

# 全营养高浓缩型食用菌谷物饼干产品特性研究

吴香香, 闫 鸣, 蔡天成, 王帅康, 张俊筱, 潘 力\*

(南京财经大学食品科学与工程学院, 南京 210046)

**摘 要:** **目的** 研发一种全营养高浓缩型食用菌谷物饼干(全营养饼干)。**方法** 选用低筋粉、黄油、白砂糖、发芽糙米粉、蛹虫草粉、乳清蛋白及低聚果糖为原料, 研发出一种全营养高浓缩型食用菌谷物饼干, 按照国标测定全营养饼干的水分、碳水化合物、蛋白质、脂肪、膳食纤维及灰分等营养指标, 并与普通饼干进行比较; 利用电子鼻和顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术测定其风味成分, 同时表征其质构及色差等物理特性指标。**结果** 全营养饼干的碳水化合物含量相较于普通饼干下降了 13.57%, 但其膳食纤维含量显著提升, 总碳水化合物含量稳定, 蛋白质水平提升了 135.67%, 达到 16.45 g/100 g, 同时引入  $\gamma$ -氨基丁酸、虫草素和虫草多糖等活性成分, 口感更为酥脆。全营养饼干具有更为丰富的香气成分, 检测出 50 种挥发性风味物质, 以中长链和长链烷烃类、醛类及醇类为主, 全营养饼干挥发性成分中醛类、醇类、酯类及杂环和芳香族化合物含量较普通饼干显著提升, 并引入了 2-甲基丁醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃及 2-乙基-5-甲基吡嗪等食用菌特有的风味成分。**结论** 本研究研发出一种营养素供应齐全、香气风味独特的食用菌谷物烘焙食品, 实现了可食性资源的高效整合, 满足了人们对于对新型营养食品的需求, 推动了谷物烘焙产品的研发及全营养高浓缩食品的发展。

**关键词:** 饼干; 蛹虫草; 发芽糙米; 营养成分; 风味物质; 食用菌

## Characteristics of complete and optimum nutrition edible fungus grain biscuits

WU Xiang-Xiang, YAN Ming, CAI Tian-Cheng, WANG Shuai-Kang, ZHANG Jun-Xiao, PAN Li\*

(Food Science and Engineering College, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210046, China)

**ABSTRACT: Objective** To develop a kinds of complete and optimum nutrition edible fungus grain biscuit (complete & optimum nutrition biscuit). **Methods** Low-gluten flour, butter, white sugar, germinated brown rice flour, *Cordyceps militaris*, whey protein and fructo-oligosaccharides were used as materials to develop complete & optimum nutrition biscuits. The contents of water, carbohydrate, protein, fat, dietary fiber and ash were determined by national standards and compared with common biscuits. The flavor components were investigated by E-nose and headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). Meanwhile, the physical properties such as texture and color difference were characterized. **Results** The content of carbohydrate in complete & optimum nutrition biscuits decreased by 13.57% compared with that of common biscuits, but the content of dietary fiber was significantly increased, and the total carbohydrate content was stable. The protein level increased

基金项目: 江苏高校品牌专业资助(PPZY2015B152)

Fund: Supported by Brand profession of Jiangsu University (PPZY2015B152)

\*通讯作者: 潘力, 学士, 主要研究方向为功能食品。E-mail: 15051819912@163.com

\*Corresponding author: PAN Li, Bachelor, School of Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China. E-mail: 15051819912@163.com

by 135.67% which was up to 16.45 g/100 g, and  $\gamma$ -aminobutyric acid, cordycepin and *Cordyceps* polysaccharide were introduced resulting in a more crisp taste. The complete & optimum nutrition biscuits were rich in aroma components, detecting 50 kinds of volatile flavor substances. Medium and long chain and long chain alkanes, aldehydes and alcohols were the main volatile compounds. The contents of aldehydes, alcohols, esters, heterocycles and aromatic compounds were significantly higher than those of common biscuits, and 2-methyl butyraldehyde, 1-octen-3-ol, 2-pentylfuran and 2-ethyl-pyrazine and other edible fungi unique flavor components were introduced in complete & optimum nutrition biscuits. **Conclusion** This study has developed a unique nutrient supply, fragrant flavor of edible fungus cereal baking food, which has achieved the efficient integration of edible resources to meet the demand for new types of nutritious food for people, and promoted the development of cereal baking products and complete & optimum nutrition food.

**KEY WORDS:** biscuits; *Cordyceps militaris*; germinated brown rice; nutritional components; flavor components; edible fungi

## 1 引 言

随着社会的发展和居民生活水平的不断提高, 人们对于自身营养需求和合理膳食搭配的关注日益提升, 传统食品已不能满足人们快节奏的生活状态和对个性化营养食品的需求, 从而对可食性资源的个性化高效整合并打造新型营养健康食品产品显得尤为重要, 设计集安全性、健康性、方便性的营养个性化食品将是未来重要的发展方向。近年来, 食用菌和糙米谷物的产品开发日益增多, 方勇等<sup>[1]</sup>将金针菇和发芽糙米复配研发出了新型膨化产品并对其进行可溶性蛋白质含量、氨基酸含量和风味等品质特性测定; 齐琳琳<sup>[2]</sup>以干香菇为原料对其进行复水和调味后加工成深受消费者喜爱的休闲香菇脆片, 质地酥脆、色泽稳定; 刘志云等<sup>[3]</sup>将白豆沙和香菇粉进行复配制作出兼具豆类 and 香菇风味的曲奇, 并采用电子鼻和顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术对其进行风味成分分析。但以提供全面营养为理念, 将发芽糙米和食用菌原料结合, 并辅以多种营养素制作高浓缩营养型烘焙产品的研究却很少。

