DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2023.05.017

3种酶源助消化功能食品的开发与表征

杜月红,田晓静,郭晨,汪洋,张欢,邢金锋,刘新柱,王稳航*
(天津科技大学 食品科学与工程学院,天津 300457)

摘　要:外源性水解酶具有助消化的功能,可作为胃肠道疾病患者的日常饮食补充剂,促进人体消化吸收功能。该文选取天然含蛋白酶的木瓜、菠萝和生姜制备保留酶活性的固体饮粉,利用阴离子交换树脂吸附菠萝中的酸,用70%乙醇处理去除生姜中的部分姜辣素,以提升口感,并研究两种处理对得率、基本成分、酶活力和感官评分的影响。结果表明,阴离子交换树脂对于降低菠萝粉的酸味有积极的影响,乙醇提取也明显降低了生姜粉中的姜辣素含量,但是两者的酶活分别降低了4.88%和44.09%左右。感官评定结果表明,木瓜粉和菠萝粉的接受度更高。

关键词:木瓜;菠萝;生姜;冷冻干燥;蛋白酶;助消化功能

Development and Characterization of Three Enzyme-derived Foods with Auxiliary Digestive Functions

DU Yue-hong, TIAN Xiao-jing, GUO Chen, WANG Yang, ZHANG Huan, XING Jin-feng, LIU Xin-zhu, WANG Wen-hang*
(College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: Exogenous hydrolase has the function of helping digestion, and can be used as a daily dietary supplement for patients with gastrointestinal diseases to promote digestion and absorption of human body. Papaya, pineapple and ginger (containing natural protease) were selected to prepare solid drinking powder, and the protease activity was retained. To enhance the taste, anion exchange resin was used to adsorb the acid in the pineapple, and 70% ethanol was used to remove some of the gingerol from ginger. Next, the effects of the two treatments on yield, basic components, enzyme activity and sensory score were studied. The results showed that anion-exchange resin had a positive effect on reducing the acidity of pineapple powder, the content of gingerol in ginger powder was significantly reduced by ethanol, but the enzyme activity of the two decreased by 4.88% and 44.09%, respectively. Sensory evaluation results showed that papaya powder and pineapple powder were more acceptable.

Key words: papaya; pineapple; ginger; freeze drying; protease; auxiliary digestive function

引文格式:
杜月红,田晓静,郭晨,等. 3种酶源助消化功能食品的开发与表征[J].食品研究与开发,2023, 44(5):113-118.
DU Yuehong, TIAN Xiaojing, GUO Chen, et al. Development and Characterization of Three Enzyme-derived Foods with Auxiliary Digestive Functions[J]. Food Research and Development, 2023, 44(5):113-118.

在正常进食过程中,所有食物均需经过胃肠道消化过程,包括口腔、胃、小肠和大肠等,这些部位分布着各种各样的酶,高分子量物质(甘油三酯、蛋白质、多糖)在这些酶的作用下转化为低分子量化合物(双甘油三酯、单甘油三酯、脂肪酸、多肽、氨基酸、低聚糖、单糖)[1]。补充外源水解酶能克服抗营养因子的不利影响和改善饮食成分消化,已成为一种常用的促进食物消化吸收和提高营养物质生物利用度方法。在各种食品中添加酶制剂可以使其具有助消化功能,如在饼干中加入中性蛋白酶、木瓜蛋白酶和淀粉酶等,以促进肠

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划项目(2022BFH03003)
作者简介:杜月红(1996—),女(汉),硕士研究生,研究方向:食品酶及应用。
*通信作者:王稳航(1977—),男(汉),研究员,博士,研究方向:食品大分子与软物质科学。

道蠕动和消化液的分泌[2]。在临床上，复方消化酶可用于与莫沙必利协同治疗功能性消化不良，疗效确切，可有效提高患者的生活质量，减轻不良反应发生率[3]。Oben等[4]的研究表明，在乳清浓缩蛋白中添加食品蛋白酶，可以明显提高人体餐后血清氨基酸水平，促进蛋白质的消化吸收。此外，许多植物中含有各种天然水解酶，如木瓜、菠萝和生姜中含有巯基(半胱氨酸)蛋白酶[5]，可用于开发酶源食品以提高食物的消化率和生物利用度，改善消化吸收作用[6-8]。

