评分, 再加以质构分析进行综合评判, 保留最优一组芦笋粉添加量。

(2)糖粉添加量的确定

每组试验糖粉分别添加 23、28、33、38 g, 固定芦笋粉 4 g, 调和油 37.5 g, 低筋面粉 120 g, 牛奶 24 g, 玉米淀粉 4 g, 盐 1 g。根据感官评价标准对烤制的曲奇饼干进行评分, 再加以质构分析进行综合评判, 保留最优一组糖粉添加量。

(3)调和油添加量的确定

每组试验调和油分别添加 45、60、75、90 g, 固定芦笋粉 4 g, 低筋面粉 120 g, 牛奶 24 g, 玉米淀粉 4 g, 糖粉 33 g, 盐 1 g。根据感官评价标准对烤制的曲奇饼干进行评分, 再加以质构分析进行综合评判, 保留最优一组调和油添加量。

1.3.3 正交试验

在基本配方的基础上, 分别以低筋面粉添加量, 3 种油脂比例以及烘焙时间、烘焙温度为单一变量, 进一步采用 $L_9(3^3)$的正交试验对芦笋粉(*A*)、调和油(*B*)、糖粉(*C*)的添加量 3 个因素进行优化。芦笋曲奇饼干正交设计的试验因素水平因素及组合方式如表 1 所示。

表 1　$L_9(3^3)$正交试验因素和水平

Table 1　Factors and levels of the $L_9(3^3)$ orthogonal test

水平	因素		
	A: 芦笋粉添加量/g	*B*: 调和油添加量/g	*C*: 糖粉添加量/g
1	4	60	28
2	6	75	33
3	8	90	38

1.3.4 芦笋曲奇饼干的感官评价标准

将烤制完成的芦笋曲奇饼干自然冷却至室温后进行感官评价。本研究按照山东省食品工业协会团体标准 T/SDFIA35—2023《食品感官质量评委考核认定规范》, 根据 GB/T 16291.1—2012《感官分析选拔、培训与管理评价员一般导则》, 评价开展前先完成评价人员前置筛查; 配制甜、咸、酸、苦、鲜五味梯度标准味觉溶液, 采用三点识别法测定全员基础味觉阈值, 通过二三点差别试验统一味觉分辨能力, 并以标准参比样品锚定感官评分标尺。评价全程实施清水漱口、间隔静置、空白样品回检等防疲劳质控措施, 及时剔除味觉感知异常人员, 确保感官评价结果具备良好的一致性、可靠性与客观性。最终纳入 10 名营养学及食品科学专业师生组建感官评价小组, 男女各 5 名, 参评人员年龄为(23.6±3.14)岁。通过培训的感官评价员, 严格根据表 2 的评分细则对曲奇饼干的口感、风味、组织状态、酥脆及色泽进行感官评分[21–22]。

1.3.5 质构测定方法

试验中使用食品物性分析仪检测芦笋曲奇饼干所需的质构数据[23]。将已准备好已冷却完成的曲奇饼干作为试样, 分析仪选择 250 N 力量感应元, 使用 12.7 mm 直径的圆柱探头, 在仪器软件中, 选择 250 N 质构剖面分析(texture profile analysis, TPA)程序, 设定试验需要参数为探头上升高度 10 mm, 探头运动的前后速度 30 mm/min, 初始压迫力调整为 0.375 N, 饼干形变量调整为 50%, 重复压缩, 压缩两次的时间组距为 0 s。仪器调试后, 在校零完成的基础上, 将试样摆放至食品物性分析仪试验平台上进行试验, 为保证数据的可靠性, 每个变量组均重复 5 次试验。

表 2 芦笋曲奇饼干感官评分细则

Table 2 Sensory rating details of *Asparagus* cookies

评价指标	评价标准	得分
口感	酥而不硬, 不黏牙糊口, 无颗粒感	16~20
	口感较酥, 稍黏牙, 有颗粒感	11~15
	口感较硬, 黏牙, 有颗粒感	6~10
	口感硬, 不酥, 颗粒感明显, 难以下咽	1~5
风味	具有芦笋独特香味, 无不良气味	16~20
	无异味, 甜咸适中	11~15
	较甜或较咸, 有一定异味	6~10
	过甜或过咸, 异味明显不可接受	1~5
组织形态	形态完整, 无破损, 断面细腻	16~20
	形态基本完整, 断面较细腻	11~15
	厚薄不均匀, 有破损, 断面较粗糙	6~10
	厚薄不均匀, 破损严重, 断面粗糙	1~5
酥脆	质地酥脆可口	16~20
	质地良好	11~15
	质地较硬	6~10
	质地硬, 口感差	1~5
色泽	色泽均匀, 无焦边	16~20
	色泽较均匀, 焦边很少	11~15
	色泽较深或较浅, 略有焦糊	6~10
	色泽过深或过浅, 焦糊明显	1~5

1.3.6 气相色谱-质谱法分析

风味物质测定分析参照本研究室前期检测方法进行检测[24]。SPME: 固定固相微萃取探头于 GC 进样口, 使探头在 260 ℃条件下老化 60 min。称取饼干样品 2.0 g 进行研磨, 将研磨所得样品放于 20 mL 顶空瓶中, 并加入 5 mL 40%的食盐水, 加入 10 μL 5.155 μg/mL 的邻二氯苯作为内标。封口后置于 60 ℃水浴中平衡 30 min, 磁力搅拌 200 r/min, 然后将固相微萃取头插入 250 ℃的气相进样口进样, 解析 5 min 后取出。