与精白米相比, 糙米具有更高的营养价值, 其含有的麸皮和胚乳具有更高的生物活性成分, 包括膳食纤维、 $\gamma$ -氨基丁酸( $\gamma$ -aminobutyric acid, GABA)、 $\gamma$ -谷维素和植物甾醇等<sup>[4]</sup>。研究表明, 糙米经发芽后可显著改善其口感和风味, 提高活性成分含量, 能够减少肥胖、糖尿病、心血管疾病等疾病风险<sup>[5]</sup>。蛹虫草又称北虫草, 低脂高蛋白, 氨基酸组成全面, 还含有虫草素、虫草多糖等活性成分, 具有抗疲劳、抗氧化、抗肿瘤及提高免疫力等功能活性<sup>[6]</sup>。将发芽糙米和蛹虫草 2 种原料相结合研发新产品, 可充分发挥谷物和食用菌的营养价值, 达到营养均衡。低聚果糖是一种具有低热值、低甜度的功能性低聚糖, 不易被人体所消化, 能够调节肠道菌群, 改善脂质代谢, 促进钙吸收<sup>[7]</sup>。乳清蛋白是一种低价蛋白替代品, 但其富含半胱氨酸和蛋氨酸、钙等其他矿物质元素, 脂肪和胆固醇含量均较低,

生物价值高于鸡蛋、牛肉等<sup>[8]</sup>, 可作用食品原料以丰富产品蛋白含量。

本研究将低筋小麦粉、发芽糙米粉和蛹虫草粉相结合, 并辅以低聚果糖和乳清蛋白, 对各原料进行科学配比, 烘焙出一种全营养高浓缩型食用菌谷物饼干(以下简称“全营养饼干”), 并通过普通饼干和全营养饼干 2 种产品在营养成分、质构、色差和风味等品质特性方面的对比, 对全营养饼干的营养和风味成分进行表征和评价。

## 2 材料与方 法

### 2.1 材料与试剂

发芽糙米(南京农垦生物科技有限公司); 蛹虫草(上海裕田农业科技有限公司); 低筋小麦粉(潍坊风筝面粉有限责任公司); 低聚果糖(武汉枫阳生物科技有限公司); 乳清蛋白(河南三化生物科技有限公司); 鸡蛋(南京苏果超市); 白砂糖(南京甘汁园糖业公司); 多美鲜黄油(上海高夫食品有限公司)。

### 2.2 仪器与设备

HK-180 型不锈钢粉碎机(广东旭朗机械设备有限公司); 101-3AS 型电热鼓风干燥箱(上海苏进仪器设备厂); TA-XT plus 型质构仪(英国 Stable Micro System 公司); CM-5 型色差仪(日本 Konika-Minolta 公司); FOX 3000 电子鼻系统(法国 Alpha M.O.S. 公司); 手动固相微萃取进样器(美国 Supelco 公司); 气相色谱-质谱联用仪 7890A(美国 Agilent 公司); Sinmag MB-823 烤箱(上海伊垒实业有限公司); Sinmag SM-101 搅拌机(上海伊垒实业有限公司)。

### 2.3 配料和工艺

#### 2.3.1 配 料

全营养饼干: 低筋粉 200 g, 发芽糙米粉 120 g, 蛹虫草粉 6 g, 黄油 175 g, 乳清蛋白 100 g, 低聚果糖 100 g, 鸡

蛋 250 g, 白砂糖 80 g。

普通饼干: 低筋粉 426 g, 黄油 175 g, 白砂糖 180 g, 鸡蛋 250 g。

2.3.2 工艺流程

材料准备: 选择干净无杂质的发芽糙米和风味浓郁的蛹虫草子实体, 干燥后进行粉碎处理, 过 60 目筛备用。

制作工艺: 将黄油融化后加入白砂糖和低聚果糖快速搅打至完全打发, 随后加入鸡蛋液中速搅打至乳化均匀, 改慢速档后加入已混匀的低筋粉、发芽糙米粉、蛹虫草粉和乳清蛋白, 继续搅打成均一的面团, 用环形饼干模具按压出形状一致的饼干坯进行焙烤(厚度约 0.5 cm), 烤至表面金黄、通体酥脆后, 冷却, 真空包装。焙烤参数为: 上火 170 ℃, 下火 140 ℃, 烘烤 20 min。

普通饼干的配料为低筋粉、黄油、鸡蛋及白砂糖, 制作工艺及焙烤参数同全营养饼干。

2.4 测定方法

2.4.1 营养品质测定

水分、脂肪、蛋白质、膳食纤维和灰分含量分别按照食品安全国家标准进行测定<sup>[9-13]</sup>, 碳水化合物根据热价计算公式计算。

2.4.2 质构测定

按照王颖周等<sup>[14]</sup>方法, 略作修改, 压缩率为 65%。每个样品测定 10 次平行取平均值。

2.4.3 色差测定

采用 CM-5 型色差仪测定每个样品的色差值, 测定 6 次取平均值。其中:  $L^*$ 表示样品明度,  $a^*$ 表示红绿相( $+a^*$ 表示红色,  $-a^*$ 表示绿色),  $b^*$ 表示黄蓝相( $+b^*$ 表示黄色,  $-b^*$ 表示蓝色)<sup>[15]</sup>。

2.4.4 电子鼻风味分析

按照何余勤等<sup>[16]</sup>方法并略作修改, 设置测定条件: 采集时间为 180 s, 气体流速为 150 mL/min; 顶空采集温度为 60 ℃, 进样量为 2500  $\mu$ L, 注射速率为 2500  $\mu$ L/s; 数据采集时间为 300 s, 延滞时间为 120 s。

2.4.5 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)风味分析

参照高永欣等<sup>[17]</sup>测定方法对样品进行风味成分分析。设置测试条件: GC 条件: DB-5MS 毛细管柱(30 m  $\times$  250  $\mu$ m, 0.25  $\mu$ m); 载气: He 气, 不分流进样, 流速 1.0 mL/min; 进样口温度: 250 ℃。柱温初始为 40 ℃, 保持 5.0 min, 随后以 6 ℃/min 升温至 200 ℃, 再以 10 ℃/min 升至 250 ℃保持 5 min。MS 条件: 离子源: 电子电离(electron inoization, EI)