保持酶源食品较高的酶活性是产品开发中需要考虑的首要问题，6~8分熟的菠萝果实中蛋白酶含量较高，但有机酸含量也较高，口感较差，阴离子树脂是一种分子中含有碱性基团的离子交换树脂，可用于吸附各种有机酸，包括苹果酸、挥发性脂肪酸、水中的甲酸和益生菌发酵中的乳酸等[9-11]。生姜中含有不挥发性的姜辣素，其主要成分包括姜酚类、姜烯酚类、姜油酮类、姜酮、姜二酮等，具有辛辣、刺鼻的味道[12-13]。乙醇可用于提取生姜中的姜辣素，从而降低其辛辣味道，具有效率高、设备简单、无毒和易回收等优点[14]。

本文利用阴离子交换树脂吸附菠萝中的酸，利用乙醇去除部分生姜中的姜辣素，通过冷冻干燥和粉碎技术制备木瓜粉、菠萝粉和生姜粉3种酶源食品，并探究两种处理分别对菠萝粉和生姜粉的性质和酶活力的影响，以期为酶源食品的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 原料与设备

番木瓜：购自广西，70日~100日龄果实；菠萝：购自湛江徐闻，品种为“巴厘”，采收时间为7月份；生姜：购自山东昌邑，采收期为10月下旬；大孔苯乙烯系弱碱性阴离子交换树脂(YZA354FD)：杭州泳洲水处理科技有限公司；酪氨酸、香草醛：北京索莱宝科技有限公司；三氯乙酸：上海阿拉丁生化科技股份有限公司。以上试剂均为分析纯。

LGJ 0.5真空冷冻干燥机：美国赛默飞世尔科技公司；FE28pH计：梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司；TU-1810紫外可见分光光度计：北京普析通用仪器有限责任公司；Kjeltec 8400凯氏定氮仪：丹麦Foss公司；S18-LA170打浆机：九阳股份有限公司；RE-52AA旋转蒸发仪：上海析域仪器设备有限公司；TDZ5-WZ离心机：湘仪离心机仪器有限公司；SB-5200DTD超声波清洗机：宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.2 酶源食品的制备

1.2.1 木瓜粉制备

选择表皮无损伤、6~8成熟的青木瓜，清洗后去皮、切片，置于-80 ℃中预冻12 h，然后真空冷冻干燥24 h，粉碎后过100目筛。所得木瓜粉在低温、干燥、避光环境中密封保存。

1.2.2 菠萝粉制备

选择6~8成熟的菠萝，去皮、挖眼、切块，然后加入20%体积的冰水，用打浆机打浆，将激活(用3倍体积的4% NaOH将阴离子交换树脂浸泡30 min)后的阴离子交换树脂浸入菠萝浆液中(树脂和菠萝浆体积比为1∶3)，并不断搅拌，分别在0、20、40、60、80 min时，分离去除树脂后取样，置于-80 ℃预冻12 h，然后真空冷冻干燥24 h，粉碎，过100目筛。所得菠萝粉在低温、干燥、避光环境中密封保存。

1.2.3 生姜粉制备

选择表皮完整、新鲜的生姜，清洗、去皮、切块，加入20%体积的冰水，用打浆机打浆，在4 ℃下，用4倍体积的70%乙醇浸泡，分别在0、20、40、60、80 min取样，两次离心(4 000×g，30 min)，取沉淀物，60 ℃旋蒸去除乙醇，-80 ℃预冻12 h，真空冷冻干燥24 h，粉碎，过100目筛。所得生姜粉在低温、干燥、避光环境中密封保存。

1.3 pH值和总酸含量测定

菠萝浆用树脂处理的0、20、40、60、80 min分离树脂后取样，测定pH值。菠萝粉的总酸测定参考GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》[15]，采用酸碱指示剂滴定法，计算得到菠萝粉中总酸的含量。

