

复方钙制剂物性及感官评价体系的构建

李海枝¹, 刘义凤¹, 潘聪¹, 于有强¹, 崔立柱^{1,2}, 庞宾³, 何协勋⁴, 夏凯¹

(1. 中国食品发酵工业研究院有限公司, 功能主食创制与慢病营养干预北京市重点实验室, 北京 100015)

(2. 河北工程大学生命科学与食品工程学院, 河北邯郸 056038) (3. 锦乔生物科技有限公司, 安徽宿州 200233)

(4. 锦旗生物科技有限公司, 中国台湾 74442)

摘要: 为开发出一款溶解性较好, 口感易于接受的补钙产品, 本文基于对补钙产品原料的评价继而对各种原料进行复配, 且采用流化床制粒工艺改善复方钙制剂的流动性; 最后利用电子鼻、电子舌对复方钙制剂进行感官评价。结果显示: 复方钙制剂经高速制粒, 显著提高了粉体流动性, 流动性指数从 67.00 上升到 80.00; 制粒后的粉体粒径主要分布在 300.00 μm 左右, 其润湿性较好为 10.25 s; 与未制粒相比, 制粒后的复方钙制剂溶解性增强; 且复方钙制剂酸味、鲜味适宜, 苦味值较低, 口感较好; 其气味也可与其它补钙产品进行区分。通过对复方钙制剂物性以及感官的评价得出: 所研发的复方钙制剂是一款流动性好, 且口感气味良好的补钙产品; 同时本文通过对比复方钙制剂以及两种销售较好的补钙产品的物理与感官性质, 建立了一套较完整的评价体系。

关键词: 复方钙制剂; 粉体特性; 溶解性; 电子鼻; 电子舌

文章篇号: 1673-9078(2021)04-284-291

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.4.0882

Research and Development of Compound Calcium Preparation and Construction of Evaluation System

LI Hai-zhi¹, LIU Yi-feng¹, PAN Cong¹, YU You-qiang¹, CUI Li-zhu^{1,2}, PANG Bin³, HE Xie-xun⁴, XIA Kai¹

(1.China National Research Institute of Food Fermentation Industries Co. Ltd., Functional Staple Food Creation and Nutrition Intervention for Chronic Diseases in Beijing Key Laboratory, Beijing 100015, China)

(2.Hebei University of Engineering, Handan 056038, China) (3.Jinqiao Biotechnology Co. Ltd., Suzhou 200233, China)(4.Jinqi Biotechnology Co. Ltd., Taiwan 74442, China)

Abstract: In order to develop a calcium supplement product with good solubility and easy acceptability, through the evaluation of other raw materials, a compound calcium preparation product was obtained. Finally, the high-speed granulation process was used to improve the liquidity of compound calcium preparation, and the electronic nose and electronic tongue were used to evaluate the compound calcium preparations. The results showed that after fluidized bed granulation, the fluidity of the compound calcium preparation was significantly improved, and the fluidity index increased from 67.00±0.00 to 80.00±0.00. The particle size of the powder after granulation is mainly distributed around 300.00 μm . Its wettability is good in 10.25±0.05 s. Compared with the ungranulated compound calcium preparation, the solubility of the granulated compound calcium preparation is enhanced; and the compound calcium preparation has suitable sour taste and umami taste, lower bitterness value and better taste; its smell can also be distinguished from other calcium supplement brands. Through the physical properties and sensory evaluation, it is concluded that the compound calcium preparation developed is a calcium supplement product that has good fluidity, good taste and smell, and easy to be accepted. At the same time, the physical and sensory properties of compound calcium preparation and two kinds of calcium supplement products with good sales were compared, and a set of complete evaluation system was established.

Key words: compound calcium preparation; powder properties; solubility; electronic nose; electronic tongue

引文格式:

李海枝,刘义凤,潘聪,等.复方钙制剂物性及感官评价体系的构建[J].现代食品科技,2021,37(4):284-291

LI Hai-zhi, LIU Yi-feng, PAN Cong, et al. Research and development of compound calcium preparation and construction of evaluation system [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(4): 284-291

收稿日期: 2020-09-22

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019YFF0216704)

作者简介: 李海枝 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 功能食品评价; 通讯作者: 夏凯 (1985-), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向: 功能食品与临床营养

钙在人体生长发育过程中发挥着重要作用, 人体钙的短缺会引发一系列疾病, 例如佝偻病、婴幼儿手足抽搐, 老年人骨质疏松, 同时也会引发高血压、冠心病等, 因此钙制剂的研发越来越受到人们的关注^[1,2]。一般钙源的选择有四种, 分别为: 无机钙、有机酸钙、氨基酸螯合钙以及肽钙复合物^[3]。无机钙钙含量较多, 但在其吸收过程中会消耗大量胃酸; 有机酸钙含钙量低但口感较好; 而氨基酸螯合钙和肽钙复合物, 两者皆可以整体的形式被小肠吸收, 因此成为补钙产品的优选钙源^[4,5]。在补钙产品的研发过程中, 除钙源的选择之外, 促钙吸收原料的选择也极其重要。研究表明, 肠道菌群可使益生元发酵产生有机酸, 降低肠道 pH 值, 提高矿物质溶解度, 可被适当添加于补钙产品中以促进钙吸收^[6-8]。