模式; 电离能量 70 eV; 离子源温度 220 ℃, 四级杆温度 150 ℃; 质量扫描范围 35~400 u。

2.5 数据分析方法

采用 JMP 10、AlphaSoft V9.1 以及 Excel 2003 软件和 Origin8.0 对数据进行统计处理和显著性分析。

3 结果与分析

3.1 营养品质分析

全营养饼干在原料设计时, 一改传统酥性饼干“面粉+黄油+白糖”的配料组成, 在其基础上加入了发芽糙米粉和低聚果糖, 丰富了碳水化合物来源和种类, 提升了膳食纤维含量。由表 1 可得, 全营养饼干碳水化合物含量为 49.16 g/100 g, 相较于普通饼干下降了 13.57%, 但每 100 g 饼干中全营养饼干的膳食纤维含量比普通饼干高出 5.92 g, 提升了 302.04%, 总碳水化合物含量基本持平; 乳清蛋白和蛹虫草粉提供了更为多样的优质蛋白及功能活性物质, 使得蛋白含量较普通饼干提升了 135.67%, 达到了 16.45 g/100 g。我国膳食指南建议成年男子碳水化合物参考摄入量为 120 g/d, 蛋白质推荐摄入量为 65 g/d<sup>[18]</sup>。由此可见, 每天食用该全营养饼干 300 g 即可满足一成年男子的基本营养需求。

发芽糙米粉和低聚果糖都是饼干中膳食纤维强化的来源。膳食纤维在饼干中含量的提升能显著改善蛋白利用率及营养成分的可消化性<sup>[9]</sup>, 辅助改善血糖和血脂水平, 降低碳水化合物水解速度<sup>[20]</sup>, 实现饼干的持续供能及保健功能。传统酥性饼干的蛋白质主要源于鸡蛋, 由于蛋液在原料配比中含量相对固定, 导致普通饼干蛋白水平只处于 6.98 g/100 g 水平, 全营养饼干用乳清蛋白和蛹虫草粉代替了部分低筋粉, 在不改变面团性质的前提下, 提高了饼干中蛋白质的含量, 同时蛹虫草的添加引入了虫草素(3'-脱氧腺苷)及虫草多糖等功能活性物质<sup>[21]</sup>, 进一步实现营养素在本产品中的高浓缩及全覆盖。

3.2 风味物质分析

3.2.1 电子鼻雷达指纹图谱分析

烘焙食品的挥发性物质组成决定了其香气特性, 是区分不同烘焙产品风味品质的重要因素<sup>[22]</sup>。电子鼻是识别、分析和测定复杂香气和挥发性成分的人工嗅觉系统, 其利用 12 根 MOS 传感器组成阵列, 根据不同传感器对不同气体的交叉敏感性(表 2), 实现对检测对象中混合气体的分析。

表 1 普通饼干及全营养饼干营养成分比较( $n=3$ )

Table 1 Comparison of nutritional compositions between common biscuits and complete & optimum nutrition biscuits ( $n=3$ )

| 样品名称  | 水分(%)           | 碳水化合物(g/100 g)   | 脂肪(g/100 g)      | 蛋白质(g/100 g)     | 膳食纤维(g/100 g)   | 灰分(g/100 g)     |
|-------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 全营养饼干 | 5.31 $\pm$ 0.37 | 49.16 $\pm$ 0.72 | 20.26 $\pm$ 0.90 | 16.45 $\pm$ 0.50 | 7.88 $\pm$ 1.31 | 0.94 $\pm$ 0.02 |
| 普通饼干  | 4.62 $\pm$ 0.14 | 56.88 $\pm$ 0.48 | 28.72 $\pm$ 0.47 | 6.98 $\pm$ 0.11  | 1.96 $\pm$ 1.29 | 0.84 $\pm$ 0.04 |

表 2  $\alpha$ -Fox3000 气味指纹分析仪 12 根 MOS 传感器型号及其敏感性响应气体类型  
Table 2 Twelve MOS sensors and sensing range of  $\alpha$ -Fox3000 E-Nose

| 传感室类型      | 传感器编号 | 传感器型号    | 敏感性响应气体类型    |
|------------|-------|----------|--------------|
| Chamber CL | S1    | LY2/LG   | 氧化气体         |
|            | S2    | LY2/G    | 氨气/有机胺类、一氧化碳 |
|            | S3    | LY2/AA   | 乙醇           |
|            | S4    | LY2/GH   | 氨气/有机胺类      |
|            | S5    | LY2/gCTL | 硫化氢          |
|            | S6    | LY2/gCT  | 丙烷/丁烷        |
| Chamber A  | S7    | T30/1    | 有机溶剂         |
|            | S8    | P10/1    | 烃类、甲烷        |
|            | S9    | P10/2    | 甲烷           |
|            | S10   | P40/1    | 氟            |
|            | S11   | T70/2    | 芳香族化合物       |
|            | S12   | PA/2     | 乙醇、氨气/有机胺类   |

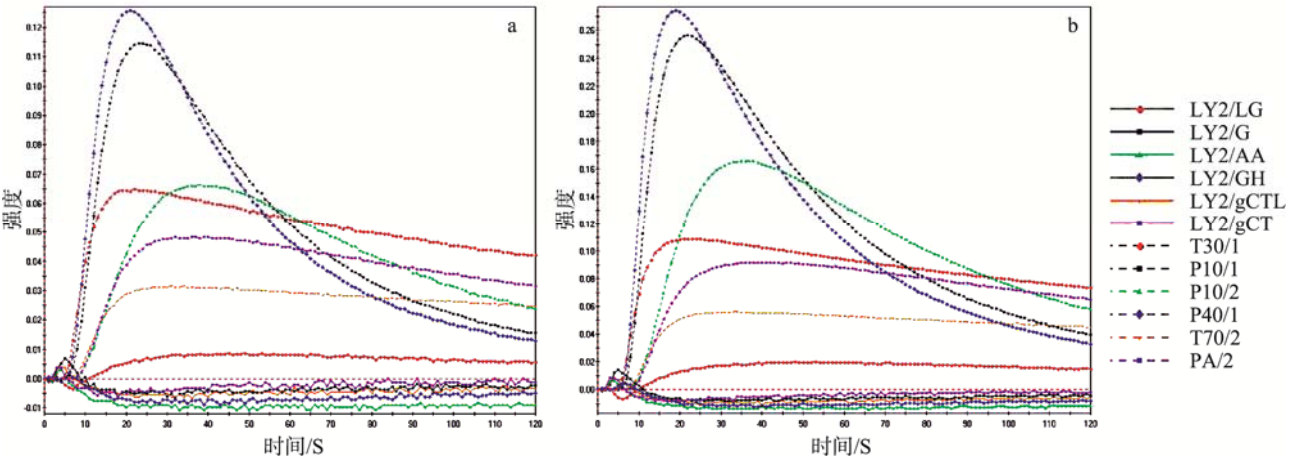


图 1 普通饼干(a)和全营养饼干(b)挥发性成分的电子鼻传感强度曲线  
Fig.1 E-Nose sensor intensity curves for volatile compounds in common biscuits (a) and complete & optimum nutrition biscuits (b)