1.4 姜辣素含量测定

参考文献[16]中的方法测定生姜粉中的姜辣素含量。首先精密称取100.0 mg香草醛标准品，溶于无水乙醇并定容至100 mL。再用无水乙醇稀释50倍，摇匀作为香草醛标准溶液。吸取香草醛标准溶液1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 mL，用无水乙醇补充至10 mL，得到浓度为2.0、4.0、6.0、8.0、10.0、12.0 μg/mL的系列标准溶液。以无水乙醇作为空白，在280 nm波长处测定吸光度，绘制香草醛标准曲线。

精密称取0.2 g姜粉置于具塞三角瓶中，加入50 mL无水乙醇，在功率为200 W超声波清洗器中超声30 min，摇匀过滤。移取滤液5.0 mL，加无水乙醇10.0 mL，以无水乙醇作为空白，在280 nm波长处测定吸光度。姜辣素含量的计算公式如下。

$$Y/\%=\frac{2.001\times V_0\times V_1\times C}{V_2\times m_2\times(1-W_1)\times10^6}\times100$$

式中：Y为姜辣素含量，%；2.001为香草醛换算姜辣素的系数；V_0为样品提取液总体积，mL；V_1为测定样品液总体积，mL；C为香草醛的浓度，μg/mL；V_2为测定时吸取的滤液体积，mL；m_2为称取姜粉的质量，g；W_1为姜粉的含水率，%。

1.5 酶活测定

按照GB/T 23527—2009《蛋白酶制剂》中的福林法测定蛋白酶的活性[17]。将1 mL由磷酸盐缓冲液(pH7)

制备的 1%酪蛋白加入到蛋白酶稀释液（1 mL）中。在 40 ℃条件下水解 10 min。加入 2 mL 6.54%三氯乙酸（trichloroacetic acid，TCA）终止水解反应。过滤后，在 1 mL 滤液中加入 Na_2CO_3 溶液（5 mL，4 mol/L）和福林试剂（1 mL），在 40 ℃下孵育 20 min。然后用紫外可见分光光度计测定混合物在 680 nm 处的吸光度。每个样品至少重复 3 次。在加入酪蛋白之前加入 TCA 进行空白试验。酶活性单位是指在 40 ℃下每分钟释放 1 μg 酪氨酸所需的酶量。

1.6　得率测定

分别称取原料和成品的质量，得率计算公式如下。

$$得率/\%=\frac{G_0\times(1-f)}{G}\times100$$

式中：G_0 为成品质量，g；f 为成品含水量；G 为原料质量，g。

1.7　基本成分测定

1.7.1　水分含量的测定

参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法进行测定[18]。

1.7.2　总灰分含量的测定

参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中的方法进行测定[19]。

1.7.3　蛋白质含量的测定

参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的自动凯氏定氮仪法进行测定[20]。

1.7.4　脂肪含量的测定

参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法进行测定[21]。

1.8　感官评定

将木瓜粉、菠萝粉、生姜粉 10 g 溶于 1 L 水，随机选取 15 位感官评价员对产品进行感官评价，评分标准如表 1 所示，最终得分取平均值。

表 1　木瓜、菠萝、生姜饮品感官评定标准

Table 1　Sensory evaluation table of papaya，pineapple and ginger drinks

评定项目	评分标准（总分 100 分）		
	1 分~6 分	7 分~14 分	15 分~20 分
冲调难度	不易冲调，结块严重	搅拌后易分散	均匀，分散性好
色泽	色泽不均匀	色泽较暗	色泽较亮且均匀
风味	气味刺鼻	气味较淡	香气纯正浓郁
澄清度	基本不溶解，沉淀多	沉淀较少	澄清无沉淀
滋味	滋味差，入口有刺激性	滋味一般	味道柔和、可口

