

陈红蒲,王潇,郑红莉,等.菠菜粉对芋头粉糊化和菠菜芋泥流变特性与感官特性的影响[J].食品工业科技,2022,43(22):98-104.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030051

CHEN Hongpu, WANG Xiao, ZHENG Hongli, et al. Effects of Spinach Powder on Gelatinization of Taro Powder and Rheological and Sensory Properties of Spinach and Taro Puree[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(22): 98-104. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030051

· 研究与探讨 ·

菠菜粉对芋头粉糊化和菠菜芋泥流变特性与感官特性的影响

陈红蒲^{1,2},王 潇^{1,2},郑红莉^{1,2},张 燕^{1,2,*}

(1.中国农业大学食品科学与营养工程学院,北京 100083;

2.国家果蔬加工工程技术研究中心,北京 100083)

摘 要:针对婴幼儿辅食中蔬菜补充不足的问题,以菠菜粉和芋头粉为原料制备菠菜芋泥,探究了菠菜粉对芋头粉糊化特性的影响,以及芋头粉添加量为 5、10 和 15 g/100 mL 时菠菜粉的添加量对菠菜芋泥流变特性与感官特性的影响。结果表明,菠菜粉的添加降低了芋头粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度,改善了高温加工过程中芋头粉糊的稳定性,抑制了淀粉的回生。菠菜粉的添加提高了菠菜芋泥的储能模量(G')和表观黏度。感官评价结果显示,菠菜粉的添加提高了菠菜芋泥的搅动阻力、滞留感和稠厚感,降低了其流动性。流变特性与勺搅拌阻力呈现出最强的正相关性,与口腔内流动性呈现出最强的负相关性。芋头粉添加量为 10 g/100 mL 的菠菜芋泥的流变特性符合婴幼儿果蔬泥的要求。在开发菠菜芋泥产品时,可通过增加菠菜含量来达到预期的感官指标。控制芋头含量并提高菠菜含量,有助于婴幼儿摄入适量的膳食纤维。

关键词:菠菜粉,芋头粉,菠菜芋泥,流变特性,感官评价

中图分类号:TS201.7

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2022)22-0098-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030051



本文网刊:

Effects of Spinach Powder on Gelatinization of Taro Powder and Rheological and Sensory Properties of Spinach and Taro Puree

CHEN Hongpu^{1,2}, WANG Xiao^{1,2}, ZHENG Hongli^{1,2}, ZHANG Yan^{1,2,*}

(1.College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2.National Engineering Research Centre for Fruit and Vegetable Processing, Beijing 100083, China)

Abstract: Due to a lack of vegetable supplements in traditional infant foods, a spinach and taro puree were made to solve this problem. Effects of spinach powder addition on gelatinization of taro powder, as well as on rheological and sensory properties of spinach and taro puree when the amount of taro powder added was 5, 10 and 15 g/100 mL were investigated. The results showed that the addition of spinach powder reduced the peak viscosity, trough viscosity and final viscosity of taro powder, improved the stability of taro powder paste during high temperature processing, and inhibited the retrogradation of starch. The addition of spinach powder increased the storage modulus (G') and apparent viscosity of Spinach and Taro Puree. The sensory evaluation results showed that the addition of spinach powder improved the stirring resistance, retention and thickness of spinach and taro puree, and reduced its fluidity. Rheological properties showed the strongest positive correlation with spoon stirring resistance and the strongest negative correlation with fluidity in mouth. The rheological properties of spinach and taro puree with 10 g/100 mL of taro powder could meet the requirements of fruit and vegetable puree for infants. When developing the spinach and taro puree, the target sensory properties could be achieved by increasing the spinach content, and it would help infants consume the appropriate amount of dietary fiber.

收稿日期: 2022-03-04

基金项目: 高压调控叶绿素-蛋白质聚集保持加工果蔬绿色的机制(32072233)。

作者简介: 陈红蒲(1997-),男,硕士研究生,研究方向:农产品加工及贮藏工程,E-mail: tianjin_chen@163.com。

* 通信作者: 张燕(1977-),女,博士,教授,研究方向:果蔬加工技术与应用,E-mail: zhangyan348@163.com。

Key words: spinach powder; taro powder; spinach and taro puree; rheological properties; sensory evaluation

世界卫生组织指出,应及时合理地向 6 月龄或以上婴幼儿提供除母乳外的高营养辅助食品^[1],由于母乳无法满足 6 月龄以上婴幼儿的营养需求^[2],因此辅食添加及时与否将会直接影响婴幼儿的健康状况和生长发育^[3-6]。蔬菜富含叶绿素、多酚和膳食纤维等生物活性物质,具有平衡膳食、调节肠道菌群和抑制肥胖发生等功效^[7-11]。在中国市场,谷物淀粉类辅食在婴幼儿辅食产品消费中占比高达 80%,而果蔬类辅食仅占 12%^[12],婴幼儿辅食中蔬菜类成分严重不足。