图 1 为普通饼干及全营养饼干的挥发性风味物质经电子鼻分析后呈现的传感强度曲线, 响应强度曲线代表了各风味成分的香气强度, 传感器信号值的变化趋势与挥发性成分的强度差异一致。由图 1 可知, 2 种饼干的挥发性风味物质在传感室 Chamber CL 中的 6 根传感器(T30/1、P10/1、P10/2、P40/1、T70/2、PA/2)上得到响应, 且响应值有所不同, 可初步判定二者的挥发性风味物质存在差异。

根据 12 根传感器间的响应强度, 将各响应曲线的极值依次连接后生成雷达指纹图谱(图 2), 直观地反映了样品间的风味差异<sup>[23]</sup>。图 2 表明, 全营养饼干在 P10/1、P10/2、P40/1 3 根传感器上的香气强度极显著高于普通饼干

( $P<0.01$ ), 而在 T30/1、T70/2、PA/2 上呈现显著差异( $P<0.05$ ), 通过同表 2 中各传感器的敏感性响应气体类型进行比对可知, 添加了蛹虫草、发芽糙米粉、低聚果糖及乳清蛋白的全营养饼干在醇类、烃类及芳香族化合物等挥发性风味成分上相较于普通饼干含量更高。

3.2.2 电子鼻 PCA 主成分分析

将普通饼干和全营养饼干挥发性成分电子鼻响应信号的结果导入 PCA 分析软件, 得到如图 3 所示的主成分分析图。从图 3 中可知, 第一主成分贡献率为 87.602%, 第二主成分的贡献率为 12.378%, 总贡献率为 99.980%, 该 PCA 主成分分析结果可作为判定样品是否具有风味成分

差异的依据<sup>[24]</sup>。根据所获得的结果, 2 个样品在 PCA 图中处于不同象限, 即彼此分离, 直观地显示其挥发性成分存在差异, 再次说明了蛹虫草、发芽糙米、低聚果糖和乳清蛋白的添加丰富了全营养饼干的风味成分。

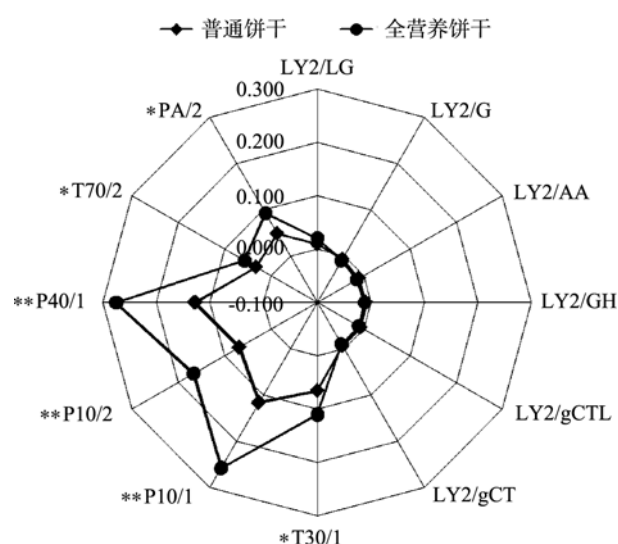


图 2 普通饼干和全营养饼干挥发性成分的雷达指纹图

Fig. 2 Radar fingerprint chart of volatile compounds in common biscuits and complete & optimum nutrition biscuits

注: 与普通饼干组相比, \*表示  $P < 0.05$ , \*\*表示  $P < 0.01$ 。

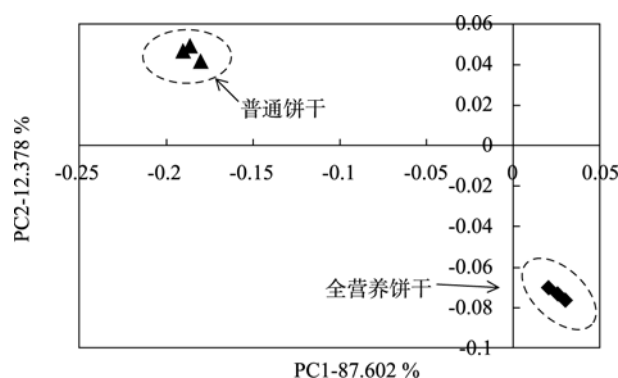


图 3 普通饼干和全营养饼干挥发性成分 PCA 主成分分析图

Fig. 3 PCA of E-Nose data for volatile compounds in common biscuits and complete & optimum nutrition biscuits

### 3.2.3 顶空固相微萃取-气质联用分析

普通饼干和全营养饼干样品经顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术 (headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS) 分析后得挥发性成分总离子流色谱图 (图 4), 2 种饼干总离子流色谱图所反映的挥发性物质及相

对含量对比结果见表 3。经物质匹配度筛选, 确定普通饼干和全营养饼干中分别有 36 种和 50 种挥发性风味物质, 该结果显示全营养饼干中发芽糙米、蛹虫草、乳清蛋白及低聚果糖的添加使其相较于普通饼干具有更为丰富的香气成分。全营养饼干的挥发性成分组成为烃类(47.27%)、醛类(22.51%)、醇类(9.91%)、酮类(8.94%)、酯类(2.65%)、酸类(0.55%)以及杂环和芳香族化合物(7.29%), 普通饼干主要的挥发性成分组成为烃类(56.07%)、醛类(20.95%)、醇类(1.77%)、酮类(16.46%)、酯类(1.08%)、酸类(2.69%)以及杂环和芳香族化合物(1.62%)。相较于普通饼干, 全营养饼干挥发性成分中醛类、醇类、酯类及杂环和芳香族化合物含量显著提升, 而烃类、酮类及酸类化合物相对含量较低。