1.9　数据处理

所有试验数据均进行 3 次平行试验得出，统计分析采用 SPSS 26.0 软件。使用单因素 ANOVA 分析数据，数据以平均值±标准差表示，图表中数据后的不同字母表示各数据组之间的差异性，以比较结果间的显著性差异（$p<0.05$）。使用 Origin 2018 软件对数据进行分析。

2　结果与讨论

2.1　pH 值与总酸含量测定结果

未完全成熟的菠萝中菠萝蛋白酶含量较高，但是酸含量较多（主要是苹果酸和柠檬酸），经过浓缩后口感会更差，利用阴离子交换树脂可以吸附有机酸[22]，从而使产品更加适口。吸附完成后可以将树脂轻松分离，不会对产品的其他方面形成不利影响。图 1 是不同处理时间的浆液的 pH 值与所得菠萝粉的总酸含量。

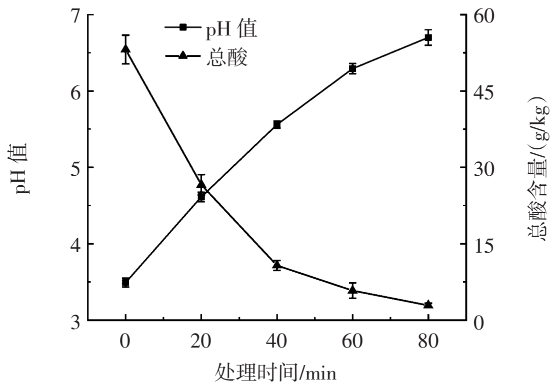


图 1　不同处理时间的菠萝浆液 pH 值与所得菠萝粉的总酸含量

Fig.1　pH of pineapple pulp and total acid content of pineapple powder with different treatment time

从图 1 可以看出，处理时间从 0~80 min，菠萝浆液的 pH 值从 3.49 提高到 6.70，在处理 40 min时，菠萝粉的总酸含量降低了 79.8%，40 min 后总酸含量变化速率降低，在 80 min 时，菠萝粉的总酸含量为 2.9 g/kg，说明树脂吸附有机酸的效率较高。

2.2　姜辣素含量测定结果

通过测定不同浓度的香草醛标准溶液的吸光度，得到香草醛标准曲线，如图 2 所示。所得线性回归方程为 y=0.068 4x+0.006 6，回归系数 R^2 为 0.999，在 0~12.00 μg/mL 范围内线性关系良好。

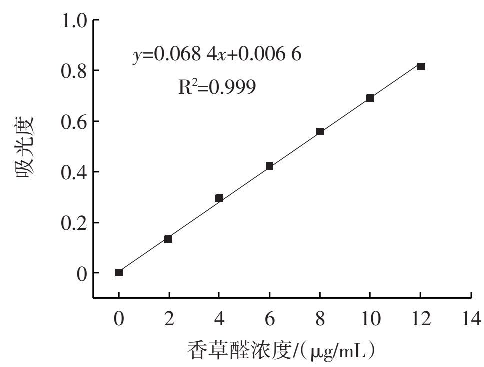


图 2　香草醛标准曲线

Fig.2　Standard curve of vanillin

根据标准曲线计算生姜粉中的姜辣素含量，结果如图3所示。

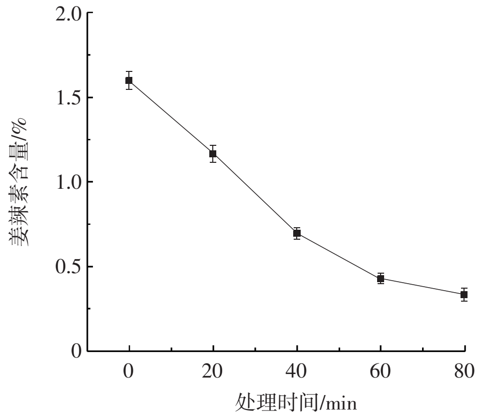


图3　不同处理时间所得生姜粉的姜辣素含量

Fig.3　Gingerol content of ginger powder obtained at different treatment time

由图3可知，处理时间为0~80 min时，随着乙醇处理时间的延长，生姜粉的姜辣素含量逐渐减少。在40 min时，姜辣素含量降低了56.73%左右，这有利于增加生姜粉固体饮料的感官接受度。