产品的原料选择、口感以及气味一直是产品研发的要点。而针对口感及气味大多靠专业人士的感官评价去判别, 主观因素较大, 重复性较差。因此, 随着现代仪器的发展, 智能感官仿生仪器逐渐受到关注^[9]。近年来, 国内已开始利用电子鼻、电子舌对样品进行感官分析, 相比较人体感官评价更具有准确性。电子舌和电子鼻是由化学传感器和适宜的模式识别系统构成, 能从样品的响应信号得到样品的综合评价信息, 也就是“指纹数据”。它们不仅可以对不同样品的香气和口感信息进行简单的对比分析, 而且可以通过采集标样信息建立数据库, 利用化学计量学方法对未知样品进行定性和定量分析^[10,11]。

因此, 本文首先对复方钙制剂进行制粒, 对制粒前后的粒径以及粉体特性进行比较; 其次以所研发的复方钙制剂以及市场上销售较好的品牌为研究对象, 建立物理性质以及感官评价体系, 为补钙产品的研发提供评价基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

酪蛋白磷酸肽 (Casein Phosphopeptide, CPP;

表 1 补钙产品原料

Table 1 Calcium supplement product raw materials

样品编号	类别	原料
A	补钙产品	碳酸钙、乳酸钙、L-天门冬氨酸钙、水苏糖、CPP、维生素 D ₃ 、麦芽糊精
B	补钙产品	碳酸钙、VD ₃ 、麦芽糊精、葡萄糖、枸橼酸钠
C	补钙产品	乳酸钙、柠檬酸、蔗糖、胭脂红、桔子香精、聚乙烯吡咯烷酮、乙醇

1.2.2 复方钙制剂颗粒粒径的测定

利用激光粒度分析仪测定复方钙制剂的平均粒径及粒度分布, 采用干法分析^[19]。

Protein≥80%), 上海麦克林生化科剂有限公司; 乳酸钙, 盐城海嘉诺生物工程有限公司; 碳酸钙、L-天门冬氨酸钙、维生素 D₃, 上海励成营养产品科技有限公司; 麦芽糊精, 保龄宝生物股份有限公司; 水苏糖, 中国食品发酵工业研究院; 自制复方钙制剂 (A), 从药店购买市场销售量较高的, 排名较前的两款补钙产品: 品牌 B, 品牌 C。

PL203 型电子精密天平, 梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司; 多重光散射仪 Turbiscan Tower, 法国 Formulacion 公司; S3500 激光粒度分析仪, 美国麦奇克有限公司; BT-1001 型智能粉体特性测试仪, 丹东百特仪器有限公司; WBF-1 型多功能流化床实验机, 重庆英格制药机械有限公司; FOX 4000 型电子鼻, 法国 Alpha MOS 公司; TS-5000Z Handling Tutorial 型电子舌, 日本 Insent 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 复方钙制剂的制备

对于补钙而言, 钙源的选择是一个非常重要的环节, 因此选择不同阶段的钙源即碳酸钙、乳酸钙以及 L-天门冬氨酸钙并以一定比例进行混合。普通钙源进入胃部环境中会被解离出 Ca²⁺, 继而在肠道碱性环境中生成沉淀^[12,13], 因此需在复方钙制剂中添加防止 Ca²⁺ 沉淀的辅料, 有研究表明水苏糖可加快双歧杆菌的繁殖, 而双歧杆菌可产生 L-乳酸, 增加钙溶解度, 促进钙吸收^[14,15]; 维生素 D₃ 经过肝肾的羟化作用可转变成 1,25-二羟基维生素 D₃ (1,25(OH)₂D₃) 对钙吸收的跨细胞途径有一定促进作用^[16]; 此外还发现 CPP 可以有效防止 Ca²⁺ 沉淀^[17,18], 因此在配方中添加 CPP、水苏糖以及维生素 D₃。根据预实验, 且多次的试验筛选, 最终确定复方钙制剂配方如表 1 中 A 所示, 与其进行对比的产品配方为 B 和 C。

将表中自制样品 A 的各原料混合均匀后, 通过流化床制粒干燥后得到成品。高速制粒技术参数为: 风机设定频率为 20.00 Hz, 反吹次数为 3 次, 进风温度 50.00 °C。

1.2.3 复方钙制剂颗粒粉体特性测定

经过智能粉体特性测定仪的操作步骤, 分别安装不同的配件, 依次测出复方钙制剂颗粒的休止角、崩

溃角、差角、平板角、振实密度、松装密度等参数。

1.2.4 复方钙制剂粉末润湿性的测定

试验根据黄焘^[20]的方法进行了修改,准确称量 2 g 补钙产品,用自制的冲调性测定装置将其撒布于温度为 40 °C 的 200 mL 水中,然后用秒表测定其在静置条件下补钙产品颗粒全部润湿并没入水中所需要的时间。润湿时间越短,表明补钙产品在水中的润湿性越好。每个样品重复检测 5 次,结果取平均值,对比三种补钙产品的润湿性。

1.2.5 复方钙制剂粉末溶解性的测定

在样品池中加入 15 mL 蒸馏水,再将 2 g 补钙产品倒入样品池,不搅拌。测量温度为 25 °C,粉末倒入的同时,多重光散射仪(Turbiscan)开始对样品进行扫描,时间为 1 h。

