

四种多糖代替明矾改善红薯粉的品质特性

石彬, 李咏富, 龙明秀, 何扬波, 田竹希, 梁倩

(贵州省现代农业发展研究所, 贵州贵阳 550009)

摘要: 以阿拉伯胶、海藻酸钠、黄原胶、果胶四种天然多糖代替传统红薯粉生产中的明矾, 研究了4种添加剂对红薯粉品质的影响。以添加剂种类为因素, 添加剂量为水平, 通过单因素和复配实验对红薯粉相关品质进行了测试。实验表明4种多糖对红薯粉品质有着不同的影响, 其中阿拉伯胶对样品断条率影响较大, 当阿拉伯胶添加量为0.1%时, 样品断条率最低, 为23.51%; 海藻酸钠主要影响红薯淀粉流变性质, 当添加水平为0.5%时, 相应的应力、黏度和法向应力分别为76.97 Pa、3.85 Pa·s、-12.53 Pa; 黄原胶对红薯粉的硬度性影响较大, 当添加水平为0.2%时, 其硬度达到18.83 N; 果胶主要影响样品的内聚性、咀嚼性, 当添加水平为0.3%和0.1%时, 样品的内聚性和咀嚼性分别达到0.70 Ratio和20.51 mJ; 而使用0.1%阿拉伯胶、0.4%海藻酸钠、0.4%黄原胶、0.3%果胶与0.2%阿拉伯胶、0.3%海藻酸钠、0.4%黄原胶、0.1%果胶复配而成的复合添加剂, 其样品拉伸力分别达到0.60 N、0.62 N, 断条率分别为23.25%、24.66%, 能够显著提升红薯粉的各项性质, 改善红薯粉的品质。结果表明可以通过天然多糖复配的方法有效替代红薯粉上产中有害的明矾。

关键词: 红薯粉; 阿拉伯胶; 海藻酸钠; 黄原胶; 果胶

文章编号: 1673-9078(2020)09-202-210

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.9.0263

Enhancing the Quality of Sweet Potato Powder with Four Polysaccharides Instead of Alum

SHI Bin, LI Yong-fu, LONG Ming-xiu, HE Yang-bo, TIAN Zhu-xi, LIANG Qian

(Guizhou Institute of Integrated Agricultural Development, Guiyang 550009, China)

Abstract: Alum in the traditional production of sweet potato powder was replaced by four kinds of natural polysaccharides: Arabic gum, sodium alginate, xanthan gum, and pectin. By quantifying additive types as the factors and additive dosage levels, the quality of sweet potato powder was tested by single factor and compound composition experiments. The experiments showed that the four additives had different effects on sweet potato powder quality. Arabic gum had a great influence on the breaking rate of the sample, and when the addition amount of Arabic gum was 0.1%, the breaking rate of the sample was the lowest, at 23.51%. Sodium alginate mainly affected the rheological properties of the sweet potato starch. At an addition level of 0.5%, the corresponding stress, viscosity, and normal stress were 76.97 Pa, 3.85 Pa·s, and -12.53 Pa, respectively. The effect of xanthan gum on sweet potato powder hardness was great. When the addition level was 0.2%, the hardness reached 18.83 N. Pectin mainly affected sample cohesion and chewiness. When the addition levels were 0.3% and 0.1%, the cohesion and chewiness of the sample reached 0.70 ratio and 20.51 mJ, respectively. The composite additives consisting of 0.1% arabic gum, 0.4% sodium alginate, 0.4% xanthan gum, 0.3% pectin, and that containing 0.2% arabic gum, 0.3% sodium alginate, 0.4% xanthan gum, and 0.1% pectin significantly improved the sweet potato powder properties and quality. The tensile forces of the samples were 0.60 N and 0.62 N, respectively, and the breaking rates were 23.25% and 24.66%, respectively. This result shows that the harmful substance alum that is used in the production of sweet

引文格式:

石彬,李咏富,龙明秀,等.四种多糖代替明矾改善红薯粉的品质特性[J].现代食品科技,2020,36(9):202-210

SHI Bin, LI Yong-fu, LONG Ming-xiu, et al. Enhancing the quality of sweet potato powder with four polysaccharides instead of alum [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(9): 202-210

收稿日期: 2020-03-20

基金项目: 贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2018]2307号); 贵州省特色农产品辐照保鲜技术服务企业行动计划项目(黔科合平台人才[2016]5712号); 贵州省农业科学院青年科技基金项目(黔农科院青年基金[2018]73号)

作者简介: 石彬(1990-), 男, 硕士, 研究实习员, 研究方向: 农产品加工与安全检测

通讯作者: 李咏富(1985-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品辐照加工研究

potato powder can be effectively replaced by the method of compounding natural polysaccharides.

Key words: sweet potato powder; arabic gum; sodium alginate; xanthan gum; pectin

红薯粉是我国常见的一种特色美食,其味道可口,营养丰富,深受广大消费者的喜爱。红薯粉主要由红薯淀粉制作而成,富含了丰富的碳水化合物、维生素和氨基酸,特别是大米和面粉中缺乏的赖氨酸。同时红薯粉所含热量较低,还含有一种类似雌性激素的物质,对保护人体皮肤延缓衰老有一定的作用,是一种理想的保健食品。然而由于红薯淀粉本身的性质^[1-3]以及糊化过程中形成的凝胶特性^[4],导致了红薯粉丝下锅易断条、糊锅等一系列问题^[5]。为了解决红薯粉韧性不足的问题,传统工艺制作红薯粉丝时,往往加入明矾作为添加剂,以增加其韧性和耐煮性^[6]。虽然明矾在一定程度上能够解决红薯粉韧性、耐煮性的问题,但是明矾作为一种有害的食品添加剂,长期食用会在人体沉积,引发痴呆、记忆力衰退、早衰,孕妇过量食用还会影响胎儿脑部发育,造成一系列问题^[7],严重影响人体健康。早在2003年世界卫生组织曾将明矾列为有害食品添加剂,但由于价格低廉,操作方便等特点,在红薯粉丝制作过程中,不少企业仍然存在使用明矾的作为添加剂的现象。

近年来关于无明矾粉条的研究引起了学者广泛关注^[8-12],虽然目前市场上已经出现了无明矾红薯粉,但易断条、不耐煮等问题仍然没有得到较好的解决^[13,14]。因此,对无明矾红薯粉丝制作工艺的研究具有重要的意义。本研究以阿拉伯胶、海藻酸钠、黄原胶、果胶4种天然多糖代替明矾^[15,16],探究了4种多糖胶体添加剂对红薯粉丝品质的影响,并对添加剂量进行不同复合配比进行了研究,以期找到一种安全的无明矾红薯粉制作的新工艺。

1 材料与方法

1.1 原料与仪器

1.1.1 实验材料

龙薯10号红薯淀粉,贵州省农业科学院提供;阿拉伯胶、海藻酸钠、黄原胶、高酯果胶,购于河南万邦实业有限公司,上述试剂均为食品级。

1.1.2 主要仪器设备

TA20 多功能质构仪,上海保圣实业发展有限公司;AYL400 型均质仪,南通奥亚精密机械制造有限公司;VM-5S 卤素水分测试仪,江苏维科特仪器仪表有限公司;MLW-400C 双压头毛细管流变仪,长春市智能仪器设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 无明矾红薯粉丝制作工艺^[17]

水、添加剂
淀粉原料↓打糊(制芡)→和面→煮粉糊化→压面成型→冷却(低温老化)→干燥(自然风干)→成品

工艺要点:

(1)打糊:向红薯淀粉中加入适量的纯净水,搅拌使之充分溶解成均匀的淀粉糊。

(2)煮粉糊化:将充分溶解后的红薯淀粉置于80℃的水浴锅中加热,同时不停对红薯淀粉进行搅拌,直至淀粉变为粘稠透明状。

(3)冷却干燥:将压面成型的红薯粉条浸入冷水中冷却,约10s后迅速取出,在阴凉通风条件下自然冷却干燥。

1.2.2 淀粉流变性质测试

用烧杯称取50g红薯淀粉,加入60mL蒸馏水充分搅拌溶解,直至无颗粒状沉淀。取完全溶解的样品5mL均匀的放入流变仪测试平台,选择黏度测试模式,测试温度25℃,测试时间200s,测试间隔时间1s,剪切速率201/s;取测试时间191~200s之间的10个相对稳定的点,计算其应力、黏度与法相应力,取平均值,每组测试重复3次。

1.2.3 TPA 实验

选择长度相同、粗细均匀的红薯粉丝成品,在沸水中煮至中心白色完全消失,将煮熟的粉条放入4℃冷水中冷却,用吸水纸吸干粉条表面的水分,每次取6根长度一致、大小均匀的粉丝并排放于测试台上,每根粉丝之间留出一定间隙,选择质构仪P50探头进行TPA测试^[18]。每组样品重复做5次平行实验,取平均值作为实验结果。实验参数设定:探头量程:1000N;测定模式:压缩模式,运行速度:50mm/min;压缩型变量:60%;触发感应力:0.038N。

1.2.4 断条率测定

选择长短、大小均一的红薯粉丝成品40根,在蒸馏水中煮沸20min,计算煮后粉丝断后的条数^[19]。每组样品重复测试3次,取平均值。

断条率=断后条数÷原样品条数×100%

1.2.5 拉伸实验

取粗细均匀,长度一致的红薯粉样品,在沸水中煮至中间白丝完全消失,冷却后用吸水纸吸干粉丝表明水分,然后将粉丝两端分别用夹具固定,进行拉伸

测试。选择质构仪测定模式为拉伸测试;探头为 A/SR 夹具;拉升距离: 40 mm;感应力 0.038 N;测试前速度 3 mm/s;测试速度 1 mm/s;测试后速度 3 mm/s; 每组测试重复 5 次,取平均值。

1.2.6 单因素实验

表 1 单因素实验表

Table 1 Single-factor experiment table

水平	因素			
	A 阿拉伯胶/%	B 海藻酸钠/%	C 黄原胶/%	D 果胶/%
1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.2	0.2	0.2	0.2
3	0.3	0.3	0.3	0.3
4	0.4	0.4	0.4	0.4
5	0.5	0.5	0.5	0.5

1.2.7 添加剂复配实验

根据单因素实验结果,选择每种添加剂最合适的三组添加水平,根据正交实验中四因素三水平的方法,进行复配添加剂配置,按照 1.2.1 中的方法,制作 9 组红薯粉丝样品,按上述的方法对其品质进行测试。

1.2.8 数据处理

选择阿拉伯胶、海藻酸钠、黄原胶、果胶四种天然添加剂作为研究对象,分别考查了 4 种不同添加剂在 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%和 0.5%五个水平上对红薯粉品质的影响,如表 1 所示。

采用 Origin 9.0 软件进行作图;采用 SPSS 19.0 软件进行实验数据统计分析处理,使用 Duncan 显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同添加剂对红薯淀粉流变性质的影响