菠菜(*Spinacia oleracea* L.)富含叶绿素、膳食纤维、植物固醇和黄酮等生物活性物质,维生素 C、维生素 E、维生素 B、类胡萝卜素等多种维生素,以及铁、钙、锌、镁等矿物质^[13-16]。我们前期通过动物实验证明小鼠幼年时增加菠菜提取物的摄入可有效降低高脂膳食诱导的体重增加、血糖升高和胰岛素耐受性升高^[8]。芋头(*Colocasia esculenta* (L.) Schott)营养丰富,富含淀粉、蛋白质以及钙、铁、磷等多种微量元素^[17],含 15 种以上氨基酸^[18]。芋头淀粉颗粒粒径较小且纤维素含量低,口感细腻,从营养组成及特性上讲较适合加工婴幼儿辅食^[19-20]。但国内外鲜有以芋头为原料的产品及相关问题开发报道。

本研究以菠菜粉和芋头粉为原料制备菠菜芋泥,通过黏度、流变分析和感官评价,探究了菠菜粉对芋头粉糊化和菠菜芋泥流变特性与感官特性的影响,以期指导以芋头为原料的婴幼儿辅食产品的开发与生产。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

菠菜粉 康美来品质食品科技有限公司;芋头粉 浙江盛通生物科技有限公司;菠菜果汁泥 亨氏食品有限公司;菠菜甜薯泥 英国 Nourisher Food & Drinks Ltd;菠菜梨泥 雀巢食品有限公司;复合果蔬汁 牵手果蔬饮品股份有限公司;果酱 丘比食品有限公司。

BSA124S 分析天平 德国 Sartorius;SHZ-C 水浴恒温振荡器 上海博迅实业有限公司;RVA-4 快速黏度分析仪 澳大利亚 Newport Scientific Pty;AR1500ex 流变仪 美国 TA Instruments。

1.2 实验方法

1.2.1 菠菜芋泥制备 为探究菠菜粉和芋头粉添加量对菠菜芋泥流变特性与感官特性的影响,开发适合婴幼儿的菠菜芋泥,按表 1 的配比,将芋头粉、菠菜粉与 100 mL 去离子水混合,并在密封罐内充分混匀。将所制样品置于水浴振荡器中,在 100 ℃,糊化 15 min (150 r/min),冷却至室温后即为菠菜芋泥。

1.2.2 菠菜粉对芋头粉糊化特性的影响 参考 Wang

表 1 菠菜粉与芋头粉配比设计

Table 1 Ratio design of spinach powder and taro powder

样品编号	芋头粉(g/100 mL)	菠菜粉(g/100 mL)
A	5	0
B	5	0.5
C	5	1
D	5	1.5
E	10	0
F	10	1
G	10	2
H	10	3
I	15	0
J	15	1.5
K	15	3
L	15	4.5

等^[21]的方法并作修改,使用快速黏度分析仪测定菠菜粉对芋头粉糊化特性的影响。菠菜粉添加量为芋头粉质量的 0、1%、2% 和 3%。将二者充分混合,取 2.8 g 混合粉添加至铝罐中,加入去离子水使总重量达到 28.0 g。样品在 50 ℃ 保持 1 min,然后在 3.7 min 内将温度升至 95 ℃ 并保持 2.5 min,最后在 3.8 min 内冷却至 50 ℃ 并保持 2 min。搅拌初始速率为 960 r/min,持续 10 s,其余阶段搅拌速率均为 160 r/min。

1.2.3 菠菜粉对菠菜芋泥流变特性的影响 参考 Wang 等^[21]的方法并作修改。将 1.2.1 中制备的菠菜芋泥放置在室温中平衡 1 h,将样品加载至流变仪的测定台上,选用 40 mm 的平板,设定间隙为 1000 μm,流变仪温度 25 ℃。采用振荡模式,振荡频率范围为 0.1~10 Hz。测定菠菜芋泥的储能模量随振荡频率的变化。将 1.2.1 中制备的菠菜芋泥放置在室温中平衡 1 h,将样品加载至流变仪的测定台上,选用 40 mm 的平板,设定间隙为 1000 μm,流变仪温度 25 ℃。采用剪切模式,剪切速率范围为 0.1~10 s⁻¹。测定菠菜芋泥的表观黏度随剪切速率的变化。