色谱条件: 试验中选择的毛细管色谱柱为 DB-WAX MS 柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 使用高纯 He 作为载气, 设置 1.0 mL/min 的气体流速, 进样模式为不分流模式; 调整进样口温度 280 ℃; 设置升温程序: 起始温度 40 ℃, 维持 3 min, 采用 10 ℃/min 的升温速率升温至 230 ℃, 维持 3 min; 进样模式为不分流模式。

质谱条件: 试验中使用电子轰击离子源(electron lonization, EI)模式; 传输线温度 280 ℃; 离子源温度 230 ℃; 电子能量 70 eV; 质量扫描范围 30~500 *m*/*z*, 使用全扫描的数据采集方式。

挥发性香气成分的化合物量采用查找谱图库, 人工分析进行检索结果的确定。使用内标法分析得出物质含量。参考国际纯粹与应用化学联合会(international union of pure and applied chemistry, IUPAC)推荐方法, 检出限以信噪比(*S*/*N*)≥3 确定, 定量限以 *S*/*N*≥10 确定, 各风味物质的检出限范围为 0.05~0.20 μg/kg。

1.4 数据处理

试验中涉及到的所有试验均进行 3 次独立批次重复, 每个批次样品平行测定 3 次取平均值, 结果以均数±标准偏差表示。GC-MS 的数据利用仪器自带的数据库进行定性分析, 采用 Excel 2021 对有效数据进行筛选, 使用 IBM SPSS Statistics 21 对数据进行单因素方差分析及最小显著性差异法多重比较, 显著水平设为 P<0.05; 作图采用 Origin 2022 软件。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

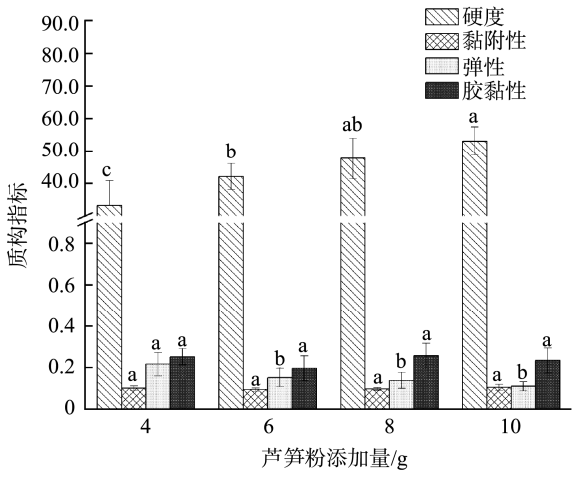
2.1.1 芦笋粉添加量对曲奇饼干感官评价及质构分析的影响

质构分析中, 各项指标直接决定了曲奇饼干的品质与适口性。其中, 硬度反映了饼干的酥脆程度, 硬度过大会增加咀嚼难度, 导致口感欠佳, 弹性表示食品在变形后恢复原有形态的能力, 适度的弹性赋予饼干更好的咀嚼体验[25], 黏附性和胶黏性则是指咀嚼半固态食品至可吞咽状态所需的能量, 数值过大往往会导致咀嚼时产生不良的黏牙感[26], 降低整体的感官接受度。参照预实验中感官评价的最高得分组对应的质构数值, 初步确定芦笋曲奇饼干各质构指标的适宜范围为: 硬度 40.00~45.00 N, 弹性 0.10~0.20 mm, 黏附性绝对值 0.08~0.12 N.mm, 胶黏性绝对值 0.19~0.21 N。在此范围内, 饼干口感酥脆、不黏牙、易咀嚼。

由图 2 结果显示随着芦笋粉添加量的增加, 曲奇饼干的硬度呈上升的趋势(P<0.05)。芦笋粉中含有丰富的可溶性膳食纤维素, 具有锁水的功能, 不仅会吸附面团中的自由水, 还会减少面筋蛋白与水分的结合位点, 降低面筋蛋白的水化程度, 进而抑制面筋网络的形成与延展, 导致曲奇饼干质地变硬。在对曲奇饼干品质进行评判时, 曲奇需有合适的硬度。若硬度过大, 会出现咀嚼和吞咽较难的情况, 且口感过硬、不够酥松; 当硬度过低时, 又会出现易破碎等状况。弹性随芦笋粉添加量的增加呈下降趋势(P<0.05), 这同样是因为膳食纤维对面筋蛋白网络的稀释与破坏作用, 芦笋粉比例越高, 面团中形成连续网络结构的面筋蛋白相对越少, 饼干在受压后恢复原有形态的能力随之减弱。黏附性和胶黏性在各添加量组间未呈现显著差异(P>0.05), 表明芦笋粉添加量在此范围内对饼干的黏牙感影响有限。

感官评价不同芦笋粉添加量对曲奇饼干口感、风味的影响, 如图 3 所示。芦笋粉中含有的芦笋皂苷、低分子挥发性醛类等物质是其独特清香的核心风味基础, 其呈现效果与芦笋粉添加量呈正相关, 而芦笋粉中黄酮类、酚类物质为其苦味的主要来源, 该类物质会随添加量增加出

现累积效应。结果表明, 在芦笋粉添加量为 4 g 时, 曲奇饼干的芦笋清香较少, 也无明显苦味, 虽然保留较多原有的曲奇风味, 但未能体现芦笋粉的功能与风味, 得分较高。当芦笋粉的添加量为 6 g 时, 烘焙后的曲奇饼干中芦笋清香风味物质与活性成分保留较多, 苦味不突出且硬度适宜, 兼顾了风味、质构及活性物质的保留, 因此感官评价得分继续上升。当芦笋粉添加量大于 6 g 时, 虽然芦笋香气会进一步加重, 但是会产生明显的苦涩感且硬度进一步增加, 感官评价得分进一步下降。经多次试验后发现当芦笋粉的添加量为 6 g 时, 曲奇饼干感官评价出现最高分 82.10 分, 结合质构分析, 可确定芦笋粉的最佳添加量为 6 g。