表 2 不同添加剂对淀粉流变性质的影响

Table 2 Effect of different additives on the starch properties

添加剂种类	添加量/%	应力/Pa	黏度/(Pa·s)	法向应力/Pa	
空白	0	0.19±0.01	0.01±0.01	-90.52±5.62	
	阿拉伯胶	0.1	0.74±0.05 ^a	0.03±0.01 ^a	-71.61±6.83 ^a
		0.2	1.53±0.08 ^b	0.07±0.03 ^b	-66.71±3.22 ^b
		0.3	4.53±0.24 ^c	0.22±0.01 ^c	-66.30±5.43 ^b
		0.4	7.35±0.71 ^d	0.36±0.02 ^d	-56.30±4.81 ^c
		0.5	14.32±0.91 ^e	0.71±0.02 ^e	-54.60±3.25 ^d
海藻酸钠	0.1	1.15±0.19 ^a	0.06±0.01 ^a	-44.36±4.94 ^a	
	0.2	2.17±0.16 ^b	0.11±0.01 ^b	-55.67±4.37 ^b	
	0.3	23.64±2.36 ^c	1.18±0.06 ^b	-30.74±2.15 ^c	
	0.4	35.50±2.97 ^d	1.77±0.12 ^c	-33.48±2.33 ^d	
	0.5	76.97±5.98 ^e	3.85±0.28 ^c	-12.53±0.87 ^e	
黄原胶	0.1	1.91±0.17 ^a	0.09±0.01 ^a	-59.49±5.62 ^a	
	0.2	2.03±0.14 ^a	0.10±0.01 ^a	-60.12±5.14 ^a	
	0.3	15.27±2.33 ^b	0.76±0.03 ^b	-21.49±1.89 ^b	
	0.4	18.37±1.67 ^c	0.92±0.08 ^c	-42.92±1.65 ^c	
	0.5	26.89±2.38 ^d	1.34±0.12 ^d	-14.35±1.02 ^d	
果胶	0.1	2.74±0.21 ^a	0.14±0.02 ^a	-37.52±3.23 ^a	
	0.2	16.63±1.33 ^b	0.83±0.06 ^b	-20.71±1.88 ^b	
	0.3	11.87±1.02 ^c	0.59±0.04 ^c	-32.74±2.44 ^c	
	0.4	17.35±0.99 ^b	0.876±0.07 ^b	-15.49±0.09 ^d	
	0.5	27.08±1.32 ^d	1.35±0.09 ^d	-3.59±0.29 ^e	

注:不同添加剂同列中不同字母表示差异性显著 ($p < 0.05$)。

表3 红薯淀粉特性与红薯粉性质的相关系数

Table 3 Correlation coefficient between the characteristics of sweet potato starch and the properties of sweet potato powder

	硬度/N	弹性/mm	拉伸力/N	断条率/%	含水量/%
应力/Pa	0.61*	0.66**	0.61*	-0.51*	0.54*
黏度/(Pa·s)	0.72**	0.59*	0.71**	-0.54*	0.61**
法向应力/Pa	0.58*	0.53*	0.58*	-0.48	0.31

注：“*”表示在0.05水平（双侧）上显著；“**”表示在0.01水平上显著。

实验采用龙薯10号红薯淀粉，其淀粉率平均含量约为19.26%，其中直连淀粉平均含量约为27.04%，可溶性糖平均含量约为3.02%，维生素平均含量约为0.22 mg/g。应力和黏度是反映流变性质的重要指标，应力代表在受外因而产生变形时，物体内各部分之间产生单位面积上的内力，法向应力反映了同截面垂直的内力，而黏度代表了分子间相互吸引力的大小。按照1.3种的方法，考查了四种不同添加剂对红薯淀粉流变性质的影响，同时分析了淀粉流变性质与红薯粉品质的相关性，测试结果如下表2、表3所示。由表2可知，在未添加任何添加剂的时候，样品的应力为0.19 Pa，黏度为0.01 Pa·s，法向应力-90.52 Pa，显著低于其它组样品。根据结果分析，红薯淀粉的应力、黏度和法向应力等性质与添加水平呈正相关，其中海藻酸钠对淀粉的流变性质影响最大，当添加量达到0.5%时，样品的应力、黏度以及法向应力分别为：76.97 Pa、3.85 Pa·s以及-12.53 Pa，显著高于其它添加剂（ $p < 0.05$ ）；阿拉伯胶对样品流变性质相对影响较小，在添加水平为0.5%时，样品应力、黏度以及法向应力分别为14.32 Pa、0.71 Pa·s、-54.60 Pa，显著低于同等剂量的海藻酸钠、黄原胶以及果胶（ $p < 0.05$ ）。