取菠菜芋泥和市售果蔬泥频率为 1 Hz 时的储能模量和剪切速率为 1 1/s 时的表观黏度进行对比。

1.2.4 感官评价 按照 1.2.1 的中表 1 的配比制备菠菜芋泥,感官评价的方法参考文献 [22-23] 的方法并做修改。在具有食品专业背景的学生群体中招募 12 名候选评价员。记录候选评价员的基础信息,并进行口腔健康排查、禁忌排查、感官描述能力测试和感官辨别能力测试。共计 8 名候选者通过测试成为正式感官评价员,对通过最终筛选的评价员进行进一步培训,培训内容如表 2 所示,要求评价员能够深刻理解并熟练掌握食品感官的评价标准及评价方式,能够根据评分标准对菠菜芋泥进行评分。

将随机三位数编码的 12 个样品呈递给每一位评价员。要求评价员分三个阶段:入口前、入口后、吞咽后,根据表 2 的评价方法和评分标准,对菠菜芋泥进行感官评价,按照样品感官属性强弱及不同样品

表 2 菠菜芋泥感官评价标准^[22]Table 2 Sensory evaluation standard of spinach and taro puree^[22]

感官评价指标		定义	方法	评分标准
阶段一: 入口前	流动性 (视觉)	样品在品评杯内流动的难易程度	举起并晃动品评杯,观察菠菜芋泥流动的难易程度	菠菜甜薯泥、果酱、菠菜梨泥、菠菜果汁泥、复合果蔬汁的流动性的定义评分分别为1、40、60、80、100分。评价员根据以上标准对菠菜芋泥的流动性进行1~100分评分
	搅动阻力 (勺搅动)	用品评勺搅动样品的过程中,手感受到阻力的大小	手持品评勺搅动样品,评估搅动过程中手感受到的阻力大小	菠菜甜薯泥、果酱、菠菜梨泥、菠菜果汁泥、复合果蔬汁的搅动阻力的定义评分分别为95、75、55、35、1分。评价员根据以上标准对菠菜芋泥的搅动阻力进行1~100分评分
阶段二: 入口后	流动性 (口腔内)	样品在口腔内流动的难易程度	将适量的菠菜芋泥置于舌的中前部,在舌与上颚不接触,口腔内形成空腔的条件下,前后运动舌,评估该过程中样品的流动性	菠菜甜薯泥、果酱、菠菜梨泥、菠菜果汁泥、复合果蔬汁的流动性的定义评分分别为1、40、60、80、100分。评价员根据以上标准对菠菜芋泥的流动性进行1~100分评分
	搅动阻力 (口腔内)	舌在口腔内搅动样品的过程中感受到的阻力大小	将适量的菠菜芋泥置于口腔中,用舌搅动菠菜芋泥,评价该过程感受到的阻力大小	菠菜甜薯泥、果酱、菠菜梨泥、菠菜果汁泥、复合果蔬汁的搅动阻力的定义评分分别为95、75、55、35、1分。评价员根据以上标准对菠菜芋泥的搅动阻力进行1~100分评分
阶段三: 吞咽后	滞留感	吞咽后,样品在口腔内黏附而产生的滞留感	吞咽菠菜芋泥后,评价样品在口腔内的滞留情况	菠菜甜薯泥、果酱、菠菜梨泥、菠菜果汁泥、复合果蔬汁的滞留感的定义评分分别为95、75、55、35、1分。评价员根据以上标准对菠菜芋泥的滞留感进行1~100分评分
	稠厚感	摄入样品的过程中的综合感觉	综合以上5组实验,评价样品的稠厚感	菠菜甜薯泥、果酱、菠菜梨泥、菠菜果汁泥、复合果蔬汁的稠厚感的定义评分分别为90、70、50、30、1分。评价员根据以上标准对菠菜芋泥的稠厚感进行1~100分评分

间差异的大小,对样品各项感官属性进行 1~100 分评分。

1.3 数据处理

所有实验重复三次,数据统计分析采用 Statistix 8 软件的 General Linear Models 程序进行统计分析,实验数据以平均值±标准差的形式表示,采用 All-Pairwise Comparisons 进行差异显著性检验($P<0.05$)。采用 Oringin 9 软件作图。

2 结果与分析

2.1 菠菜粉添加量对芋头粉糊化特性的影响

如表 3 所示,随着菠菜粉添加量的提高,芋头粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度均呈现出下降的趋势。糊化后的淀粉体系由连续相和非连续相组成,连续相为水和颗粒溶出物质,非连续相主要为膨胀的淀粉颗粒^[23]。菠菜粉中不溶于水的粗纤维可能在糊化过程中进入热淀粉糊体系中的非连续相,导致更多直链淀粉分子被截留在非连续相中,抑制淀粉分子的溶胀。溶胀能力下降会导致糊化过程中的黏度降低^[24]。同时,菠菜纤维可能导致淀粉分子之间的摩擦力减少,进而降低了糊化过程中的黏度^[25]。类似的结果也在槲皮素与淀粉的相互作用中被发现^[21]。