1.2.6 复方钙制剂气味分析

以 B、C 两种产品为对照,将三种补钙产品样品分别以料液为 1:8 溶于 60 °C 温水后取 1.5 mL 于顶空瓶中,用电子鼻检测,检测参数如下:在 5000 r/min 的顶空振荡转速条件下,数据采集时间为 120 s 时足够观察各传感器响应的最大值;采样时间延迟为 1080 s 时,传感响应都能回到基线上,即已完成对传感器的净化;在顶空温度为 50 °C,注射体积 4000 μL 时,T/P 型传感器响应曲线的最大值基本都在 0.2~0.9 之间。因此,所选试验参数如下:仪器参数:采集时间(s): 120;数据采集延迟(s): 1080;进样量(μL): 5000;进样速度(μL/s): 1000;孵化期(s): 180;孵化温度(°C): 70;注射器温度(°C): 90。

1.2.7 复方钙制剂口味分析

电子舌技术是 20 世纪 80 年代中期发展起来的一种分析、识别液体“味道”的新型检测手段。电信号经过处理,最后反映样品味道特征的技术。操作方法为:样品配制如 1.2.6,冲调后放入电子舌样品杯,每种样品两杯,待测。每个样品循环测定 4 次,舍弃一次数据,取其中 3 次数据用于结果分析,测定的味觉包括酸味(Sourness)、甜味(Sweetness)、苦味(Bitterness)、咸味(Saltiness)、鲜味(Umami)、涩味(Astringency)、鲜回味(丰富度)(Richness)等。

1.3 数据处理

利用 Origin 8.5 软件对数据进行单因素方差分析,显著性水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 复方钙制剂物性评价

2.1.1 流化床制粒前后的粒径分布

通过激光粒度仪测出制粒前后复方钙制剂的粒径分布。从图 1 可知,制粒前的粒径分布有较明显的峰,分别在 80.00 μm 左右,而制粒后的复方钙制剂粒径普遍增大,主要在 300.00 μm 左右。粒径的增大可以大大减少包装与使用过程中粉尘飞扬的程度,避免损失,且可以增加钙制剂的流动性。

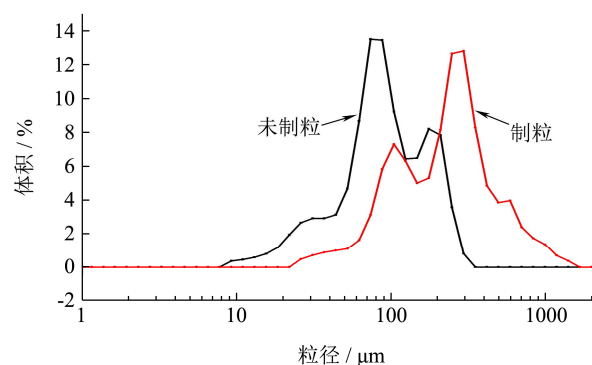


图 1 复方钙制剂制粒前后的粒径分布

Fig.1 Particle size distribution of compound calcium preparation before and after granulation

2.1.2 复方钙制剂制粒前后的粉体特性

表 2 钙制剂制粒前后的粉体特性

Table 2 Powder properties of calcium preparation before and after granulation

指标	制粒前	制粒后
休止角/°	41.18±2.23	43.55±0.36
崩溃角/°	26.93±2.91	40.91±1.09
差角/°	14.25±1.14	2.64±0.72
平板角/°	53.70±0.23	51.21±0.74
分散度/%	7.13±0.00	4.50±0.00
均齐度	3.12±0.02	3.29±0.01
松装密度/(g/cm ³)	0.47±0.00	0.36±0.00
振实密度/(g/cm ³)	0.65±0.00	0.37±0.03
压缩度/%	27.69±0.00	2.70±0.00
流动性指数	67.00±0.00	80.00±0.70
喷流性指数	63.75±1.06	45.50±1.77

通过智能粉体特性测定仪和激光粒度仪的联合使用,评价复方钙制剂制粒前后的粉体特性差异。从表 2 可以看出,未制粒的粉体粒度较小且较分散,制粒后的粉体粒度增大且分布集中。产品的流动性指数由休止角、平板角、均齐度和压缩度共同决定^[21],制粒后复方钙制剂的均齐度比制粒前有所升高,压缩度从未制粒的 27.69%降低至制粒后的 2.70%,这主要是由于制粒后粉体颗粒增大,颗粒间的孔隙度增大造成的,压缩度越小,粉体的流动性越好。由于粒径增大且趋于均匀,其流动性指数从 67.00 提高至 80.00,有利于

生产过程中产品的包装^[22]。

2.1.3 复方钙制剂润湿性比较

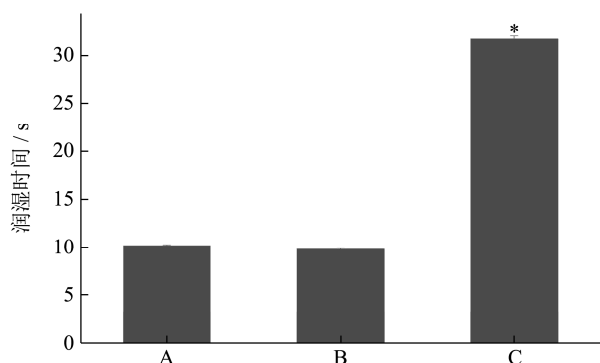


图2 不同品牌补钙产品润湿性比较

Fig.2 Comparison of wettability of calcium supplements of different brands

不同品牌补钙产品的润湿性见图 2，从图中可以看出，复方钙制剂 A，润湿时间是 10.25 s；与 A 相比，品牌 B 无显著性差异，且润湿时间为 9.80 s；而润湿