注: 同一系列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。硬度单位为 N, 黏附性单位为 N.mm, 弹性单位为 mm, 胶黏性单位为 N。下图同。

图 2　芦笋粉添加量对曲奇饼干质构品质的影响

Fig.2　Effects of the added amount of *Asparagus* powder on the texture quality of cookies

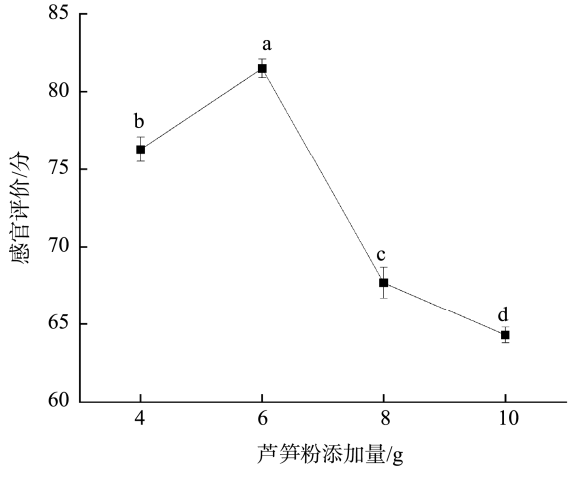


图 3　芦笋粉添加量对曲奇饼干感官评价的影响

Fig.3　Effects of the added amount of *Asparagus* powder on sensory evaluation of cookies

2.1.2　调和油用量对曲奇饼干感官评价及质构分析的影响

油脂是曲奇饼干制作中不可或缺的原料之一, 油脂的添加量严重影响饼干的品质[27]。本研究中采用了由葵花籽油与玉米油组成的调和油替代部分黄油, 并且在调和 3 种油时使其饱和脂肪酸:单不饱和脂肪酸:多不饱和脂肪酸的质量比趋近于 1:1:1, 这种比例有利于平衡人体对于脂肪的吸收和利用。

观察图 4 中可知随着调和油添加量的增加曲奇饼干的硬度、弹性、胶黏性均呈下降的趋势(P<0.05)。调和油能够形成一层包裹淀粉颗粒与面筋蛋白的油膜, 这层油膜一方面能够抑制面筋蛋白形成网状结构, 另一方面也能够阻止面筋蛋白与淀粉颗粒之间的紧密结合, 从而降低面团的硬度、弹性和胶黏性[28]。同时, 油膜能在高温烘焙中隔绝部分热空气, 减少芦笋粉中黄酮、酚类等易氧化活性成分与高温氧气的接触, 降低其热氧化损失。试验探讨每 120 g 面粉和芦笋粉的混合粉中调和油的用量为 45、60、75、90 g 时, 对曲奇饼干品质的影响。观察图 5 的感官得分结果可知, 调和油用量为 45 g 时, 油膜形成不充分, 不能有效抑制面筋网络的形成且芦笋活性物质热氧化损失较多, 饼干质地坚硬, 难以咀嚼且胶黏性的绝对值大, 曲奇饼干感官评分最低。当调和油量为 75 g 时, 硬度为 44.05 N, 胶黏性绝对值小, 饼干酥脆且易于成型、断裂面细腻, 并且油膜充分发挥了热屏障的作用, 最大程度保护了芦笋粉中的活性物质, 感官评价得分达到最高。但调和油量增加到 90 g, 此时面团不易成型, 烤制出的饼干质地偏软, 因此感官评分开始降低。综上, 结合感官评价及质构分析可确定调和油的最佳用量为 75 g。

2.1.3　糖粉对曲奇饼干感官评价及质构分析的影响

观察图 6 中的数据可得出饼干黏附性和硬度与糖分添加量具有相关性, 随着糖粉添加量的增加, 饼干的黏附性呈现先下降后上升的波动趋势(P<0.05), 而饼干硬度则呈现出先上升后下降的趋势(P<0.05)。