崩解值反应体系中淀粉在高温下的耐剪切能力,即淀粉糊的稳定性,崩解值越小,淀粉糊的耐剪切能力越强,稳定性越强^[21,26]。随着菠菜粉添加量的提

高,芋头粉糊的崩解值呈现出降低的趋势。这表明,菠菜粉的加入,抑制了芋头淀粉颗粒在糊化膨胀过程中崩解成碎片的趋势^[21]。因此,菠菜粉的添加改善了高温加工过程中芋头粉糊的稳定性,这说明菠菜粉对提高淀粉糊类食品的加工稳定性有促进作用。回生值降低表明菠菜粉的添加抑制了体系冷却阶段中淀粉的回生过程。加入菠菜粉对芋头粉糊化的峰值时间没有明显影响。

2.2 菠菜粉添加量对菠菜芋泥流变特性的影响

食品在外力的作用下产生形变,表现出弹性性质,储能模量表示食品因为产生弹性形变而储存能量的量度^[27-28]。由图 1 可见,在 0~10 Hz 的范围内,随着振荡频率的增加,菠菜芋泥的储能模量(G')呈现出逐渐提高的趋势。芋头粉含量相同时, G' 随菠菜粉添加量的增加而逐渐提高,表明菠菜粉含量的增加赋予了菠菜芋泥更强的弹性。由图 2 可见,随着剪切速率的提高,菠菜芋泥的表观黏度均呈现下降的趋势,即表现出剪切稀化现象,证明所有的样品都具有典型的非牛顿流体性质^[29]。菠菜芋泥的表观黏度随菠菜粉添加量的增多而逐渐提高,这表明菠菜粉含量的增加赋予了菠菜芋泥更强的黏性。

淀粉颗粒在糊化的过程中吸水溶胀,形成三维凝胶网络^[30]。在这个过程中,菠菜纤维等不溶性成分可能进入到三维凝胶网络结构内,干扰了淀粉回生过程中的分子重排,抑制了淀粉回生过程中的脱水缩合

表 3 菠菜粉添加量对芋头粉糊化特性的影响

Table 3 Effect of spinach powder addition on the gelatinization properties of taro powders

菠菜粉添加量(%)	峰值黏度(mPa·s)	谷值黏度(mPa·s)	崩解值(mPa·s)	最终黏度(mPa·s)	回生值(mPa·s)	峰值时间(min)
0	2194.0±113.5 ^a	1536.3±49.5 ^a	657.67±64.5 ^a	2131.0±83.1 ^a	594.67±33.6 ^a	5.07±0.1 ^a
1	1874.7±14.0 ^b	1339.3±18.3 ^b	535.33±11.8 ^b	1814.0±25.9 ^b	474.6±7.6 ^b	5.15±0.1 ^a
2	1544.0±55.5 ^c	1105.7±35.4 ^c	438.33±22.0 ^c	1445.0±50.5 ^c	339.3±16.2 ^c	5.20±0.1 ^a
3	1346.3±18.5 ^d	978.7±13.2 ^d	367.67±11.2 ^c	1272.3±20.1 ^d	293.7±9.7 ^c	5.16±0.1 ^a

注:不同小写字母表示显著性差异, $P<0.05$ 。

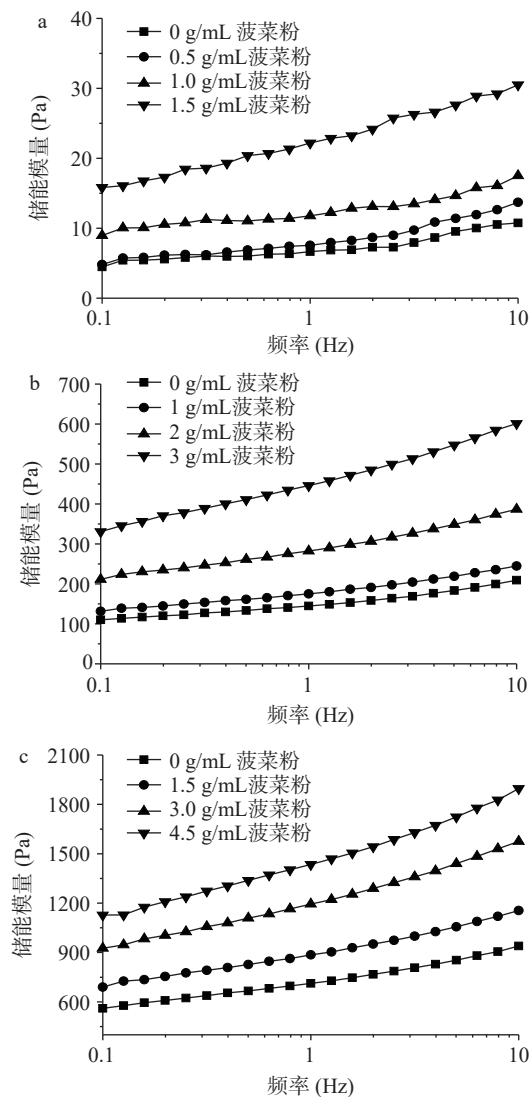


图 1 菠菜粉添加量对菠菜芋泥储能模量的影响

Fig.1 Effect of spinach powder addition on storage modulus of spinach and taro puree