时间<10 s 时，表明样品具有良好的润湿性。反之，品牌 C 具有显著性差异 ($p<0.05$)，其润湿时间均>20.00 s。表明，复方钙制剂与品牌 B 具有良好的润湿性，而品牌 C 的润湿性表现不理想。

2.1.4 复方钙制剂溶解性比较

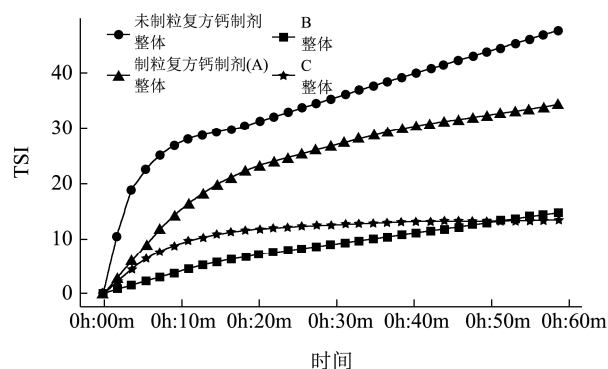
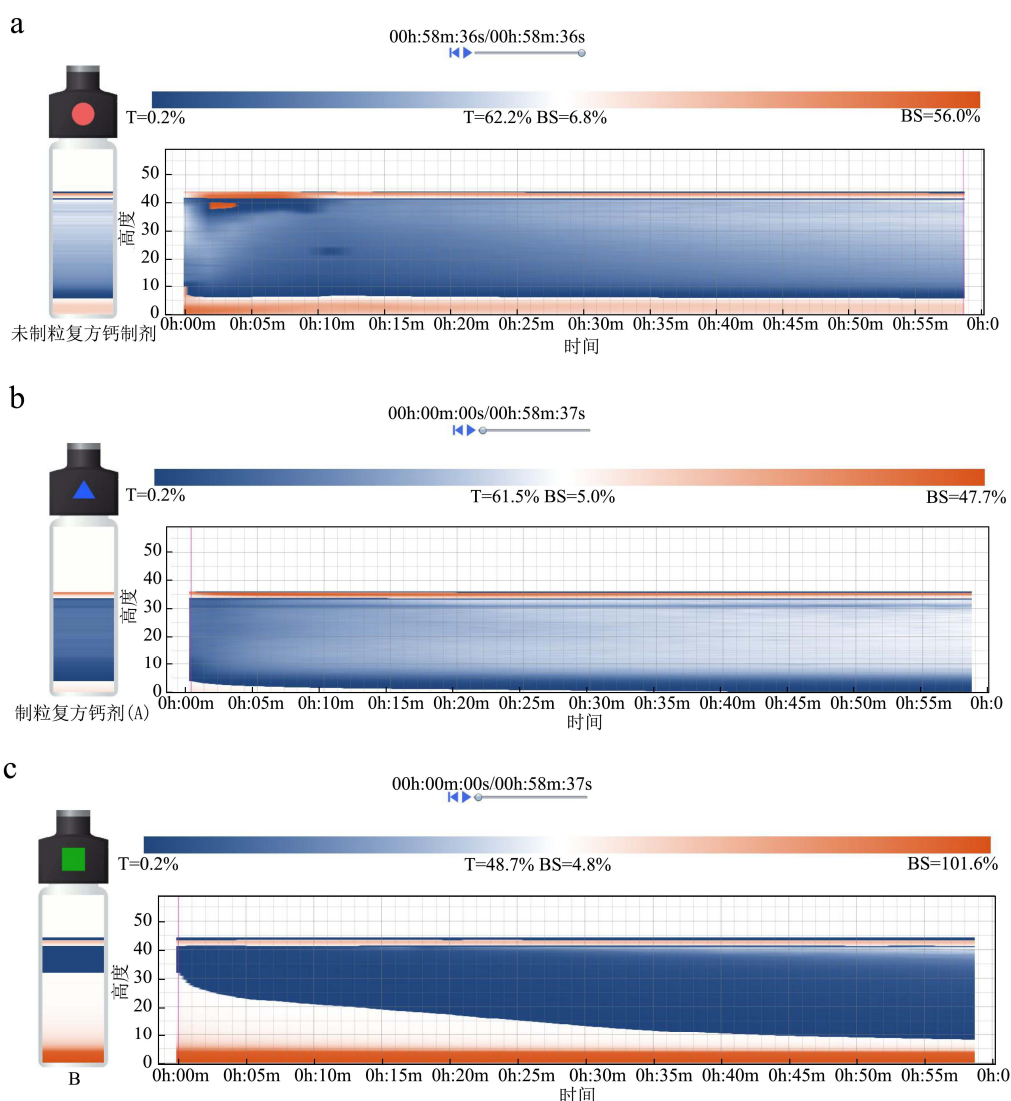