2.3　酶活测定结果

酶源食品的酶活是助消化作用效果的关键因素，本试验测定了木瓜粉和不同处理时间的菠萝粉和生姜粉的酶活，木瓜粉的酶活为(463.12±6.95) U/g，不同处理时间的菠萝粉的酶活如图4所示。

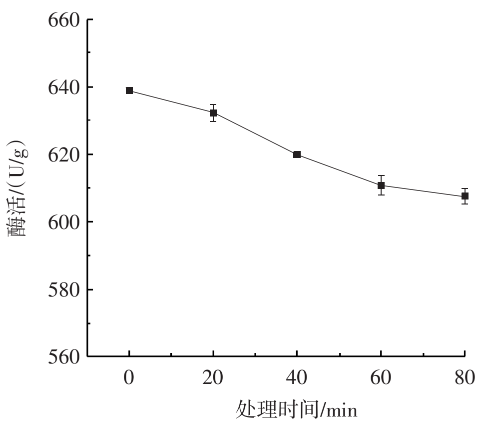


图4　不同处理时间的菠萝粉酶活

Fig.4　Enzymatic activity of pineapple powder at different treatment time

由图4可知，阴离子交换树脂处理时间对菠萝粉的酶活有一定影响，处理时间为0~80 min时，菠萝粉的酶活从638.72 U/g降低到了607.52 U/g，有研究表明，菠萝汁pH值从3.74(自然酸度)增加到7时，其中的菠萝蛋白酶的酶活降低了64%左右[23]，说明阴离子交换树脂处理对蛋白酶活的影响较小，是一种温和、安全且有效的方法。

乙醇处理对生姜中蛋白酶活的影响见图5。

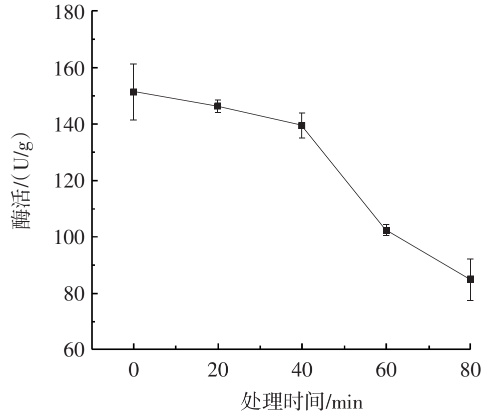


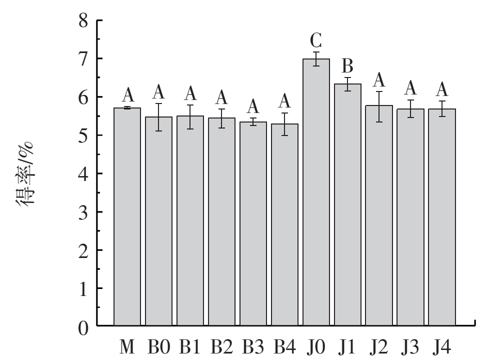
图5　不同处理时间的生姜粉酶活

Fig.5　Enzyme activity of ginger powder at different treatment time

由图5可知，乙醇处理40 min以内对生姜粉的酶活没有明显影响。而超过40 min后，生姜粉的蛋白酶活力迅速降低，乙醇处理80 min后，生姜蛋白酶活降低了44%。这是因为乙醇会改变生姜蛋白酶的构象[24]，破坏酶的活性中心基团，从而使蛋白酶失活，不利于其助消化作用。

2.4　得率测定结果

通过对处理前后的原料进行称重，计算得率，结果如图6所示。



M.木瓜粉；B0~B4.分别处理0、20、40、60、80 min的菠萝粉；J0~J4.分别处理0、20、40、60、80 min的生姜粉。不同的字母表示不同样品间存在显著性差异($p<0.05$)。