注: a: 5 g/100 mL 芋头粉; b: 10 g/100 mL 芋头粉; c: 15 g/100 mL 芋头粉; 图 2 同。

作用,减少了无定形区域刚性结构的形成,从而提高了菠菜芋泥的弹性与黏性。

市售果蔬泥、菠菜芋泥的储能模量和表观黏度如表 4 所示。由表 4 可以看出,三款市售婴幼儿菠菜果蔬泥的储能模量和表观黏度存在较大差异。10 g/100 mL 芋头粉含量的菠菜芋泥的表观黏度和储能模量均处于市售菠菜果蔬泥区间内,表明其流变特性符合婴幼儿果蔬泥的要求。

2.3 菠菜芋泥感官评价

要求评价员分三个阶段:入口前、入口后、吞咽

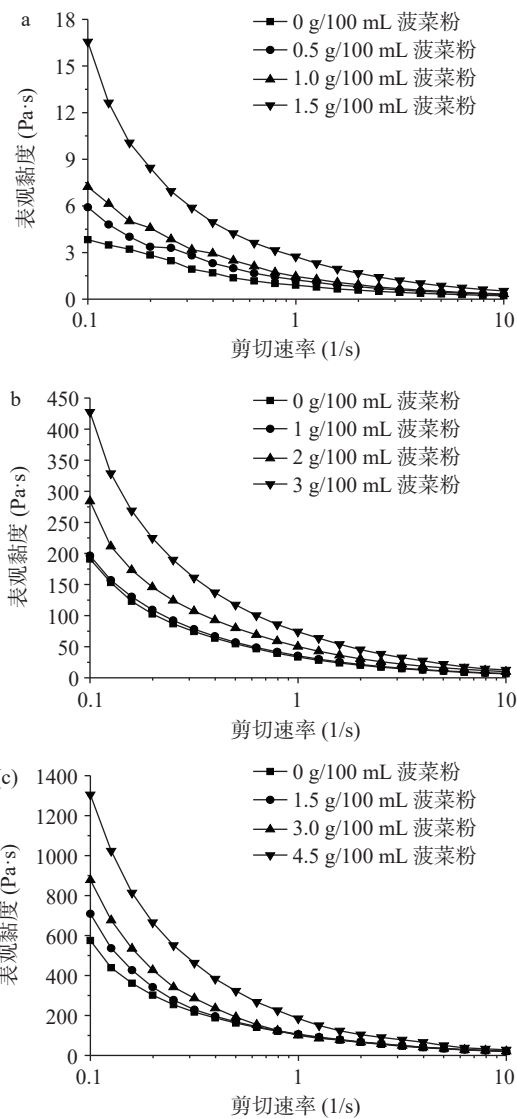


图 2 菠菜粉添加量对菠菜芋泥表观黏度的影响

Fig.2 Effect of spinach powder addition on apparent viscosity of spinach and taro puree

后,根据培训的评价标准及评价方式进行感官评价,其结果如图 3~图 5 所示,由图 3 和图 4 可见,随着芋头粉和菠菜粉添加量的提高,评价员感受到菠菜芋泥的目视流动性和口腔内流动性均呈现出下降的趋势。随着芋头粉和菠菜粉添加量的提高,评价员感受到勺搅动阻力和口腔内的搅动阻力呈现出增加的趋势。相比目视和勺搅拌评价,评价员在口腔内能更好的对 5 和 10 g/100 mL 芋头粉的菠菜芋泥进行区分。以上结果说明,芋头粉和菠菜粉的添加量的提高使菠菜芋泥的流动性降低,搅动阻力增加。

从图 5 可以看出,随着菠菜粉和芋头粉添加量

表 4 菠菜芋泥与市售果蔬泥的储能模量和表观黏度比较

Table 4 Comparison of storage modulus and apparent viscosity between spinach taro puree and commercial fruit and vegetable puree

	菠菜果汁泥	菠菜梨泥	菠菜甜薯泥	菠菜芋泥(编号E)	菠菜芋泥(编号F)	菠菜芋泥(编号G)	菠菜芋泥(编号H)
储能模量(Pa)	38.15±7.41	322.19±30.04	3386.0±56.30	164.37±17.08	194.93±18.80	406.21±48.38	479.51±36.57
表观黏度(Pa·s)	6.65±0.20	12.84±0.34	90.87±4.37	26.79±6.71	38.85±3.55	50.00±3.47	72.48±2.36