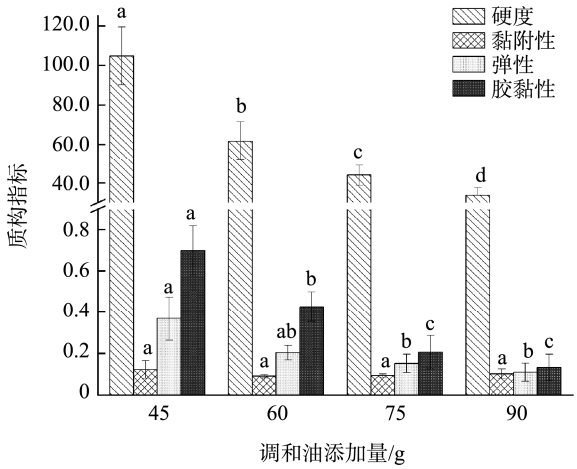


图 4　调和油用量对曲奇饼干质构品质的影响

Fig.4　Effects of the amount of blended oil on the texture quality of cookies

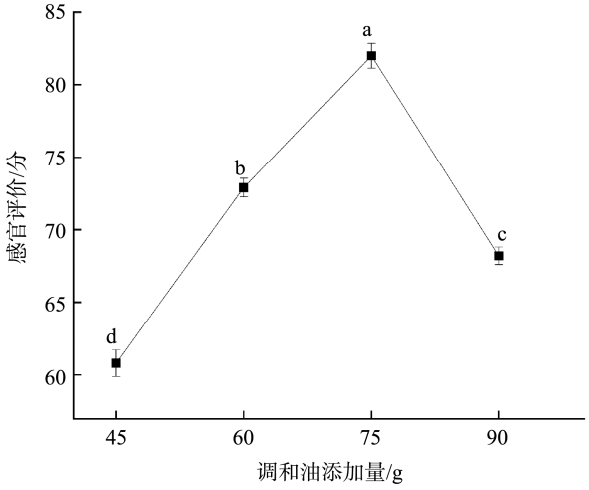


图 5 调和油用量对曲奇饼干感官评价的影响

Fig.5 Effects of the amount of blended oil on sensory evaluation of cookies

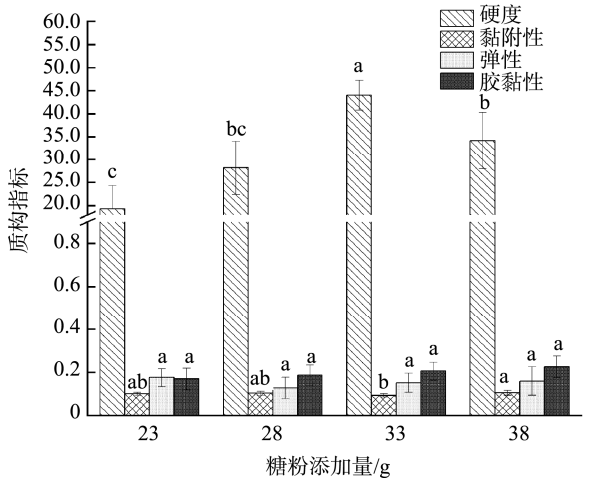


图 6 糖粉对曲奇饼干质构品质的影响

Fig.6 Effects of powdered sugar on the texture quality of cookies

芦笋粉除了其独特的风味之外，还有一种淡淡的苦味，添加糖粉后，可以掩盖芦笋粉本身的苦味，使芦笋曲奇饼干变得更加清爽，促进人体对所需能量的转化。本研究中分别尝试糖粉添加量为 23、28、33、38 g 时，对生产工艺的影响。感官评价得分如图 7 所示，经反复多次试验发现，当糖粉添加量为 23 g，此时曲奇饼干的甜味缺失，芦笋苦味明显，因此感官评分最低。当糖粉添加量为 33 g 时，糖粉对黄油发泡稳定性有显著的提高，在烤制过程中，水分的蒸发作用因为糖的亲水特性而减缓，给予了蛋白网络更长的凝结和固定时间[29]，面筋网络结构的稳定性也增加，从而使饼干的硬度升高、黏附性下降，同时，此添加量下美拉德反应适中，不会过度消耗芦笋粉中的活性物质，曲奇饼干的感官评价得分达到最高。但当糖粉添加量超过添加阈值时，会产生明显的焦糖化反应，导致面团中的水分流失较多，从而对面筋的形成产生了抑制作用，促进胶态物质产生[30]，导致饼干的硬度下降及黏附性上升，口感下降，所以糖粉添加量为 38 g 时，感官评分开始下降。因此，结合糖粉对曲奇饼干感官评价及质构分析的影响结果，可确定糖分的最佳添加量为 33 g。

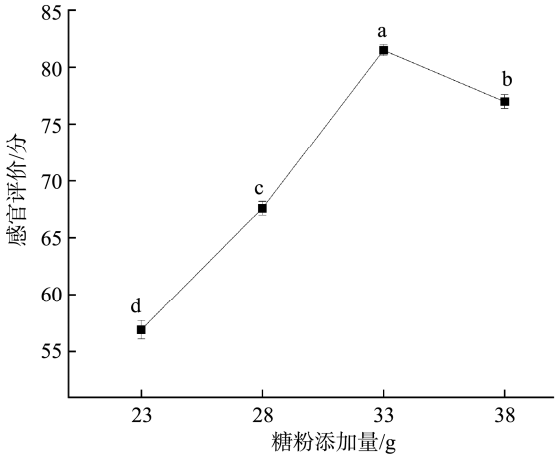


图 7 糖粉对曲奇饼干感官评价的影响

Fig.7 Effects of powdered sugar on sensory evaluation of cookies

2.2 正交试验分析获得最佳工艺参数

在已确定的最佳烘焙时间与温度：烤箱 175 ℃预热，175 ℃烘烤 8 min，拿出烤盘；烤箱降温至 120 ℃，二次烘烤 12 min 的条件下，芦笋曲奇饼干制作工艺优化的正交试验结果见表 3，考察了芦笋粉添加量(*A*)、调和油添加量(*B*)、糖粉添加量(*C*)对感官评分的影响。

表 3 芦笋曲奇饼干制作工艺优化的正交试验结果

Table 3 Orthogonal test results of *Asparagus* cookie making process optimization

试验号	*A*	*B*	*C*	感官评价/分
1	1	1	1	61.25
2	1	2	2	76.88
3	1	3	3	65.30
4	2	1	2	72.59
5	2	2	3	77.75
6	2	3	1	61.75
7	3	1	3	62.30
8	3	2	1	63.20
9	3	3	2	60.25
*K*1	204.42	197.42	187.20	
*K*2	212.37	217.82	210.00	
*K*3	185.75	187.30	205.35	
*k*1	68.14	65.80	62.40	
*k*2	70.79	72.60	70.00	
*k*3	61.91	62.43	68.45	
R	8.88	10.17	7.60	

由表 3 的极差 R 可知, 影响芦笋曲奇饼干感官评分的因素主次顺序是 $B>A>C$, 即调和油>芦笋粉>糖粉。正交试验中确定的最佳配方为 $A_2B_2C_2$, 即芦笋粉 6 g、调和油 75 g、糖粉 33 g, 不属于表 3 中列出的 9 组试验, 需要进行试验验证。在 $A_2B_2C_2$ 配方条件下, 进行 3 次独立批次验证试验, 通过试验所得, $A_2B_2C_2$ 组感官评分为 81.76 分, 高于正交试验所有组。因此, 最佳配方为芦笋粉 6 g, 调和油 75 g, 糖粉 33 g。