蛹虫草具有丰富的挥发性呈味物质, 主要为醛类、醇类及呋喃和吡嗪等杂环类物质, 其中代表性特征风味成分有 2-甲基丁醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃及 2-乙基-5-甲基吡嗪等<sup>[25,26]</sup>。由于蛹虫草粉的添加, 全营养饼干中同时也引入了以上 4 种特征风味, 除此之外, 苯甲醛等食用菌普遍具有的香气成分<sup>[27]</sup>也被检测出, 由此赋予了全营养饼干果香、脂香以及坚果香等风味元素。醛类、呋喃类和吡嗪类等化合物是美拉德反应的重要产物之一, 游离氨基酸或小分子量寡肽与还原糖发生美拉德反应生成的吡嗪类化合物, 脂肪过氧化或碳水化合物在加热过程中降解产生呋喃类化合物<sup>[28]</sup>, 产生坚果、烤香或可可香等烘焙香气特征, 其化学反应温度在 120~150 °C 之间<sup>[3]</sup>, 全营养饼干的加工温度为上火 170 °C, 下火 140 °C, 处于该温度段, 进而在产生了 2,6-二甲基吡嗪和呋喃甲醛 2 种新的风味成分。

稻谷中的挥发性呈味物质一般具有含氧基团(醛基、酮基、羟基、羧基、酯基、内酯基等), 发芽糙米的主要风味成分为醛类, 其在烘焙后会产生不饱和醛类及含苯环的醛类, 全营养饼干醛类含量的提升除了蛹虫草的贡献外, 可能与发芽糙米的加入有关<sup>[29]</sup>。醇类/酯类风味成分在热加工过程中一般会随着温度的升高, 氧化分解为醛酮类物质, 然而相较于普通饼干, 全营养饼干保留有更多的醇类及酯类风味成分, 反而酮类物质含量有所降低, 该结果表明全营养饼干中醇类和酯类成分并未大量氧化或分解而产生酮类物质, 其原因可能是蛹虫草及发芽糙米材料中的抗氧化成分对风味物质起到了保护作用<sup>[30]</sup>。

烘焙产品的风味除了与具有发香基团的风味物质有关外, 还同挥发性成分的碳链结构有关, 不饱和化合物比饱和化合物的风味强度高, 随着碳链不饱和度的增高, 风味强度也随之提升, 同时, 碳链长度对香气呈现也有一定的影响<sup>[31]</sup>。全营养饼干的风味物质中烷烃类挥发性成分占到 47.27%, 其中主要由中长链( $C_6 \sim C_{11}$ )及长链( $C_{11} \sim C_{20}$ )饱和及不饱和烃类组成, 较普通饼干而言, 不饱和烃类比例上升, 香气强度更为馥郁。

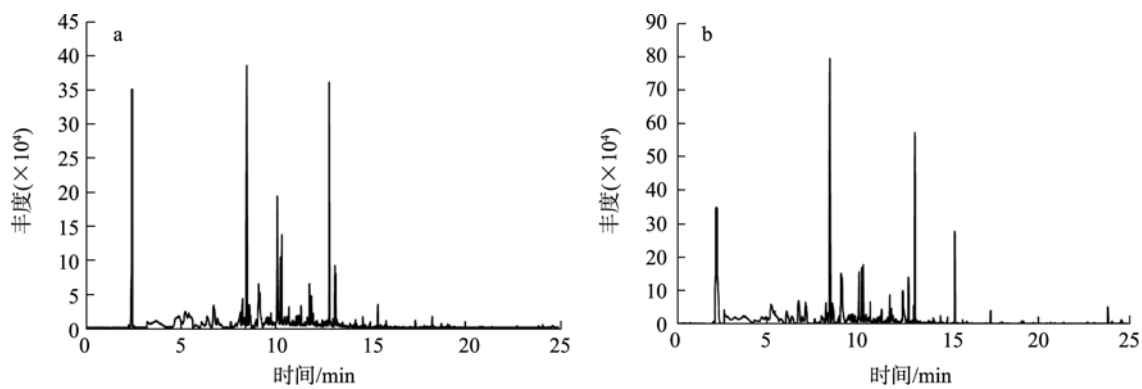


图 4 顶空固相微萃取-气质联用分析普通饼干(a)和全营养饼干(b)挥发性成分总离子流色谱图

Fig. 4 Total ion chromatograms of volatile components in common biscuits (a) and complete & optimum nutrition biscuits (b) by HS-SPME-GC-MS

表 3 HS-SPME-GC-MS 对普通饼干和全营养饼干挥发性风味成分的分析

Table 3 Analysis of volatile components in common biscuits and complete & optimum nutrition biscuits by HS-SPME-GC-MS