注:编号E、F、G、H的菠菜粉添加量分别为0、1、2、3 g/100 mL,芋头粉添加量均为10 g/100 mL。

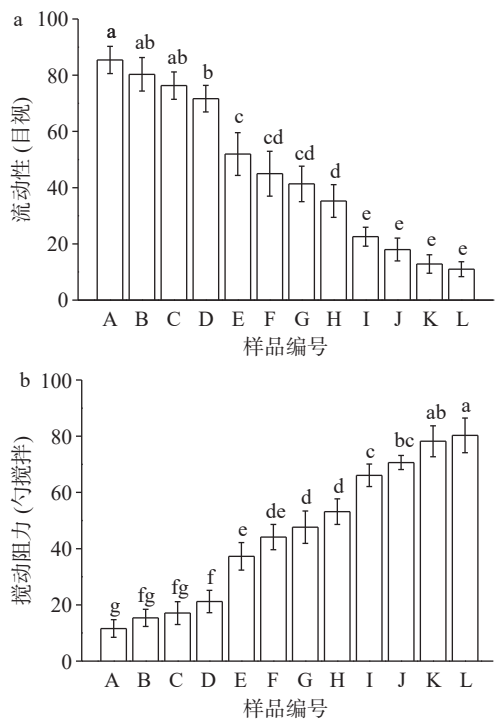


图3 菠菜芋泥入口前感官评价

Fig.3 Sensory evaluation of spinach and taro puree before ingestion

注: 不同小写字母表示显著性差异($P < 0.05$); 图4~图5同。

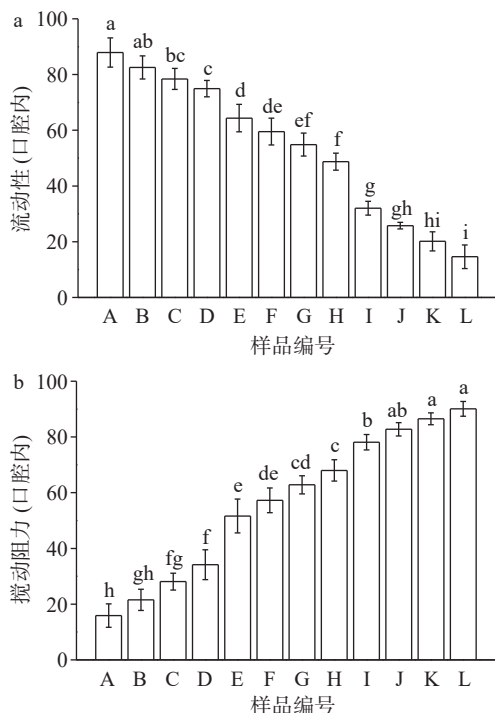


图4 菠菜芋泥口腔内感官评价

Fig.4 Oral sensory evaluation of spinach and taro puree

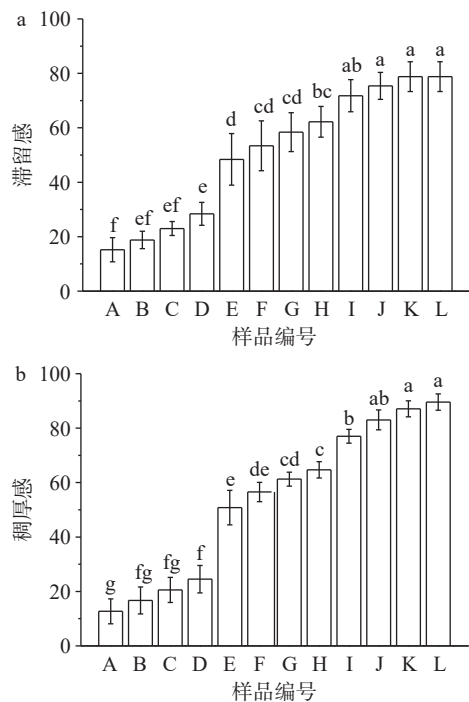


图5 菠菜芋泥吞咽后感官评价

Fig.5 Sensory evaluation of spinach and taro puree after swallowing

的提高,评价员可以感受到菠菜芋泥的滞留感和稠厚感呈现出增加的趋势。菠菜芋泥感官评价结果与归一化后流变测定结果的相关性分析如表5所示,菠菜芋泥的储能模量与勺搅拌阻力呈现出最强的正相关性($R^2=0.9881$),与口腔内流动性呈现出最强的负相关性($R^2=-0.9866$);一致的,菠菜芋泥的表观黏度与勺搅拌阻力呈现出最强的正相关性($R^2=0.9902$),与口腔内流动性呈现出最强的负相关性($R^2=-0.9888$)。