在极差分析基础上, 进一步进行了方差分析, 结果见表 4。由表 4 可知, 芦笋粉添加量、糖粉添加量、调和油添加量对结果均呈现为极显著影响($P<0.01$), 其中调和油添加量($F=753.98$, $P=0.001$)影响更显著, 芦笋粉添加量($F=582.64$, $P=0.002$)与糖粉添加量($F=452.70$, $P=0.002$)次之。该结论与正交试验(表 1)中不同因素对芦笋粉影响结果基本一致。

表 4　正交试验方差分析结果

Table 4　Variance analysis results of orthogonal test

变异来源	III型平方和	自由度	均方	F	显著性
校正模型	382.47	6	63.74	596.44	0.002
截距	40340.72	1	40340.72	377457.05	0.000
A	124.54	2	62.27	582.64	0.002
B	161.16	2	80.58	753.98	0.001
C	96.77	2	48.38	452.70	0.002
误差	0.21	2	0.11		
总计	40723.40	9			
校正的总计	382.68	8			

注: 显著性<0.01 为极显著影响, 具体数值越小显著性越强。

2.3　配方优化的芦笋曲奇饼干和初始配方普通曲奇饼干的挥发性风味成分 GC-MS 分析

对配方优化的芦笋曲奇饼干和初始配方普通曲奇饼干进行挥发性风味成分分析, 结果见下表 5。

配方优化的芦笋曲奇饼干和普通曲奇饼干的挥发性风味成分种类及相对含量见表 5。结果表明, 在芦笋曲奇饼干中, 影响饼干风味的物质主要包括芳香族、酯类、醛类、醇类、酮类等。如表 5 所示, 通过 GC-MS 从普通曲奇饼干中检测出 21 种相对含量较高的风味成分; 配方优化的芦笋曲奇饼干中则检测出 32 种含量较高的风味成分。

芦笋粉饼干和普通饼干两者具有的共同的风味物质成分为醛、醇类化合物, 例如在芦笋曲奇饼干的检测中可发现醛醇类风味物质的成分含量明显增高, 比如庚醛的含量由 1.56 μg/kg 增高到 5.98 μg/kg, 使其坚果味更加浓烈[31]。另外还有部分新的风味物质产生: 如以亚油酸、亚麻酸为主的多不饱和脂肪酸氧化降解[32]生成的具有蘑菇香气的 1-辛烯-3-醇、1-辛烯-3-酮以及青草香气的反-2-庚烯醛, 以芦笋粉中含有的非挥发性糖苷水解产生的水果香气的反式香叶基香叶醇[33]。

这些新增的特征风味物质与感官评价结果高度吻合。在感官评价中, 添加 6 g 芦笋粉的曲奇饼干获得了最高分(82.10 分), 评员反馈其具有独特的芦笋清香且无明显苦涩感。这正是因为反式香叶基香叶醇及 1-辛烯-3-醇的产生, 有效掩盖了原有的单调气味, 明显增强了饼干的自然特征气味, 对提升饼干整体风味的感官接受度做出了关键贡献。

表 5　配方优化的芦笋曲奇饼干和初始配方普通曲奇饼干挥发性风味成分分析结果

Table 5　Analysis results of volatile flavor components of *Asparagus* cookies with optimized recipe and ordinary cookies with initial recipe

序号	类别	化合物	含量/(μg/kg)		香气描述
			添加芦笋粉	未添加芦笋粉	
1	酯类	6-甲基-庚酸甲酯	4.32±0.32	-	苹果、甜橙样果香
2		四氢香叶基甲酸酯	5.12±0.45	-	清新绿叶香气
3		γ-十二内酯	0.86±0.06	-	浓郁桃子、奶油香味
4		*E*-10,13,13-三甲基-11-十四碳烯-1-醇乙酸酯	12.48±1.13	-	淡木香气
5		3-乙基-己酸甲酯	-	1.96±0.13	香蕉样果香
6		7-甲基-*Z*-十四烯-1-醇乙酸酯	-	3.04±0.29	淡花果香
7	醛类	庚醛	5.98±0.51[a]	1.56±0.09[b]	强烈坚果香气
8		(*Z*)-反-2-庚烯醛	70.25±5.13[a]	11.52±1.04[b]	清新青草香气
9		苯乙醛	21.33±1.98[a]	4.71±0.31[b]	浓郁花香
10		壬醛	6.88±0.54[a]	5.73±0.62[a]	柑橘香气
11		反-2-壬烯醛	3.07±0.27[a]	2.45±0.29[b]	醇厚牛油果香气
12		4-乙基-苯甲醛	1.52±0.11	-	柔和苦杏仁香气
13		反-3-苯基丙烯醛	1.34±0.09	-	强烈肉桂香气

表 5(续)