廖卢艳等^[4]研究了淀粉糊化特性与粉条品质的相关性，认为淀粉糊化特性指标与粉条品质之间均存在相关性。其中峰值黏度、谷值黏度与粉条硬度在0.01水平上正相关，峰值黏度与断条率之间在0.01水平上负相关。余树玺等^[18]对甘薯淀粉的成分和物化性质与粉条品质之间的相关性进行了分析，发现甘薯淀粉的直链淀粉和脂质含量、回生黏度、峰值时间、糊化温度、膨胀势、老化值等指标与甘薯粉条品质呈正相关，而甘薯淀粉的溶解度和粒径等指标与甘薯粉条品质呈负相关。由表3可知，根据研究结果，红薯淀粉的应力、黏度等性质与红薯粉样品品质之间存在着一定的相关性。其中淀粉的应力与样品的弹性、淀粉黏度与样品硬度、拉伸力之间达到了0.01水平正相关；淀粉应力与样品硬度、拉伸力以及均在0.05水平上正相关，与断条率在0.05水平上负相关；淀粉黏度与样品弹性在0.05水平上正相关，与断条率在0.05水平上负相关；法向应力则与样品的硬度、弹性、拉伸力在0.05水平

上正相关，与样品断条率和相关性不显著。

实验结果与廖卢艳等^[4]和余树玺等^[18]研究结论一致，表明淀粉的流变性质与红薯粉品质具有密切相关性。样品的应力、黏度以及法向应力等性质与添加剂的量呈正相关，其中海藻酸钠对红薯淀粉性质影响最大，阿拉伯胶对红薯淀粉性质影响最小。

2.2 不同添加剂对红薯粉凝胶性质的影响

通过TPA单因素实验，研究了四种多糖对红薯粉凝胶性质的影响，结果如表4所示。淀粉分子在糊化时，直链淀粉分子会从淀粉粒中逸出，淀粉分子链能够通过氢键发生交联^[20]，可溶性的直链淀粉形成三维网络凝胶结构，溶胀淀粉碎片和颗粒将填充在直链淀粉所产生的网络结构中，形成凝胶。而多糖作为添加剂的加入，能增加淀粉的黏度，增强淀粉与水的结合能力，使直链淀粉糊化时形成的凝胶基质增多，促进了凝胶网络的形成，从而增强样品的弹性、韧性等品质。由表可知，阿拉伯胶对样品粘附性影响大于其它添加剂，当阿拉伯胶添加量为0.1%、0.2%和0.3%三个水平时，红薯粉样品的硬度、粘附性、弹性、胶粘性达到最大值，分别为18.70 N、0.11 mJ、1.94 mm和10.23 N，显著高于其他水平（ $p < 0.05$ ），说明阿拉伯胶在添加水平0.1%~0.3%之间，对样品的凝胶性质提升最大；海藻酸钠对红薯粉样品的咀嚼性影响明显，当海藻酸钠添加量为0.2%、0.3%、0.4%三个水平时，除内聚性外，硬度、粘附性、弹性、胶粘性、咀嚼性的最大值分别为18.23 N、0.05 mJ、1.91 mm、10.43 N、19.48 mJ，较空白样品有较大提升，而在为0.1%和0.5%时两个水平时，硬度、内聚性、胶粘性与空白样品差异不显著（ $p < 0.05$ ）。可能由于海藻酸钠添加量过低，不能完全发挥增稠作用；而添加量太高时，会影响淀粉分子链间的氢键堆积结晶，从而影响凝胶性质，故0.2%~0.4%为海藻酸钠合适的添加水平；黄原胶对红薯粉的硬度性影响较大，当黄原胶添加量为0.2%、0.3%、0.4%时，样品的硬度、粘附性、内聚性、弹性、胶粘性、咀嚼性均达到最大值，分别为18.83 N、0.06 mJ、0.54 Ratio、1.94 mm、9.67 N、14.57 mJ，显著高于其它添加水平（ $p < 0.05$ ），表明添水平在0.2%~0.4%