3 结论

菠菜粉的添加改善了高温加工过程中菠菜芋泥的稳定性。菠菜粉对菠菜芋泥的流变特性有显著影响,菠菜粉的添加提高了菠菜芋泥的储能模量和表观黏度。感官评价的结果表明,菠菜粉降低了菠菜芋泥的流动性,提高了其搅动阻力、滞留感和稠厚感。菠菜芋泥的表观黏度与搅拌阻力呈现出最强的正相关性,与口腔内流动性呈现出最强的负相关性。芋头粉添加量为 10 g/100 mL 的菠菜芋泥的流变特性符合婴幼儿果蔬泥的要求。在开发菠菜芋泥产品时,可通过增加菠菜含量来达到预期的感官指标。控制芋头含量并提高菠菜含量,有助于婴幼儿摄入适量的膳食纤维。

表5 菠菜芋泥感官评价与流变测定的相关性分析

Table 5 Correlation analysis between sensory evaluation and rheological measurement of Spinach and Taro Puree

	流动性(目视)	搅动阻力(勺搅拌)	流动性(口腔内)	搅动阻力(舌搅拌)	滞留感	稠厚感
储能模量	-0.9840**	0.9881**	-0.9866**	0.9846**	0.9751**	0.9773**
表观黏度	-0.9835**	0.9902**	-0.9888**	0.9812**	0.9713**	0.9745**