序号	类别	化合物	含量/(μg/kg)		香气描述
			添加芦笋粉	未添加芦笋粉	
14	醛类	癸醛	2.10±0.17[a]	1.66±0.12[b]	清新柠檬香气
15		(Z)-2-癸烯醛	3.17±0.38	-	柔和柑橘香
16		苯甲醛	-	6.48±0.49	苦杏仁香气
17		3-乙基--苯甲醛	-	1.48±0.19	苦杏仁香气
18	醇类	1-辛烯-3-醇	26.74±2.13	-	浓郁蘑菇香气
19		2-辛醇	41.50±3.96	-	黄瓜香气
20		(Z)-2-辛烯-1-醇	7.92±0.66[a]	1.30±0.09[b]	清新青草香气
21		反式香叶基香叶醇	39.66±4.08	-	清新水果香气
22		5-甲基-1-己醇	-	2.06±0.21	柔和果香
23		1,3-庚烯醇	-	7.26±0.64	清新蔬菜香气
24		4-甲基-2-庚醇	-	30.72±2.95	淡果香
25	酮类	2-庚酮	56.20±4.92[a]	52.80±4.13[a]	乳脂甜香
26		4-甲基-2-庚酮	1.83±0.14	-	清新果香
27		1-辛烯-3-酮	13.82±1.52	-	浓郁蘑菇香气
28		2-壬酮	33.47±3.12[a]	23.91±1.94[b]	浓郁柑橘香气
29		2-十一烷酮	15.88±1.38[a]	8.93±0.76[b]	淡花香
30	烷烃类	癸烷	6.00±0.51	-	无明显香气
31		2,5-二甲基-壬烷	1.61±0.11	-	无明显香气
32		6-乙基-2-甲基-辛烷	1.74±0.16	-	无明显香气
33		4,8-二甲基-十一烷	10.40±0.99	-	无明显香气
34		十二烷	9.26±1.15[b]	10.89±1.31[a]	无明显香气
35		2,7,10-三甲基-十二烷	5.31±0.61[a]	2.60±0.34[b]	无明显香气
36		十三烷	2.57±0.22[b]	3.34±0.21[a]	无明显香气
37		3,7-二甲基-癸烷	4.00±0.31	-	无明显香气
38		4,7-二甲基-十一烷	1.33±0.09	-	无明显香气
39		6-乙基-2-甲基-癸烷	1.91±0.11	-	无明显香气
40		2,4-二甲基-癸烷	-	1.15±0.12	无明显香气

注: -表示低于方法检出限, 未达定量报告标准。同行字母不同表示差异显著(P<0.05)。

3 结论与讨论

3.1 结 论

通过对芦笋粉添加量、调和油添加量、糖粉添加量进行单因素试验、正交试验筛选出的最优配方为: 芦笋粉 6 g、低筋面粉 120 g、黄油 37.5 g、玉米油 25 g、葵花籽油 12.5 g、牛奶 24 g、玉米淀粉 4 g、糖粉 33 g、盐 1 g。用 SPME 结合 GC-MS 分别检测和分析芦笋曲奇饼干和普通曲奇饼干的挥发性风味物质成分, 芦笋曲奇饼干中检测到 32 种挥发性风味物质成分, 较对照组新增 11 种, 其中具有水果香气的反式香叶基香叶醇和青草香气的反-2-庚烯醛突出了芦笋曲奇饼干的特征气味。配方优化的芦笋曲奇饼干不仅具有曲奇饼干固有的风味和酥脆的质构, 而且具有芦笋的特殊风味、色泽和活性成分。除了赋予产品独特的风味外, 芦笋曲奇饼干在高温烘焙后依然能保留一定的功能特性, 这主要得益于饼干基质中脂质网络形成的“热物理屏障”效应。本研究配方中优化了调和油的添加量, 在面团制备过程中, 油脂充分乳化并均匀包裹在淀粉和面筋蛋白网络外围, 形成了一层致密的脂质薄膜。姚赛等[34]研究表明, 在焙烤食品的复杂基质中, 这种脂质包埋结构能够有效降低体系内部的氧气渗透率, 并阻断外部高温热空气与内部核心的直接热交换。这种物理屏障作用不仅改善了饼干的质构和酥松度, 更在很大程度上抑制了芦笋粉中黄酮类、多酚类等热敏性营养物质在高温下的剧烈热氧化降解。

3.2 营养优势与应用价值

从消费者健康需求视角出发, 芦笋曲奇饼干相较于传统普通曲奇饼干具有显著的潜在营养优势。芦笋富含膳

食纤维、维生素、矿物质及芦笋多糖、黄酮类等活性营养成分, 将其制备为芦笋粉添加至曲奇配方中, 可有效弥补传统曲奇饼干“高油、高糖、低营养”的固有短板。该产品在为消费者提供风味体验的同时, 能够增加膳食纤维的摄入, 促进肠道蠕动, 减轻高糖高脂饮食带来的健康负担, 契合当前食品消费市场“健康化、营养化”的发展趋势。在感官接受性方面, 经配方优化后的芦笋曲奇饼干呈现自然淡绿色, 既保留了传统曲奇饼干酥脆的核心口感, 又融入了芦笋特有的清香气息, 有效改善了传统曲奇饼干风味单一的问题。感官评价结果显示, 该产品实现了营养与风味的兼顾, 为健康导向型零食消费提供了优质选择。

综上, 本研究成功研制出芦笋曲奇饼干, 证实了芦笋与传统烘焙食品的融合可行性。该产品不仅丰富了传统曲奇饼干的风味类型, 更通过芦笋粉的添加优化了产品营养结构, 降低了传统曲奇饼干的健康负担, 精准契合消费者日益增长的健康饮食需求。本研究为芦笋的深加工应用提供了具体实践路径, 也为传统烘焙食品的营养升级提供了新的思路与技术参考。后续研究可进一步采用主成分分析等多元统计方法, 对芦笋粉添加量与风味特征变化之间的量效关系进行更系统的多维度解析, 以及利用体外模拟消化与靶向定量技术对芦笋曲奇饼干成品中黄酮、多酚、皂苷等特征功能成分的实际保留率、抗氧化活性变化及生物利用度进行系统评估, 以进一步验证其作为功能性焙烤食品的健康价值。未来, 芦笋产业的发展应注重与其他产业的深度融合, 进一步丰富芦笋产品品类, 提升芦笋产品附加值, 进而提高农户生产积极性, 推动芦笋产业向多元化、高质量方向发展, 为芦笋产业的可持续发展提供支撑。

参考文献

[1] 胡萍, 刘凯. 芹菜曲奇饼干工艺研究[J]. 食品工程, 2023(2): 26–29.
HU P, LIU K. Study on the process of celery cookies [J]. Food Engineering, 2023(2): 26–29.