图3 不同品牌补钙产品稳定性动力学比较

Fig.3 Stability dynamics comparison of calcium supplements of different brands



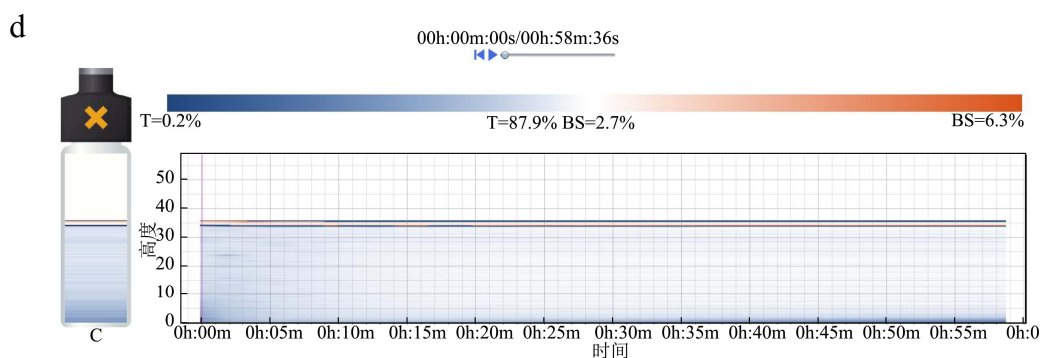


图4 不同品牌补钙产品的光扫描图

Fig.4 Optical scanning of calcium supplements of different brands

表3 电子舌测试味觉指标

Table 3 Electronic tongue test taste indicator

CH12	酸味 Sourness	苦味 Bitterness	涩味 Astringency	鲜味 Umami	丰富度 Richness	咸味 Saltiness	甜味 Sweetness
g	0.26	0.27	0.11	0.09	0.52	0.35	0.14
s1	41.49	3.43	4.29	13.33	1.28	14.79	4.17
s2	27.35	2.72	2.63	10.33	0.87	12.7	3.09
---Sensor's Ability to Distinguish---							
m1:g/s1×100%	0.62	7.91	2.59	0.69	41.11	2.35	3.05
m2:g/s2×100%	0.94	9.98	4.22	0.89	60.13	2.73	4.66

运用 Turbiscan 多重光散射仪对制粒前后以及与其它两种品牌的溶解性进行比较^[23]。Turbiscan 多重光散射仪可深入研究高浓度分散体系的不稳定性机理，其主要表征指标—稳定性指数（Turbiscan Stability Index, TSI）能够定量颗粒迁移速度及变化程度，TSI 值越小，所测样品越稳定。如图 3，复方钙制剂制粒后，TSI 小于制粒前，表明制粒后样品的稳定性高于制粒前。但其复方钙制剂与其它两种品牌的稳定性相比较略低。图 4 为不同补钙产品背散射光随时间变化的光扫描图，未制粒时，复方钙制剂背散射光较强，粉末溶于水后，沉入底部在较长时间内未溶解；而在制粒后透射光减弱，表明制粒后的复方钙制剂溶解性增强；三种补钙产品相比，品牌 B 底部背散射光更强，而品牌 C 整体透射光相比其它两种更强。在溶解性方面：品牌 C>制粒后复方钙制剂>未制粒复方钙制剂>品牌 B。

2.2 补钙产品感官评价分析

2.2.1 补钙产品口味分析

2.2.1.1 各项味觉指标的区分度

以复方钙制剂粉和 2 款对照品作为研究对象，对三次试验的结果进行分析，结果如表 3。当 m2 值小于 50.00 时，说明这几种样品的味觉指标有明显差异。除了丰富度差异不大，其他各项味觉指标区分度较好。

2.2.1.2 整体味觉指标主成分（principal component analysis, PCA）分析

图 5 为二维主成分得分图，横坐标代表主成分 PC1，纵坐标代表主成分 PC2，图中的一个点代表一个检测样品，主成分的贡献率代表主成分所包含的原始信息量。图中 PC1 的贡献率为 96.40%，PC2 的贡献率为 3.35%，总贡献率为 99.75%，此数据说明主成分已能较好地反映原来多指标的信息，且复方钙制剂与其它两种对照品的味觉指标有一定的差异性。

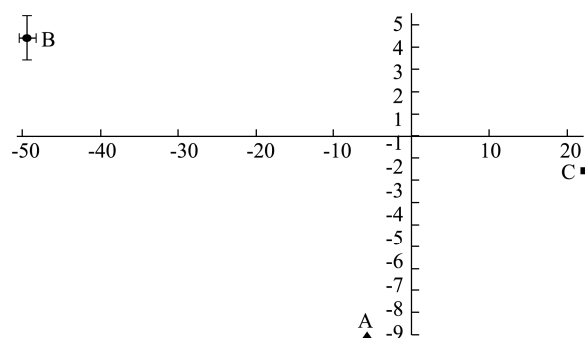


图5 味觉指标 PCA 分析

Fig.5 PCA analysis of taste indicators

2.2.1.3 复方钙制剂与对照品口味分析结果

通过对复方钙制剂与市售 2 款产品的 9 种味道雷达图图 6 的分析表明。所有钙产品的酸味和鲜味分散较开，说明钙产品在这两种味道上可以区分的开，其

中复方钙制剂的酸味和鲜味居中；而 A 的咸味与 C 接近，略低于 B；其次，三种产品的甜味、苦味、涩味以及丰富度接近。总体分析可知：补钙产品 A 酸味、鲜味适宜，苦味值较低，口感较好。