图6　木瓜粉和不同处理时间的菠萝粉和生姜粉的得率

Fig.6　Yield of papaya powder, pineapple powder and ginger powder at different treatment times

由图6可知，木瓜粉的得率为5.68%，未处理的菠萝粉得率为5.43%，经过树脂吸附之后菠萝粉的得率没有显著变化($p>0.05$)。而处理时间从0~40 min，生姜粉的得率从6.95%降低到了5.70%，这是因为有机试剂直接萃取可以带走生姜中的姜油树脂(包括姜精油和姜辣素)，所以冷冻干燥后样品的质量明显降低，产品得率降低。

2.5　基本成分

3 种产品处理前后的基本成分如表 2 所示。

表 2　含酶食品的基本成分

Table 2　Basic ingredient of foods containing enzymes

g/100 g

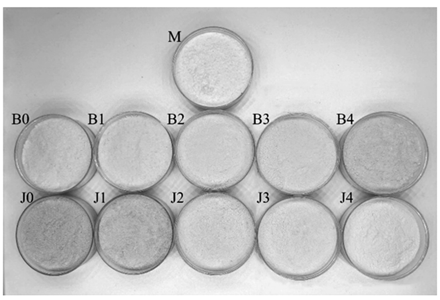
项目	水分	蛋白质	脂肪	灰分	碳水化合物
木瓜粉	5.55 ± 0.25^{a}	7.33 ± 0.05^{c}	13.25 ± 0.59^{b}	4.59 ± 0.19^{c}	69.28 ± 0.41^{a}
菠萝粉（未处理）	6.53 ± 0.18^{b}	3.30 ± 0.08^{a}	10.47 ± 0.20^{a}	1.86 ± 0.12^{a}	77.84 ± 0.03^{c}
菠萝粉（树脂吸附）	6.41 ± 0.12^{b}	3.30 ± 0.04^{a}	10.58 ± 0.12^{a}	1.77 ± 0.08^{a}	77.95 ± 0.30^{c}
生姜粉（未处理）	5.51 ± 0.21^{a}	6.30 ± 0.06^{b}	12.67 ± 0.42^{b}	4.13 ± 0.19^{b}	71.39 ± 0.74^{b}
生姜粉（乙醇提取）	5.47 ± 0.11^{a}	6.29 ± 0.05^{b}	12.75 ± 0.28^{b}	4.11 ± 0.18^{b}	71.38 ± 0.01^{b}

注：同列中不同字母表示不同样品间存在显著性差异（$p<0.05$）。

由表 2 可知，树脂吸附有机酸和乙醇去除姜辣素对产品最终的基本成分含量影响较小。此外，冷冻干燥技术所得木瓜粉、菠萝粉和生姜粉的水分含量均小于 7%，满足 GB/T 29602—2013《固体饮料》[25]中对于固体饮料的要求。

2.6　感官评定结果

3 种酶源食品的成品见图 7。



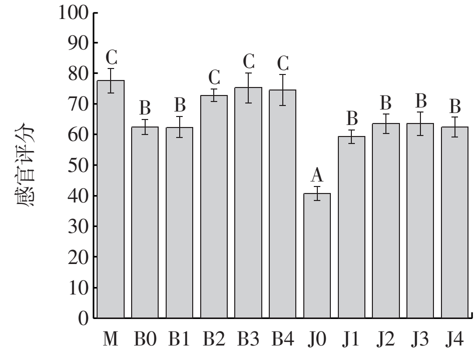
M.木瓜粉；B0~B4.分别处理 0、20、40、60、80 min 的菠萝粉；J0~J4.分别处理 0、20、40、60、80 min 的生姜粉。

图 7　木瓜粉和不同处理时间的菠萝粉和生姜粉的成品图

Fig.7　Picture of papaya powder，pineapple powder and ginger powder at different treatment times