[2] 张卓, 李琦, 陈宇飞, 等. 响应面法水飞蓟籽油曲奇配方优化[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(10): 96–99, 103.
ZGANG Z, LI Q, CHEN YF, *et al*. Response surface methodology optimization of silybum marianum seed oil cookie formula [J]. Food and Oil, 2021, 34(10): 96–99, 103.

[3] 袁以铎, 孙娜, 陈加展, 等. 基于响应面法的“滁荞”曲奇饼干配方优化[J]. 淮阴工学院学报, 2023, 32(3): 29–35.
YUAN YD, SUN N, CHEN JZ, *et al*. Optimization of “Chuqiao” cookie formula based on response surface methodology [J]. Journal of Huaiyin Institute of Technology, 2023, 32(3): 29–35.

[4] IM YR, KIM I, LEE J. Phenolic composition and antioxidant activity of purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.): Varietal comparisons and physical distribution [J]. Antioxidants, 2021, 10(3): 462.

[5] 崔云前, 袭祥雨, 周长生. 芦笋营养价值及新型加工技术的研究[J]. 食品科技, 2020, 45(7): 88−92.
CUI YQ, XI XY, ZHOU CS. Study on the nutritional value and new processing technology of *Asparagus* [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(7): 88–92.

[6] 杨春, 张江宁, 张玲, 等. 芦笋速溶粉的研制[J]. 农产品加工, 2019(6): 24–25.
YANG C, ZHANG JN, ZHANG L, *et al*. Development of *Asparagus* instant powder [J]. Processing of Agricultural Products, 2019(6): 24–25.

[7] 黄家莉, 唐红梅, 凡彩凤, 等. 芦笋的营养保健作用及其加工研究进展[J]. 食品安全导刊, 2022(23): 122–125.
HUANG JL, TANG HM, FAN CF, *et al*. Nutrition and health care function of *Asparagus* and its processing research progress [J]. Journal Food Safety Guide, 2022(23): 122–125.

[8] YU Q, FAN L. Improving the bioactive ingredients and functions of *Asparagus* from efficient to emerging processing technologies: A review [J]. Food Chemistry, 2021, 358: 129903.

[9] ZHANG J, ZHANG F, LI D, *et al*. Characterization of metabolite profiles of white and green spears of *Asparagus officinalis* L. from Caoxian, East China [J]. Food Research International, 2020, 128: 108869.

[10] 蔡婧. 高营养芦笋汁及其饮料的制备和体外消化酵解特性的研究[D]. 成都: 成都大学, 2023.
CAI J. Study on the preparation and *in vitro* digestion and fermentation characteristics of high nutritional *Asparagus* juice and its beverage [D]. Chengdu: Chengdu University, 2023.

[11] 钟慧球, 张丽, 黄云祥, 等. 速溶芦笋粉营养成分分析及改善人体睡眠作用的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(23): 367–370.
ZHONG HQ, ZHANG L, HUANG YX, *et al*. Analysis of nutritional components of instant *Asparagus* powder and its effect on improving human sleep [J]. Food Industry Science and Technology, 2012, 33(23): 367–370.

[12] 褚秀军, 李会珍, 褚丹萍. 芦笋薏米中药复合保健醋的开发及展望[J]. 食品安全导刊, 2022(34): 148–150.
CHU XJ, LI HZ, CHU DP. Development and prospect of *Asparagus* and coix seed compound health vinegar [J]. Journal Food Safety Guide, 2022(34): 148–150.

[13] 迟晓君, 秦洋, 邢文阳, 等. 芦笋猕猴桃超微粉咀嚼片的研制[J]. 山东农业工程学院学报, 2022, 39(10): 37–42.
CHI XJ, QIN Y, XING WY, *et al*. Development of *Asparagus* kiwifruit superfine powder chewable tablets [J]. Journal of Shandong Agricultural Engineering College, 2022, 39(10): 37–42.

[14] NAGSHI S, AUNE D, BEYENE J, *et al*. Dietary intake and biomarkers of alpha linolenic acid and risk of all cause, cardiovascular, and cancer mortality: Systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies [J]. British Medical Journal, 2021, 375: n2213.

[15] 程义勇. 《中国居民膳食营养素参考摄入量》的历史与发展[J]. 营养学报, 2021, 43: 105–110.
CHENG YY. History and development of *Chinese dietary nutrient reference intake* [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2021, 43: 105–110.

[16] 张娜宁. 不同膳食脂肪酸构成对大脑糖代谢的影响及相关调和油的开发[D]. 太原: 山西农业大学, 2020.
ZHANG NN. The effect of different dietary fatty acid composition on brain glucose metabolism and the development of related blend oil [D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2020.

[17] 周佳, 苏丹, 王志霞, 等. 基于 HS-SPME- GC-MS 和多元统计分析 3 种红茶特征挥发性成分[J]. 食品工业科技, 2023(15): 1–12.
ZHOU J, SU D, WANG ZX, *et al*. Based on HS-SPME-GC-MS and

multivariate statistical analysis of three characteristic volatile components of black tea [J]. Food Industry Technology, 2023(15): 1–12.