| 编号 | 类别 | 保留时间 min | 化合物名称               | 相对含量/% |       |
|----|----|----------|---------------------|--------|-------|
|    |    |          |                     | 普通饼干   | 全营养饼干 |
|    |    |          | 烃类总含量               | 56.07  | 47.27 |
| 1  |    | 8.480    | 2,2,4,6,6-五甲基庚烷     | 26.06  | 20.72 |
| 2  |    | 8.627    | 癸烷                  | 2.44   | 3.06  |
| 3  |    | 8.997    | 2,2-二甲基庚烷           | -      | 0.60  |
| 4  |    | 9.110    | 七甲基壬烷               | 4.99   | -     |
| 5  |    | 9.115    | 2,2,4,4-四甲基辛烷       | -      | 2.36  |
| 6  |    | 9.164    | 右旋萜二烯               | 5.38   | 6.83  |
| 7  |    | 9.484    | 2,2-二甲基戊烷           | -      | 0.67  |
| 8  |    | 9.513    | 2,2-二甲基庚烷           | 1.01   | -     |
| 9  |    | 9.518    | 2,5,6-三甲基癸烷         | -      | 0.86  |
| 10 |    | 9.686    | 4-乙基 - 辛烷           | 1.25   | -     |
| 11 |    | 10.257   | 十一烷                 | 4.48   | 3.14  |
| 12 |    | 11.251   | 2-甲基十一烷             | 0.90   | -     |
| 13 |    | 11.349   | 十八烷                 | 1.75   | -     |
| 14 | 烃类 | 11.556   | 10-溴-1-癸烯           | -      | 0.38  |
| 15 |    | 11.664   | (E)- 6-十二碳烯         | 1.01   | 1.86  |
| 16 |    | 11.792   | 十二烷                 | 2.77   | 0.44  |
| 17 |    | 11.979   | 2,6-二甲基 - 十一烷       | 1.44   | -     |
| 18 |    | 12.526   | 1-丁基-2-乙基 - 环丁烷     | -      | 4.23  |
| 19 |    | 12.644   | 正癸烯                 | -      | 0.46  |
| 20 |    | 12.649   | 4-甲基 - 十二烷          | 0.52   | -     |
| 21 |    | 12.727   | 4,8-二甲基 - 十一烷       | 0.63   | -     |
| 22 |    | 12.728   | 2,6,10,14-四甲基 - 十七烷 | -      | 0.24  |
| 23 |    | 14.603   | 十四烷                 | 0.76   | -     |
| 24 |    | 14.603   | 正十九烷                | -      | 0.50  |
| 25 |    | 18.255   | 十六烷                 | 0.66   | -     |
| 26 |    | 23.856   | 2,2-双对羟基苯基丙烷        | -      | 0.90  |

续表 3

| 编号 | 类别 | 保留时间 min | 化合物名称               | 相对含量/% |       |
|----|----|----------|---------------------|--------|-------|
|    |    |          |                     | 普通饼干   | 全营养饼干 |
|    |    |          | 醛类总含量               | 20.95  | 22.51 |
| 27 |    | 2.465    | 乙醛                  | 10.73  | -     |
| 28 |    | 2.510    | 丁醛                  | 0.25   | 6.30  |
| 29 |    | 2.797    | 2-甲基丁醛              | -      | 0.93  |
| 30 |    | 5.241    | 己醛                  | 1.72   | 5.84  |
| 31 |    | 5.782    | 糠醛                  | 0.19   | -     |
| 32 | 醛类 | 6.112    | 2-乙基丁烯醛             | 0.61   | -     |
| 33 |    | 6.944    | 庚醛                  | 1.43   | 1.75  |
| 34 |    | 7.889    | (E)-2-庚烯醛           | -      | 0.25  |
| 35 |    | 8.027    | 苯甲醛                 | -      | 0.62  |
| 36 |    | 10.330   | 壬醛                  | 4.46   | 5.96  |
| 37 |    | 11.886   | 癸醛                  | 1.56   | 0.87  |
|    |    |          | 醇类总含量               | 1.77   | 9.91  |
| 38 |    | 4.326    | 丙二醇                 | -      | 0.10  |
| 39 |    | 4.345    | 2,3-丁二醇             | -      | 0.11  |
| 40 |    | 4.370    | (S)-1,2-丙二醇         | -      | 0.14  |
| 41 |    | 4.749    | 戊醇                  | -      | 0.49  |
| 42 |    | 4.783    | 异戊醇                 | -      | 0.58  |
| 43 |    | 5.074    | (2R,3R)-(-)-2,3-丁二醇 | -      | 0.54  |
| 44 | 醇类 | 5.836    | 1-辛烯-3-醇            | -      | 2.82  |
| 45 |    | 6.393    | 正己醇                 | -      | 2.00  |
| 46 |    | 9.760    | 正辛醇                 | -      | 0.62  |
| 47 |    | 9.764    | 1-壬醇                | 0.93   | -     |
| 48 |    | 10.911   | 2-乙基 - 1-癸醇         | 0.33   | -     |
| 49 |    | 11.000   | 叶绿醇                 | 0.50   | -     |
| 50 |    | 12.826   | E-11,13-十四碳二烯-1-醇   | -      | 2.16  |
|    |    |          | 酮类总含量               | 16.46  | 8.94  |
| 51 |    | 3.189    | 甲基丙基甲酮              | -      | 0.18  |
| 52 |    | 6.742    | 2-庚酮                | 4.14   | 4.34  |
| 53 | 酮类 | 10.099   | 2-壬酮                | 9.41   | 3.61  |
| 54 |    | 13.131   | 甲基壬基甲酮              | 2.57   | 0.80  |
| 55 |    | 15.823   | 11-十二烯-2-酮          | 0.33   | -     |
|    |    |          | 酯类总含量               | 1.08   | 2.65  |
| 56 |    | 4.907    | 甲酸异丙酯               | -      | 0.51  |
| 57 |    | 15.828   | 邻苯二甲酸二甲酯            | -      | 0.26  |
| 58 |    | 9.686    | 草酸异壬酯               | -      | 0.75  |
| 59 |    | 11.021   | 草酸-6-乙基辛-3-基庚酯      | -      | 0.35  |
| 60 |    | 11.349   | 草酸-6-乙基辛-3-基异丁酯     | -      | 0.78  |
| 61 | 酯类 | 11.536   | 亚硫酸-2-丙基十四烷基酯       | 0.29   | -     |
| 62 |    | 11.935   | 亚硫酸-十五烷基-2-丙酯       | 0.20   | -     |
| 63 |    | 12.206   | 五氟丙酸十二烷基酯           | -      | 0.24  |
| 64 |    | 13.018   | 丁位辛内酯               | 0.59   | -     |
| 65 |    | 19.195   | 二氯乙酸壬酯              | -      | 0.64  |
|    |    |          | 酸类总含量               | 2.69   | 0.55  |
| 66 | 酸类 | 8.150    | 3-甲基戊酸              | 2.69   | -     |
| 67 |    | 8.116    | 庚酸                  | -      | 0.55  |