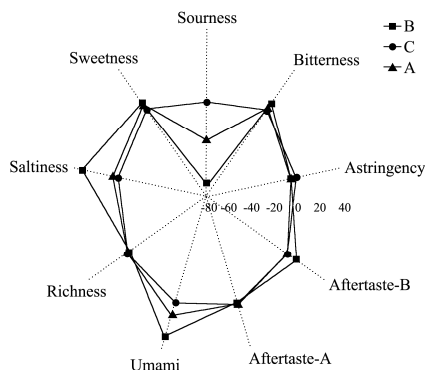


图 6 三种样品的电子舌雷达图

Fig.6 Electronic tongue radar map of the three samples

2.2.1.4 复方钙制剂与对照品具体味觉特征分析

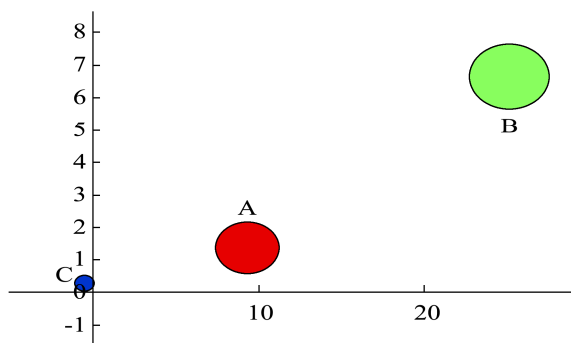


图 7 三种样品鲜苦甜味道的比较

Fig.7 Comparison of fresh sweet and bitter tastes of three samples

图 7 为三种钙产品的鲜味与苦味以及甜味的三维味觉图。从图可以看出，电子舌可以有效区分不同钙产品的鲜味与苦味以及甜味的味感差异。图中横坐标代表鲜味，纵坐标代表苦味，气泡的大小代表甜度，数值越大代表相应的味觉值越强。因此图中表明，复方钙制剂的苦味、鲜味以及甜味介于市场上销售良好的两种钙产品之间，口感温和，甜味适中，易于接受。

2.2.2 复方钙制剂气味分析

2.2.2.1 样品气味的主成分分析 (PCA)

在利用电子鼻分析样品气味时，主成分分析中的贡献率越大，主成分则可以更好的反应气味指标的信息。图 8 为 3 个补钙产品的气味主成分分析图，第一主成分和第二主成分的总贡献率达到了 99.95%。一般情况下两个主成分贡献率超过 70.00%即可使用，因此电子鼻足可以收集样品信息。从主成分分析图中可以看出，复方钙制剂 A 与品牌 B 气味接近，而 C 在主成分 PC1 左侧，与 A、B 区分度较明显。从三种样

品的雷达图图 9 可以看出，复方钙制剂 A 与品牌 B 在所有传感器上均不能较好的区分，但两者与品牌 C 的区分度较大，推测可能是由于复方钙制剂未添加香精且原料中有机物含量少于品牌 C 的缘故。以上结果表明，所研制的复方钙制剂气味趋于大众化，容易被大部分消费者接受。

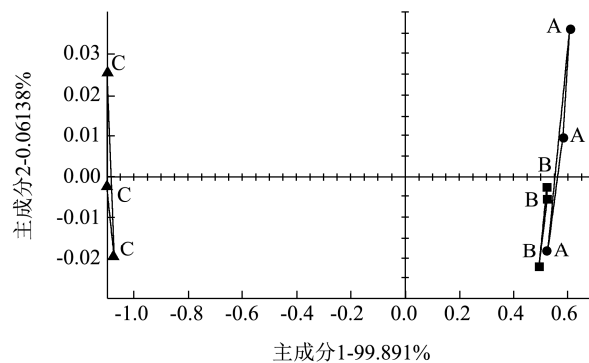


图 8 气味的 PCA 分析

Fig.8 PCA analysis of odor

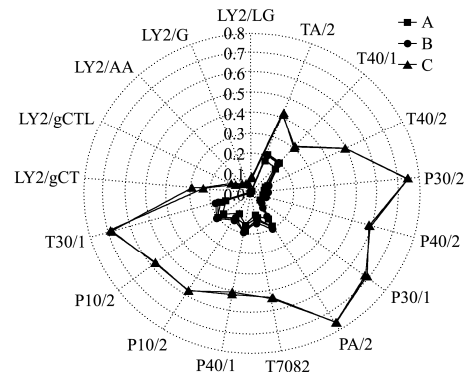


图 9 三种样品的电子鼻雷达图

Fig.9 Electronic nose radar diagram of three samples

2.2.2.2 样品气味的判别因子分析 (discriminant factor analysis, DFA)