注: **表示数据间呈极显著性相关, $P < 0.01$ 。

参考文献

- [1] World Health Organization & UNICEF. Global strategy for infant and young child feeding[R]. Geneva, Switzerland: WHO, 2003.
- [2] 蒯士安. 人乳成分: 存在形式、含量、功能、检测方法[M]. 北京, 化学工业出版社, 2016. [YIN S A. Human milk compositions: Forms, contents, functions, and analytical methods[M]. Chemical Industry Press, 2016.]
- [3] 周丽, 李春玉, 金锦珍, 等. 发展中国家婴幼儿辅食添加营养干预效果的 Meta 分析[J]. 现代预防医学, 2018, 45(20): 3694–3698, 3726. [ZHOU L, LI Y C, JIN J Z, et al. Meta-analysis of the intervention effect of complementary food supplement on infants and young children in developing countries[J]. Modern Preventive Medicine, 2018, 45(20): 3694–3698, 3726.]
- [4] BARRERA C M, HAMNER H C, PERRINE C G, et al. Timing of introduction of complementary foods to US infants, National Health and Nutrition Examination Survey 2009–2014[J]. Journal of the Academy of Nutrition & Dietetics, 2018, 118(3): 464–470.
- [5] ZONGRONE A, WINSKELL K, MENON P. Infant and young child feeding practices and child undernutrition in Bangladesh: Insights from nationally representative data[J]. Public Health Nutrition, 2012, 15(9): 1697–1704.
- [6] 许晓丽, 于冬梅, 赵丽云, 等. 2013 年中国 0~5 岁儿童辅食添加时间[J]. 卫生研究, 2018, 47(5): 695–699. [XU X L, YU D M, ZHAO L Y, et al. Complementary feeding time among 0~5 years old children in 2013 in China[J]. Journal of Hygiene Research, 2018, 47(5): 695–699.]
- [7] LI Y Y, CUI Y, HU X, et al. Chlorophyll supplementation in early life prevents diet-induced obesity and modulates gut microbiota in mice[J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2019, 63: 1801219.
- [8] LI Y Y, CUI Y, LU F, et al. Beneficial effects of a chlorophyll-rich spinach extract supplementation on prevention of obesity and modulation of gut microbiota in high-fat diet-fed mice[J]. Journal of Functional Foods, 2019, 60: 103436.
- [9] KOŁODZIEJCZYK A A, ZHENG D, ELINAV E. Diet-microbiota interactions and personalized nutrition[J]. Nature Reviews Microbiology, 2019, 17(12): 742–753.
- [10] FLORES-SILVA P C, BELLO-PÉREZ L A, RODRIGUEZ-AMBRIZ S L, et al. In vitro colonic fermentation and glycemic response of high fiber gluten-free snacks in rats[J]. Journal of Functional Foods, 2017, 28: 59–63.
- [11] SMALL D M, DIFELICEANTONIO A G. Processed foods and food reward: Processed foods compromise the fidelity of gut-brain signaling of food reinforcement[J]. Science, 2019, 363(6425): 346.
- [12] 王俏, 王骁音, Tino Landl, 等. 全球婴幼儿辅助食品发展状况与趋势[J]. 中国妇幼健康研究, 2021, 32(12): 1836–1842. [WANG Q, WANG X Y, TINO L, et al. The development status and trend of global complementary foods for infant and young children[J]. Chinese Journal of Woman and Child Health Research, 2021, 32(12): 1836–1842.]
- [13] CAI X F, GE C H, XU C X, et al. Expression analysis of oxalate metabolic pathway genes reveals oxalate regulation patterns in spinach[J]. Molecules, 2018, 23: 1286.
- [14] CAI X F, LIN L H, WANG X L, et al. Higher anthocyanin accumulation associated with higher transcription levels of anthocyanin biosynthesis genes in spinach[J]. Genome, 2018, 61(7): 487–496.
- [15] 冯国军, 刘大军. 菠菜的营养价值与功能评价[J]. 北方园艺, 2018(10): 175–180. [FENG G J, LIU D J. Evaluation on nutrition and functions of spinach (*Spinacia oleracea* L.)[J]. Northern Horticulture, 2018(10): 175–180.]
- [16] 黄海霞, 李林. 菠菜中微量元素钾、钙、铜、铁、锌含量的测定[J]. 微量元素与健康研究, 2018, 35(3): 49–50. [HUANG H X, LI L. Determination of trace elements potassium, calcium, copper, iron and zinc in spinach[J]. Studies of Trace Elements and Health, 2018, 35(3): 49–50.]
- [17] 韩笑, 张东旭, 王磊, 等. 芋头的营养成分及加工利用研究进展[J]. 中国果菜, 2018, 38(3): 9–13. [HAN X, ZHANG D X, WANG L, et al. Research progress on the nutrition components and processing and utilization of taro[J]. China Fruit & Vegetable, 2018, 38(3): 9–13.]
- [18] 陈蔚辉, 郑妹华. 芋不同器官主要营养成分分析[J]. 食品科技, 2014, 39(12): 98–101. [CHEN W H, ZHENG M H. Analysis of nutrients among different organs of *Colocasia esculenta*[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(12): 98–101.]
- [19] 崔文雪. 芋蒸煮过程中淀粉形态结构及糊化特性的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2019. [CUI W X. Study on the morphological structure and gelatinization characteristics of taro starch during the steaming and boiling [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2019.]
- [20] ELISABETH D A. Added value improvement of taro and sweet potato commodities by doing snack processing activity[J]. Procedia Food Science, 2015, 3: 262–273.
- [21] WANG L B, WANG L J, LI Z G, et al. Diverse effects of rutin and quercetin on the pasting, rheological and structural properties of Tartary buckwheat starch[J]. Food Chemistry, 2020, 335: 127556.
- [22] 徐若婷. 亚麻籽胶及乳清蛋白微粒在低脂沙拉酱模式体系中的适用性[D]. 北京: 中国农业大学, 2021. [XU R T. Role of flaxseed gum and whey protein microparticles in formulating low-fat salad dressing[D]. Beijing: China Agricultural University, 2021.]
- [23] ZHU F. Interactions of carbohydrates with phenolic compounds[D]. Hong Kong: University of Hong Kong, 2010.
- [24] ALLONCLE M, DOUBLIER J. Viscoelastic properties of maize starch/hydrocolloid pastes and gels[J]. Food Hydrocolloids, 1991, 5(5): 455–467.
- [25] MA Y S, PAN Y, XIE Q T, et al. Evaluation studies on effects of pectin with different concentrations on the pasting, rheological and digestibility properties of corn starch[J]. Food Chemistry, 2018, 274: 319–323.
- [26] QIU S, YADAV M P, CHEN H, et al. Effects of corn fiber gum (CFG) on the pasting and thermal behaviors of maize starch[J].

[Carbohydrate Polymers](#), 2015, 115: 246–252.

[27] 刘敏, 赵欣, 阚建全, 等. 黄原胶对莲藕淀粉糊化性质及流变与质构特性的影响[J]. [食品科学](#), 2018, 39(6): 45–50. [LIU M, ZHAO X, KAN J, et al. Effect of xanthan gum on pasting, rheological and texture properties of lotus root starch[J]. [Food Science](#), 2018, 39(6): 45–50.]

[28] 张晶, 张美莉. 超高压处理对燕麦淀粉颗粒特性、热特性及流变学特性的影响[J]. [食品科学](#), 2020, 41(23): 114–121. [ZHANG J, ZHANG M. Effect of high hydrostatic pressure treat-

ment on morphological, thermal and rheological properties of oat starch[J]. [Food Science](#), 2020, 41(23): 114–121.]

[29] 邱爽. 阿拉伯木聚糖与淀粉混合体系的功能性质及其应用[D]. 北京: 中国农业大学, 2016. [QIU S. The functionalities and analysis of arabinoxylan and starch composite polysaccharides[D]. Beijing: China Agricultural University, 2016.]

[30] BEMILLER J, WHISTLER R. Starch chemistry and technology[M]. 3rd ed. Massachusetts: Academic Press, 2009.