续表 3

| 编号 | 类别        | 保留时间 min | 化合物名称        | 相对含量/% |       |
|----|-----------|----------|--------------|--------|-------|
|    |           |          |              | 普通饼干   | 全营养饼干 |
|    |           |          | 杂环和芳香族化合物总含量 | 1.62   | 7.29  |
| 68 |           | 5.783    | 呋喃甲醛         | -      | 2.20  |
| 69 |           | 7.131    | 2,6-二甲基吡嗪    | -      | 1.68  |
| 70 | 杂环和芳香族化合物 | 8.713    | 2-戊基呋喃       | -      | 1.89  |
| 71 |           | 8.876    | 2-乙基-5-甲基吡嗪  | -      | 1.51  |
| 72 |           | 10.616   | 1,2,4,5-四甲苯  | 1.62   | -     |
|    |           |          | 化合物总数        | 36     | 50    |

注: “-”表示未检出。

表 4 普通饼干和全营养饼干物理特性比较  
Table 4 Comparison of physical characteristics between common biscuits and complete & optimum nutrition biscuits

| 样品    | 质构                          |                             | 色差                      |                         |                         |            |
|-------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
|       | 硬度                          | 脆度                          | $L^*$                   | $a^*$                   | $b^*$                   | $\Delta E$ |
| 普通饼干  | 3021.09±187.55 <sup>a</sup> | 2653.62±309.62 <sup>a</sup> | 69.85±0.40 <sup>a</sup> | 9.38±0.24 <sup>a</sup>  | 27.44±0.60 <sup>a</sup> | -          |
| 全营养饼干 | 2307.16±297.45 <sup>b</sup> | 3697.79±434.12 <sup>b</sup> | 66.21±0.52 <sup>b</sup> | 10.38±0.13 <sup>b</sup> | 27.35±0.40 <sup>a</sup> | 1.47±0.47  |

注: 同一类不同英文字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

3.4 物理特性分析

表 4 比较了 2 种饼干样品的物理特性指标。全营养饼干的硬度较普通饼干降低了 23.63%, 同时脆度升高了 39.35%, 即添加了蛹虫草、发芽糙米、低聚果糖及乳清蛋白后, 饼干的质构特性变得更为酥脆, 这可能是由于低聚果糖具有较好的凝胶特性, 添加后可以增强面团面筋的网络强度, 焙烤后的饼干更加酥脆, 形成更为疏松的结构和酥脆口感<sup>[32]</sup>。在色差结果中, 全营养饼干的  $a^*$  值显著大于普通饼干, 明度( $L^*$ )值下降, 即成品颜色偏红, 整体颜色显橘色, 这是由于蛹虫草原料色泽的影响, 使得全营养饼干呈现橘黄色泽。

4 结 论

本研究选用低筋粉、黄油、白砂糖、发芽糙米粉、蛹虫草粉、乳清蛋白及蛹虫草为原料, 研发出一种营养素供应齐全、香气风味独特的全营养高浓缩型食用菌谷物饼干。全营养饼干碳水化合物含量相较于普通饼干下降了 13.57%, 但其膳食纤维含量显著提升, 总碳水化合物含量稳定, 蛋白质水平提升了 135.67%, 达到 16.45 g/100 g, 同时引入  $\gamma$ -氨基丁酸、虫草素和虫草多糖等活性成分。全营养饼干具有更为丰富的香气成分, 检测出 50 种挥发性风味物质, 以中长链和长链烷烃类、醛类及醇类为主, 全营养饼干挥发性成分中醛类、醇类、酯类及杂环和芳香族化合物含量较普通饼干显著提升, 并引入了 2-甲基丁醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃及 2-乙基-5-甲基吡嗪等食用菌特有的风味成分。此外, 全营养饼干具备更为酥脆的口感, 由

于蛹虫草粉的添加色泽更为金黄。本产品实现了可食性资源的高效整合, 满足了人们对于对新型营养食品的需求, 推动了谷物烘焙产品的研发及全营养高浓缩食品的发展。

参考文献

[1] 方勇, 王红盼, 杨文建, 等. 金针菇复配发芽糙米挤压膨化工艺及产品品质特性[J]. 中国农业科学, 2016, 49(4): 727–738.  
Fang Y, Wang HP, Yang WJ, et al. Extrusion process of germinated brown rice compounded of *Flammulina velutipes* and extrudant quality properties [J]. Sci Agric Sin, 2016, 49(4): 727–738.

[2] 齐琳琳. 以干香菇为原料的香菇脆片加工工艺研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.  
Qi LL. Study on the processing of *Lentinus edodes* crisps using dried *Lentinus edodes* as raw materials [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.

[3] 刘志云, 胡秋辉. 香菇粉和豆沙复配曲奇特征风味物质分析[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 95–101.  
Liu ZY, Hu QH. Analysis of characteristic flavor components of cookies formulated with bean paste *Lentinus edodes* [J]. Food Sci, 2016, 37(20): 95–101.

[4] Cáceres PJ, Peñas E, Martínez-Villaluenga C, et al. Enhancement of biologically active compounds in germinated brown rice and the effect of sun-drying [J]. J Cere Sci, 2017, 73: 1–9.

[5] Wu FF, Yang N, Touré A, et al. Germinated brown rice and its role in human health [J]. Critic Rev Food Sci Nutr, 2013, 53(5): 451–463.

[6] 孟泽彬, 陈林会, 韩近雨, 等. 蛹虫草化学活性成分的研究进展[J]. 分子植物育种, 2015, 13(9): 2147–2154.  
Meng ZB, Chen LH, Han JY, et al. Research advances of the chemical active constituents of *Cordyceps militaris* [J]. Mol Plant Breed, 2015, 13(9): 2147–2154.

[7] 张志国. HPLC 法检测低聚果糖的研究[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 221–223.