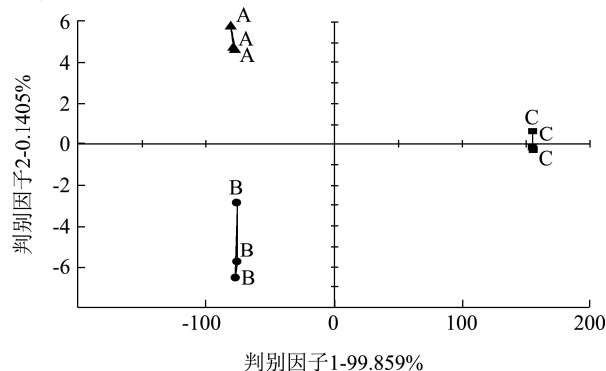


图 10 判别因子分析

Fig.10 DFA analysis of odor analysis

判别因子分析(DFA)是可以使不同钙类数据的差异尽量扩大，同类数据尽可能的差异尽量缩小的一种分类技术。图 10 中时三种补钙产品的气味 DFA 分析图，分析得到判别因子 1 和 2 的贡献率分别为 99.86%和

0.14%，表明这三种补钙产品的气味可以实现有效区分和判别。

3 结论

3.1 本文复方钙制剂通过高速制粒的生产工艺显著提高了粉体的流动性，流动性指数从 69.00 上升到 80.00；制粒后的粉体粒径主要分布在 300.00 μm 左右，提高了产品的流动性，更利于包装。对比三种补钙产品，复方钙制剂 A 与品牌 B 的润湿性好皆在 10.00 s 左右，而品牌 C 的润湿性较差；制粒后复方钙制剂的稳定性与溶解性皆处于品牌 A 与品牌 B 之间。最后，利用电子鼻和电子舌对复方钙制剂以及市场上销售良好的两款补钙产品进行检测对比得出，复方钙制剂口感温和，甜味适中，且气味趋于大众化，整体是易于让消费者接受的。

3.2 本文通过对比不同补钙产品的粉体特性、溶解性以及润湿性等物理性质，以及对气味和口感的感官评价，建立了一套较完整的补钙产品的评价体系。通过此评价体系，可以确保所研发的补钙产品在生产过程中是否有利于包装，运输；是否符合消费者口感，为补钙产品的研发以及加工提供理论依据。

参考文献

- [1] Weaver C M. Calcium supplementation: is protecting against osteoporosis counter to protecting against cardiovascular disease [J]. *Current Osteoporosis Reports*, 2014, 12(2): 211-218
- [2] 刘珉.探讨钙对人体内的作用以及吸收机理[J].*中国冶金工业医学杂志*,2011,1:121-122
LIU Min. Objective to investigate the effect of calcium on human body and its absorption mechanism [J]. *Chinese Medical Journal of Metallurgical Industry*, 2011, 1: 121-122
- [3] 蒋金来,王令充,吴皓,等.钙制剂研究进展[J].*食品工业科技*, 2012,33(11):379-382
JIANG Jin-lai, WANG Ling-chong, WU Hao, et al. Research progress in Calcium preparation [J]. *Ence and Technology of Food Industry*, 2012, 33(11): 379-382
- [4] 赵梓月,王思远,廖森泰,等.多肽螯合钙的研究进展[J].*食品研究与开发*,2020,41(5):200-206
ZHAO Zi-yue, WANG Si-yuan, LIAO Sen-tai, et al. Progress in research on peptide chelated calcium [J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(5): 200-206
- [5] Kim J H, Ahn B, Choi S G, et al. Amino acids disrupt calcium-dependent adhesion of stratum corneum [J]. *PLoS One*, 2019, 14(4): e0215244
- [6] Whisner C M, Martin B R, Nakatsu C H, et al. Soluble maize fibre affects short-term calcium absorption in adolescent boys and girls: a randomised controlled trial using dual stable isotopic tracers [J]. *British Journal of Nutrition*, 2014, 112(3): 446-456
- [7] Raschka L, Daniel H. Mechanisms underlying the effects of inulin-type fructans on calcium absorption in the large intestine of rats [J]. *Bone*, 2005, 37(5): 728-735
- [8] Gibson G R, Hutkins R W, Sanders M E, et al. The international scientific association for probiotics and prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics [J]. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 2017, 14(8): 491-502
- [9] 史波林,赵镭,汪厚银,等.智能感官分析技术在茶叶品质检测中的应用[J].*食品科学*,2009,19:351-355
SHI Bo-lin, ZHAO Lei, WANG Hou-yin, et al. Application of intelligent sensory technique in evaluation of tea quality [J]. *Food science*, 2009, 19: 351-355
- [10] 任迪峰.现代食品加工技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2015:165-189
REN Di-feng. *Modern Food Processing Technology* [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2015: 165-189
- [11] 苑鹏,朱思樾,王雪,等.智能感官技术在工程米研究中的应用[J].*食品与发酵工业*,2015,41(8):251-254
YUAN Peng, ZHU Si-yue, WANG Xue, et al. Application of the intelligent sensory in engineering rice [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2015, 41(8): 251-254
- [12] Hoenderop J G J, Nilius B, Bindels R J M. Calcium absorption across epithelia [J]. *Physiological Reviews*, 2005, 85(1): 373
- [13] 张经坤,张泽民,于傲.人体钙吸收理论探讨[J].*科学通报*, 2000,45(10):1114-1120
ZHANG Jing-kun, ZHANG Ze-min, YU Ao. Theoretical study on calcium absorption in human body [J]. *Chinese Scientific Bulletin*, 2000, 45(10): 1114-1120
- [14] Li T, Lu X, Yang X. Stachyose-enriched α -galactooligosaccharides regulate gut microbiota and relieve constipation in mice [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(48): 11825-11831
- [15] 杨世丽,李海芳,陈科元,等.水苏糖对圈养猕猴肠道菌群及血液生理生化指标的影响[J].*野生动物*,2018,39(3):513-519
YANG Shi-li, LI Hai-fang, CHEN Ke-yuan, et al. Influence of stachyose on the intestinal flora and blood physiological and biochemical indexes of captive macaques (*Macaca*