时样品的凝胶性质提升较大; 果胶主要影响样品的内聚性、咀嚼性, 当果胶添加量为 0.1% 时, 红薯粉样品硬度、粘附性、胶粘性、咀嚼性达到最大值, 分别为 17.43 N、0.09 mJ、10.87 N、20.51 mJ, 与其它添加水

平存在显著差异 ($p < 0.05$), 当添加水平为 0.2% 和 0.3% 时, 样品的弹性、内聚性达到最大值, 分别为 1.87 mm 和 0.7 Ratio。当果胶添加水平为 0.1%、0.2% 和 0.3% 时, 红薯粉样品的各项凝胶性质明显提高。

表 4 不同添加剂单因素 TPA 实验

Table 4 Single-factor TPA test for different additives

添加剂	添加量/%	硬度/N	粘附性/mJ	内聚性/Ratio	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mJ
无	0	12.20±1.28	0.035±0.01	0.48±0.02	1.03±0.07	8.70±0.72	11.65±0.82
	0.1	17.53±1.22 ^{ab}	0.09±0.01 ^{ab}	0.55±0.03 ^a	1.67±0.11 ^a	9.67±0.64 ^a	16.14±1.33 ^a
	0.2	18.70±1.04 ^b	0.11±0.01 ^b	0.55±0.03 ^a	1.94±0.16 ^b	10.13±1.76 ^a	16.82±1.28 ^a
	0.3	17.10±1.64 ^a	0.11±0.01 ^b	0.60±0.05 ^{ab}	1.84±0.21 ^{ab}	10.23±0.94 ^a	18.87±0.95 ^a
	0.4	14.97±0.86 ^c	0.06±0.01 ^c	0.62±0.03 ^b	1.62±0.09 ^a	9.3±0.88 ^a	18.1±0.76 ^a
	0.5	15.57±0.92 ^c	0.05±0.01 ^c	0.60±0.01 ^{ab}	1.66±0.14 ^a	9.43±0.43 ^a	16.22±2.42 ^a
海藻酸钠	0.1	15.97±0.98 ^a	0.02±0.01 ^a	0.63±0.07 ^a	1.50±0.22 ^a	10.13±1.83 ^a	19.08±2.01 ^{ab}
	0.2	15.97±1.31 ^a	0.05±0.01 ^b	0.64±0.04 ^a	1.91±0.17 ^b	10.23±1.01 ^a	19.48±2.25 ^b
	0.3	14.43±0.81 ^b	0.05±0.01 ^b	0.62±0.04 ^{ab}	1.87±0.12 ^b	8.97±0.67 ^b	19.43±1.44 ^b
	0.4	18.23±1.11 ^c	0.05±0.01 ^b	0.57±0.03 ^c	1.61±0.07 ^a	10.43±0.92 ^a	16.75±1.08 ^a
	0.5	12.4±1.09 ^d	0.02±0.01 ^a	0.58±0.05 ^{bc}	1.54±0.09 ^a	7.23±0.61 ^c	13.24±0.85 ^c
黄原胶	0.1	16.4±1.32 ^c	0.02±0.01 ^a	0.36±0.02 ^b	1.50±0.13 ^a	5.90±0.41 ^a	6.95±0.40 ^a
	0.2	18.83±2.11 ^b	0.06±0.01 ^b	0.39±0.03 ^b	1.89±0.09 ^b	7.30±0.56 ^b	14.57±1.01 ^b
	0.3	18.73±1.86 ^b	0.06±0.01 ^b	0.39±0.01 ^b	1.94±0.07 ^b	9.67±0.69 ^c	11.96±0.98 ^c
	0.4	17.83±0.96 ^a	0.05±0.01 ^b	0.54±0.04 ^a	1.82±0.18 ^b	7.37±0.51 ^b	7.21±0.62 ^a
	0.5	14.8±1.01 ^d	0.02±0.01 ^a	0.5±0.03 ^a	1.43±0.14 ^a	7.37±0.32 ^b	5.34±0.32 ^a
果胶	0.1	17.43±1.66 ^a	0.09±0.01 ^a	0.62±0.06 ^{abc}	1.59±0.26 ^a	10.87±1.35 ^a	20.51±2.66 ^a
	0.2	16.53±0.84 ^b	0.05±0.01 ^b	0.58±0.04 ^a	1.87±0.23 ^b	8.60±1.06 ^c	17.90±1.25 ^b
	0.3	8.47±0.79 ^c	0.05±0.01 ^b	0.70±0.08 ^c	1.86±0.17 ^b	5.87±0.48 ^b	10.25±1.31 ^c
	0.4	9.63±1.19 ^d	0.05±0.01 ^b	0.66±0.06 ^{bc}	1.68±0.83 ^a	6.37±0.42 ^b	8.14±0.62 ^c
	0.5	8.27±0.75 ^c	0.07±0.01 ^c	0.61±0.02 ^{ab}	1.45±0.16 ^a	5.03±0.37 ^b	9.93±0.71 ^c