- Zhang ZG. Study on determination of fructo-oligosaccharides by HPLC [J]. Food Sci, 2002, 23(8): 221–223.
- [8] 卢晓明, 王静波, 任发政, 等. 乳清蛋白在食品工业中的应用[J]. 广州食品工业科技, 2010, 16(1): 15–17.
- Lu XM, Wang JB, Ren FZ, *et al.* The utilization of whey protein in food industry [J]. Guangzhou Food Sci Technol, 2010, 16(1): 15–17.
- [9] GB 5009.3-2010 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
- GB 5009.3-2010 National food safety standard Determination of moisture in foods [S].
- [10] GB/T 5009.6-2003 食品中脂肪的测定[S].
- GB/T 5009.6-2003 Determination of fat in foods [S].
- [11] GB 5009.5-2010 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].
- GB 5009.5-2010 National food safety standard Determination of protein in foods [S].
- [12] GB 5009.88-2014 食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定[S].
- GB 5009.88-2014 National food safety standard Determination of dietary fiber in foods [S].
- [13] GB 5009.4-2010 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S].
- GB 5009.4-2010 National food safety standard Determination of ash in foods [S].
- [14] 王颖周, 仰振中, 潘阳, 等. 玉米曲奇饼干配方优化及其质构研究[J]. 包装与食品机械, 2013, 31(3): 22–24.
- Wang YZ, Yang ZZ, Pan Y, *et al.* Study on the formula and texture characteristics of corn cookies [J]. Packag Food Mach, 2013, 31(3): 22–24.
- [15] 王小平, 雷激, 孙曼兮. 麸皮酥性饼干制备的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2015, 36(22): 277–281.
- Wang XP, Lei J, Sun MX. Preparation process optimization of wheat bran crisp biscuit [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(22): 277–281.
- [16] 何余勤, 胡荣锁, 张海德, 等. 基于电子鼻技术检测不同焙烤程度咖啡的特征性香气[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 247–255.
- He YQ, Hu RS, Zhang HD, *et al.* Characteristic aroma detection of coffee at different roasting degree based on electronic nose [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2015, 31(18): 247–255.
- [17] 高永欣, 胡秋辉, 杨文建, 等. 香菇饼干加工工艺优化与特征香气成分分析[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 58–63.
- Gao YX, Hu QH, Yang WJ, *et al.* Production of *Lentinus edodes* biscuits and analysis of characteristic aroma components [J]. Food Sci, 2013, 34(8): 58–63.
- [18] 程义勇. 《中国居民膳食营养素参考摄入量》2013 修订版简介[J]. 营养学报, 2014, 36(4): 313–317.
- Cheng YY. Chinese DRIs 2013 introduction of revision [J]. Acta Nutr Sin, 2014, 36(4): 313–317.
- [19] Vitali D, Dragojević IV, Šebečić B. Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits [J]. Food Chem, 2009, 114(4): 1462–1469.
- [20] 赵丽, 李倩, 朱丹实, 等. 膳食纤维的研究现状与展望[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(5): 76–82.
- Zhao L, Li Q, Zhu DS, *et al.* Present situation and prospect on study of dietary fiber [J]. Food Ferment Technol, 2014, 50(5): 76–82.
- [21] Jing Y, Zhu J, Liu T, *et al.* Structural characterization and biological activities of a novel polysaccharide from cultured *Cordyceps militaris* and its sulfated derivative [J]. J Agric Food Chem, 2015, 63(13): 3464–3471.
- [22] 宋永, 张军, 李冲伟. 食品挥发性风味物质的提取方法[J]. 中国调味品, 2008, (06): 77–78.
- Song Y, Zhang J, Li CW. Extracting method of volatile compounds from food [J]. China Condiment, 2008, (06): 77–78.
- [23] 刘志云, 胡秋辉. 香菇粉和豆沙复配曲奇特征风味物质分析[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 95–101.
- Liu ZY, Hu QH. Analysis of characteristic flavor components of cookies formulated with bean paste *Lentinus edodes* [J]. Food Sci, 2016, 37(20): 95–101.
- [24] Zhou X, Chong Y, Ding Y, *et al.* Determination of the effects of different washing processes on aroma characteristics in silver carp mince by MMSE-GC-MS, e-nose and sensory evaluation [J]. Food Chem, 2016, 207: 205–213.
- [25] Park M, Lee W, Kim M. Identification and antibacterial activity of volatile flavor components of *Cordyceps militaris* [J]. Prev Nutr Food Sci, 1999, 4(1): 18–22.
- [26] 胡秋辉, 仲磊, 杨文建, 等. 蛹虫草复合谷物杂粮膨化产品品质特性[J]. 中国农业科学, 2016, 49(24): 4772–4784.
- Hu QH, Zhong L, Yang WJ, *et al.* Properties of the extruded products of cereal grains compounded with *Cordyceps militaris* [J]. Sci Agric Sin, 2016, 49(24): 4772–4784.
- [27] 李小林, 陈诚, 黄羽佳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析 4 种野生食用菌干品的挥发性香气成分[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 174–180.
- Li XL, Chen C, Huang YJ, *et al.* Analysis of volatile flavors in 4 dried wild edible fungi by HS-SPME-GC-MS [J]. Food Ferment Ind, 2015, 41(9): 174–180.
- [28] 蔡培钿, 白卫东, 钱敏. 美拉德反应在肉味香精中的研究进展[J]. 中国酿造, 2009, (5): 7–10.
- Cai PD, Bai WD, Qian M. Research process of Maillard reaction in meat flavor [J]. China Brew, 2009, (5): 7–10.
- [29] 姜雯翔, 赵黎平, 顾振新, 等. 发芽糙米焙炒过程中品质变化研究[J]. 食品科学, 2014, 35(19): 72–76.
- Jiang WX, Zhao LP, Gu ZX, *et al.* Quality changes of germinated brown rice during roasting [J]. Food Sci, 2014, 35(19): 72–76.
- [30] Siegmund B, Murkovic M. Changes in chemical composition of pumpkin seeds during the roasting process for production of pumpkin seed oil (Part 2: volatile compounds) [J]. Food Chem, 2004, 84(3): 367–374.
- [31] Bryant RJ, McClung AM. Volatile profiles of aromatic and non-aromatic rice cultivars using SPME/GC-MS [J]. Food Chem, 2011, 124(2): 501–513.
- [32] 刘宇, 程建军. 豆渣膳食纤维对酥性饼干特性的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 173–176.
- Liu Y, Cheng JJ. Effect of soybean dregs dietary fiber on properties of crisp biscuit [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(4): 173–176.

(责任编辑: 姚 菲)

## 作者简介



吴香香, 学士, 主要研究方向为功能食品。  
E-mail: 15051818775@163.com



潘 力, 学士, 主要研究方向为功能食品。  
E-mail: 15051819912@163.com