由图 7 可知，随着树脂吸附时间延长，所产菠萝粉的颜色变深，这是因为在加工过程中菠萝中的多酚氧化酶催化酚类物质与氧气反应，发生酶促氧化，生成褐色素，引起变色，此外，由于苹果酸和柠檬酸的去除，菠萝浆的 pH 值增加，更加接近多酚氧化酶的最适 pH 值（6.8）[26]，从而进一步促进了氧化反应。而对于生姜来说，乙醇能够去除姜辣素、生姜精油等黄色物质，所以生姜粉的颜色变浅。

通过对几种酶源食品的冲调难度、色泽、风味、澄清度和滋味 5 个方面的评价，得到了产品的感官评分，结果见图 8。



M.木瓜粉；B0~B4.分别处理 0、20、40、60、80 min 的菠萝粉；J0~J4.分别处理 0、20、40、60、80 min 的生姜粉。不同大写字母表示不同样品间存在显著性差异（$p<0.05$）。

图 8　木瓜粉和不同处理时间的菠萝粉和生姜粉的感官评分

Fig.8　Sensory score of papaya powder，pineapple powder and ginger powder at different treatment times

由图 8 可知，菠萝酸度降低后感官评分增加，更加适口，姜辣素的减少也提高了生姜粉的感官评分，但微量的姜辣素依然会极大地影响产品的口感，含 0.33%姜辣素的生姜粉只有 60 分左右。木瓜粉和菠萝粉更能迎合大众口味，达到 80 分左右。此外，菠萝粉由于糖分含量较高，黏度大，具有很强的吸湿性，在粉粒间的吸附作用下造成粉体粒子群的黏聚[27]，所以贮藏过程中容易结块，冲调不方便，严重影响产品的质量稳定性。

3　结论

本试验制备了木瓜粉、菠萝粉和生姜粉这 3 种酶源食品，利用阴离子交换树脂吸附菠萝中的酸，用乙醇部分提取部分姜辣素，以改善其口感。结果表明，阴离子交换树脂处理 40 min 使菠萝粉的总酸含量降低了 79.8%，乙醇在 40 min 内吸附了 56.73%的姜辣素；树脂和乙醇的处理使菠萝粉和生姜粉的酶活分别降低了 4.88%和 44.09%。两种处理对最终产品的基本成分含量影响较小。此外，菠萝粉和生姜粉的感官评分有所提高，木瓜粉和菠萝粉的感官评分高于生姜粉。

参考文献：

[1] DIMA C, ASSADPOUR E, DIMA S, et al. Bioavailability of nutraceuticals: Role of the food matrix, processing conditions, the gastrointestinal tract, and nanodelivery systems[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2020, 19(3): 954-994.

[2] 徐培国. 一种预防和治疗消化不良的饼干: CN102308860A[P]. 2012-01-11.
XU Peiguo. Biscuit for preventing and treating dyspepsia: CN102308860A[P]. 2012-01-11.

[3] 禹孝伟. 莫沙必利联合复方消化酶治疗功能性消化不良的临床观察[J]. 中国药物评价, 2021, 38(6): 528-530.
YU Xiaowei. Clinical observation of mosapride combined with com-

pound digestive enzyme in treatment of functional dyspepsia[J]. Chinese Journal of Drug Evaluation, 2021, 38(6): 528-530.

[4] OBEN J, KOTHARI S C, ANDERSON M L. An open label study to determine the effects of an oral proteolytic enzyme system on whey protein concentrate metabolism in healthy males[J]. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 2008, 5(1): 10.

[5] YE Z Q, ZHANG J, LORENZO J M, et al. Effects of bromelain on the quality of smoked salted duck[J]. Food Science & Nutrition, 2021, 9(8): 4473-4483.

[6] SHARMA S A, SURVESWARAN S, ARULRAJ J, et al. Bromelain enhances digestibility of *Spirulina*-based fish feed[J]. Journal of Applied Phycology, 2021, 33(2): 967-977.

[7] SHOUKET H A, AMEEN I, TURSUNOV O, et al. Study on industrial applications of papain: A succinct review[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 614(1): 012171.