注: 不同添加剂同列中不同字母表示差异性显著 ($p < 0.05$)。

2.3 不同添加剂对红薯粉断条率、拉伸力的影响

断条率主要反映红薯粉条的耐煮性质, 拉伸力主要反映了粉条的韧性强度, 二者与红薯粉品质有密切相关。在相同条件下分别考查了不同种类的多糖对红薯粉断条率、含水量以及拉伸力的影响, 结果如表 5 所示。由结果可知, 阿拉伯胶主要影响样品断条率, 当阿拉伯胶添加量为 0.1%~0.3% 之间时, 样品断条率最低, 最小值为 23.33%, 当添加水平继续升高时, 断条率随之上升; 当添加量为 0.3% 时, 样品拉伸力为 0.46 N, 与其它水平存在显著差异 ($p < 0.05$), 随后拉伸力开始减小。可能是由于添加量过高会阻碍淀粉分子链的迁移, 淀粉分子链间的氢键堆积结晶从而受到影响, 形成的粉丝易脆易断, 从而影响了其拉伸性能。通过分析, 阿拉伯胶优化结果与 TPA 实验基本一致, 故选择阿拉伯胶添加量为 0.1%、0.2%、0.3% 三个水

平作为正交水平; 海藻酸钠主要影响样品的拉伸力, 当海藻酸钠添加量为 0.4% 时, 样品拉伸力达到 0.56 N, 显著高于其它添加剂 ($p < 0.05$)。海藻酸钠添加量为 0.2%~0.4% 时, 其拉伸力达到最大, 断条率也处在较低的水平, 结合 TPA 单因素实验结果, 选择海藻酸钠添加量 0.2%、0.3%、0.4% 三组水平作为正交水平。在黄原胶作为添加剂时, 当添加量 0.3% 时, 断条率达到最低, 为 27.50%; 当添加水平为 0.3% 和 0.4% 时, 拉伸力分别为 0.41 N 和 0.42 N, 显著高于其它添加水平 ($p < 0.05$)。结合 TPA 实验结果, 选择 0.2%、0.3%、0.4% 三组水平作为正交实验水平; 当果胶作为添加剂时, 样品断条率在添加水平为 0.2%~0.4% 时处于较低水平, 最小值为 24.17%。当添加量为 0.5% 时, 拉伸力则在添加量为 0.1%~0.3% 时最大, 最大值为 0.45 N, 显著高于其它添加水平 ($p < 0.05$)。结合 TPA 单因素优化结果, 选择 0.1%、0.2% 和 0.3% 三个水平作为正

交实验水平。倪小宇等^[15]研究了明矾、海藻酸钠、瓜尔豆胶、魔芋胶对红薯品质的影响,当添加水平为10%时,断条率分别为15%、30%、45%和25%。相比之下,本研究添加水平在0.5%之内,能够显著节约成本,具有一定优势。