- mulatta*) [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2018, 39(3): 513-519
- [16] Lewis J R, Sim M, Daly R M. The vitamin D and calcium controversy [J]. Current Opinion in Rheumatology, 2019, 31(2): 91-97
- [17] Cao Y, Miao J, Liu G, et al. Bioactive peptides isolated from casein phosphopeptides enhance calcium and magnesium uptake in caco-2 cell monolayers [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(11): 2307-2314
- [18] Liu G, Sun S, Guo B, et al. Bioactive peptide isolated from casein phosphopeptides promotes calcium uptake *in vitro* and *in vivo* [J]. Food & Function, 2018, 9(4): 2251-2260
- [19] 于占英.激光粒度分析仪在生产中的应用[J].中国科技博览, 2012,8:43-44
YU Zhan-ying. Application of laser particle size analyzer in production [J]. China Science and Technology Expo, 2012, 8: 43-44
- [20] 黄焘,储小军,李归浦,等.粉体粒度分布对婴儿配方奶粉冲调性的影响[J].中国食品学报,2016,6:122-128
HUANG Tao, CHU Xiao-jun, LI Gui-pu, et al. Effect of particle size distribution on the rehydration ability of infant formula [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 6: 122-128
- [21] 吴淼,康建平,刘建,等.杜仲雄花代餐粉冲调特性改良[J].中国食品添加剂,2020,31(1):118-123
WU Miao, KANG Jian-ping, LIU Jian, et al. Improvement of flushing and blending characteristics of eucommia male flower meal replacement powder [J]. Chinese Food Additive, 2020, 31(1): 118-123
- [22] Tamrakar A, Devarampally D R, Ramachandran R. Advanced multiphase hybrid model development of fluidized bed wet granulation processes [J]. Computer Aided Chemical Engineering, 2018, 41: 159-187
- [23] Jinjie Y, Guoqiang S, Shengnan W, et al. Application and research process of turbiscan analyzer in evaluating the instability of food emulsification system [J]. Journal of Bohai University (Natural ence Edition), 2019, 40(3): 217-223

(上接第 156 页)

- [23] 孟天真.中式烹饪对马铃薯抗性淀粉的影响研究[D].杭州:浙江大学,2012
MENG Tian-zhen. Effect of Chinese cooking methods on potato resistant starch [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012
- [24] 肖永霞,邵秀芝,王秀丽.老化条件对抗性淀粉形成的影响[J].中国酿造,2009,204(3):114-116
XIAO Yong-xia, SHAO Xiu-zhi, WANG Xiu-li. Influences of retrograde condition on the formation of wheat resistant starch [J]. China Brewing, 2009, 204(3): 114-116
- [25] 杨玉玲,张沫,陈银基,等.绿豆淀粉凝胶的质构特性和超微结构研究[J].中国粮油学报,2014,29(4):36-41
YANG Yu-ling, ZHANG Mo, CHEN Yin-ji, et al. Textural properties and microstructure of starch gel from mung bean [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(4): 36-41
- [26] 刘芳,皇高峰,王青,等. γ -聚谷氨酸对面条面团流变学特性和微观结构的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(14):85-90
LIU Fang, HUANG Gao-feng, WANG Qing, et al. Effect of poly- γ -glutamic acid on rheological properties and microstructure of noodle dough [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(14): 85-90

(上接第 261 页)

- [18] 易扬.猪肉中氟苯尼考的胶体金免疫层析检测方法的建立[D].南昌:南昌大学,2016
YI Yang. Development of a colloidal gold immunochromatographic assay for detection of florfenicol in pork [D]. Nanchang: Nanchang University, 2016
- [19] Calori-Domingues, Iwahashi P, Ponce Gloria, et al. Aflatoxin B₁ and zearalenone in soybeans: occurrence and distribution in whole and defective kernels [J]. Food Addit Contam Part B Surveill, 2018, 11(4): 273-280
- [20] 张艺,金坚,张珏,等.快速同时检测玉米赤霉烯酮和脱氧雪腐镰刀菌烯醇的研究[J].中国生物工程杂志,2009,29(11):82-88
ZHANG Yi, JIN Jian, ZHANG Yu, et al. Rapid simultaneous detection of zearalenone and study on deoxynivalenol [J]. China Biotechnology, 2009, 29(11): 82-88
- [21] 郭明明,周衍,周剑波,等.荧光微球时间分辨免疫层析技术定量检测甲胎蛋白的研究[J].免疫学杂志,2015,31(10):897-901
GUO Ming-ming, ZHOU Yan, ZHOU Jian-bo, et al. Study on the quantitative detection of alpha-fetoprotein by fluorescent microsphere time-resolved immunochromatography [J]. Immunological Journal, 2015, 31(10): 897-901