[8] HEENA D, SUNIL T. *Carica papaya*: Potential implications in human health[J]. Current Traditional Medicine, 2019, 5(4): 321-336.

[9] EREGOWDA T, RENE E R, RINTALA J, et al. Volatile fatty acid adsorption on anion exchange resins: Kinetics and selective recovery of acetic acid[J]. Separation Science and Technology, 2020, 55(8): 1449-1461.

[10] ZEIDAN H N, MARTI M E. Separation of formic acid from aqueous solutions onto anion exchange resins: Equilibrium, kinetic, and thermodynamic data[J]. Journal of Chemical & Engineering Data, 2019, 64(6): 2718-2727.

[11] OTHMAN M, ARIFF A B, KAPRI M R, et al. Growth enhancement of probiotic *Pediococcus acidilactici* by extractive fermentation of lactic acid exploiting anion-exchange resin[J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 9: 2554.

[12] NAGENDRA CHARI K L, MANASA D, SRINIVAS P, et al. Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from ginger (*Zingiber officinale* Roscoe)[J]. Food Chemistry, 2013, 139(1/4): 509-514.

[13] ABUSARAH J, BENABDOUNE H, SHI Q, et al. Elucidating the role of protandim and 6-gingerol in protection against osteoarthritis[J]. Journal of Cellular Biochemistry, 2017, 118(5): 1003-1013.

[14] 唐泽群, 余德顺, 朱艺佳, 等. 生姜蛋白酶提取、性质及应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(1): 224-230.
TANG Zequn, YU Deshun, ZHU Yijia, et al. Research progress on extraction, properties and application of ginger protease[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(1): 224-230.

[15] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中总酸的测定: GB 12456—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
National Health Commission of the People´s Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard Determination of total acid in foods: GB 12456—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.

[16] 张凡. 姜片的微波与热风联合干燥工艺及动力学研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
ZHANG Fan. Research on combination drying process and kinetics of ginger slices using microwave-hot air dehydration[D]. Changchun: Jilin University, 2015.

[17] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 蛋白酶制剂: GB/T 23527—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People´s Republic of China, Standardization Administration of the People´s Republic of China. Proteinase preparations: GB/T 23527—2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.

[18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health Commission of the People's Republic of China.National food safety standard Determination of moisture in food: GB 5009.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health Commission of the People's Republic of China.National food safety standard Determination of ash in foods: GB 5009.4—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[20] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health Commission of the People´s Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of protein in foods: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[21] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission, State Administration for Market Regulation.National food safety standard Determination of fat in foods: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[22] 李珊. 野山杏果肉总有机酸的分离纯化及对高血脂症的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2018.
LI Shan. Isolation, purification and effect on hyperlipidemia of total organic acids from wild apricot[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2018.

[23] 陶敏. 保留菠萝蛋白酶活性的功能菠萝汁研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2013.
TAO Min. Research on functional pineapple juice reserved activity of bromelain[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2013.

[24] 高晓东, 王秋英, 乔旭光, 等. 多种生姜有效成分联合提取工艺[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(1): 203-207.
GAO Xiaodong, WANG Qiuying, QIAO Xuguang, et al. The optimum extraction process of ginger various effective components[J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(1): 203-207.

[25] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 固体饮料: GB/T 29602—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People´s Republic of China, Standardization Administration of the People´s Republic of China. Solid beverages: GB/T 29602—2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.

[26] 谷雯雯, 王宁. 菠萝浓缩汁褐变机理及防控技术[J]. 农业科技与装备, 2021(3): 50-51.
GU Wenwen, WANG Ning. Browning mechanism and control technology of concentrated pineapple juice[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2021(3): 50-51.

[27] 陈梦婷, 罗秉俊, 杨芳芳. 粉类食品结块原因及预防[J]. 广东化工, 2022, 49(9): 32-33, 24.
CHEN Mengting, LUO Bingjun, YANG Fangfang. Causes and prevention of caking of powder food[J]. Guangdong Chemical Industry, 2022, 49(9): 32-33, 24.

加工编辑:张璐
收稿日期:2022-06-27