[18] 张林祥, 张蕾, 秦子涵, 等. 基于HS-SPME-GC-MS对玫瑰醋挥发性风味物质及特征分析[J]. 食品与发酵工业, 2023(13): 1–10.
ZHANG LX, ZHANG L, QIN ZH, *et al*. Analysis of volatile flavor compounds and characteristics of rose vinegar based on HS-SPME-GC-MS [J]. Food and Fermentation Industry, 2023(13): 1–10.

[19] 顾苑婷, 彭邦远, 丁筑红. 基于SPME-GC-MS与PCA的不同萃取头萃取刺梨汁香气成分效果比较[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 47–53.
GU YT, PENG BY, DING ZH. Comparison of the effects of different extraction heads based on SPME-GC-MS and PCA on the extraction of aroma components in *Rosa roxburghii* juice [J]. Food and Machinery, 2019, 35(1): 47–53.

[20] 张文娟, 周考文. HS-SPME-GC-MS 在食品挥发性物质分析中的应用[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(17): 218–224.
ZHANG WJ, ZHOU KW. Application of HS-SPME-GC-MS in the analysis of volatile substances in food [J]. Food Research and Development, 2021, 42(17): 218–224.

[21] 田文静, 孙玉清. 紫薯曲奇饼干的质量特性及其抗氧化性[J]. 食品工业, 2019, 40(12): 148–152.
TIAN WJ, SUN YQ. Quality characteristics and antioxidant properties of purple sweet potato cookies [J]. Food Industry, 2019, 40(12): 148–152.

[22] 盛金凤, 何雪梅, 唐雅园, 等. 桑葚全果粉与果渣粉对曲奇饼干品质和抗氧化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 3(12): 1–11.
SHENG JF, HE XM, TANG YY, *et al*. Effects of mulberry whole fruit powder and pomace powder on the quality and antioxidant properties of cookies [J]. Food Industry Technology, 2021, 3(12): 1–11.

[23] 贾湃湃, 连倩, 甘生智, 等. 青稞红枣饼干的工艺优化及质构特性分析[J]. 食品工业, 2021, 42(10): 32–36.
JIA PP, LIAN Q, GAN SZ, *et al*. Process optimization and texture characteristics analysis of highland barley jujube biscuits [J]. Food Industry, 2021, 42(10): 32–36.

[24] SANTO CS, MOLINA-GARCI L, CUNHA SC, *et al*. Fried potatoes: Impact of prolonged frying in monounsaturated oils [J]. Food Chemistry, 2018, 243: 192–201.

[25] 陈琪华. 组织化植物蛋白的质构和感官特性及在素肉酱中的应用[D]. 广州: 广东工业大学, 2024.
CHEN QH. Texture and sensory properties of textured vegetable protein and its application in vegetarian meat paste [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2024.

[26] 王颖帅. 甘薯块根全生育期及后熟品质评价[D]. 太原: 山西农业大学, 2024.
WANG YS. Evaluation of the whole growth period and post-ripening quality of sweet potato roots [D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2024.

[27] 黎冬明, 郑国栋, 吴磊燕. 黑米膳食纤维饼干的研制[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(6): 60–62.
LI DM, ZHENG GD, WU LY. Development of black rice dietary fiber biscuits [J]. Food Research and Development, 2015, 36(6): 60–62.

[28] 程冰, 王筝, 赵龙珂, 等. 奇亚籽膳食纤维低糖酥性饼干的制备与表征分析[J]. 河南农业大学学报, 2022(12): 4.
CHENG B, WANG Z, ZHAO LK, *et al*. Preparation and characterization analysis of low-sugar crisp biscuits of Chia seed dietary fiber [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2022(12): 4.

[29] 梅莉娟, 熊敏, 严碧云. 西兰花曲奇饼干的工艺研究[J]. 科学技术创新, 2023(18): 3–4.
MEI LJ, XIONG M, YAN BY. Study on the process of broccoli cookies [J]. Innovation of Science and Technology, 2023(18): 3–4.

[30] 孙莹, 李欣, 刘艳香, 等. 全谷物发芽糙米韧性饼干制作工艺优化[J]. 食品工业科技, 2022, 43(5): 182–190.
SUN Y, LI X, LIU YX, *et al*. Process optimization of whole grain germinated brown rice toughness biscuits [J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(5): 182–190.

[31] 董玉玮, 顾鑫玥, 庄聪林, 等. HS-SPME-GC-MS 法分析 3 种加工工艺牛蒡茶特征性风味物质[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(12): 164–176.
DONG YW, GU XY, ZHUANG CL, *et al*. HS-SPME-GC-MS method was used to analyze the characteristic flavor substances of burdock tea with three processing techniques [J]. Food Research and Development, 2022, 43(12): 164–176.

[32] 徐莹, 张姗姗, 王艳梅, 等. 基于 HS-SPME-GC-O-MS 法测定大豆油中挥发性香气成分[J]. 食品工业, 2022, 43(9): 327–333.
XU Y, ZHANG SS, WANG YM, *et al*. Determination of volatile aroma components in soybean oil based on HS-SPME-GC-O-MS [J]. Food Industry, 2022, 43(9): 327–333.

[33] 陈志杰, 杨振东, 顾振新. 顶空固相微萃取气质联用检测灵芝菌丝体挥发性风味物质[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(2): 132–135.
CHEN ZJ, YANG ZD, GU ZX. Determination of volatile flavor compounds in *Ganoderma lucidum* mycelia by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Research and Development, 2010, 31(2): 132–135.

[34] 姚赛, 温海超, 陈奕锟, 等. 不同食养功能性成分对饼干营养属性、食味品质以及消化特性的影响[J]. 食品科学, 2025, 46(23): 127–138.
YAO S, WEN HC, CHEN YK, *et al*. Effects of different dietary functional components on the nutritional properties, taste quality and digestive characteristics of biscuits [J]. Food Science, 2025, 46(23): 127–138.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)