表5 不同添加剂对样品断条率及拉伸力的影响

Table 5 Effects of different additives on the sample breaking rate and tensile force

添加剂种类	添加量/%	断条率/%	拉伸力/N
空白	0	52.50±2.04	0.12±0.02
阿拉伯胶	0.1	23.33±1.17 ^a	0.31±0.01 ^a
	0.2	28.33±3.11 ^{ab}	0.39±0.02 ^b
	0.3	30.00±2.04 ^b	0.46±0.03 ^c
	0.4	36.67±3.12 ^c	0.31±0.03 ^a
	0.5	50.83±1.18 ^d	0.28±0.01 ^d
海藻酸钠	0.1	39.17±1.20 ^b	0.31±0.02 ^a
	0.2	41.67±1.20 ^b	0.46±0.04 ^b
	0.3	27.50±2.10 ^a	0.51±0.04 ^c
	0.4	48.33±3.12 ^c	0.56±0.06 ^d
	0.5	50.83±1.74 ^c	0.32±0.02 ^c
黄原胶	0.1	36.37±2.36 ^a	0.26±0.01 ^a
	0.2	30.83±1.18 ^b	0.34±0.02 ^b
	0.3	27.50±2.04 ^b	0.41±0.02 ^c
	0.4	35.83±1.17 ^a	0.42±0.03 ^c
	0.5	41.67±1.17 ^c	0.21±0.01 ^d
果胶	0.1	35.00±2.14 ^a	0.39±0.03 ^a
	0.2	25.83±1.25 ^{bc}	0.45±0.05 ^b
	0.3	29.17±1.18 ^c	0.41±0.03 ^c
	0.4	24.17±1.22 ^b	0.23±0.01 ^d
	0.5	45.00±2.10 ^d	0.23±0.01 ^d

注:不同添加剂同列数据右肩不同字母表示差异性显著($p < 0.05$)。

表6 不同复合添加剂试验表

Table 6 Test table for different composite additives

序号	因素			
	A 阿拉伯胶/%	B 海藻酸钠/%	C 黄原胶/%	D 果胶/%
1	0.1	0.2	0.2	0.1
2	0.1	0.3	0.3	0.2
3	0.1	0.4	0.4	0.3
4	0.2	0.2	0.3	0.3
5	0.2	0.3	0.4	0.1
6	0.2	0.4	0.2	0.2
7	0.3	0.2	0.4	0.2
8	0.3	0.3	0.2	0.3
9	0.3	0.4	0.3	0.1

2.4 添加剂复配实验

根据单因素实验结果,选择不同添加剂水平,根据正交实验中四因素三水平的方法,进行复配添加剂实验,实验编码如表6所示。但在实际操作中,发现按照原剂量配置复合添加剂时,存在淀粉浆过稠,无法进行糊化的问题,故在进行复合添加剂配置时,将所有剂量按比例减为原四分之一进行实验。

2.5 不同复合添加剂对红薯淀粉性质的影响

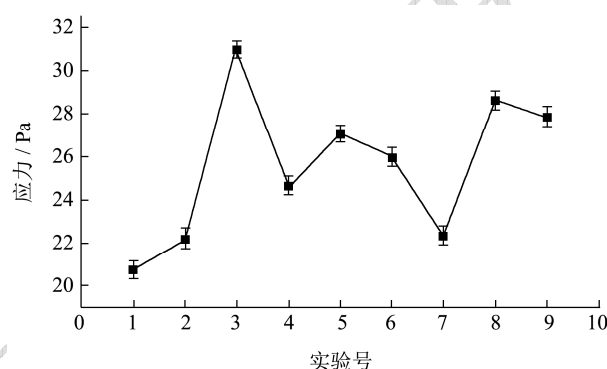


图1 不同复合添加剂对红薯淀粉面团应力的影响

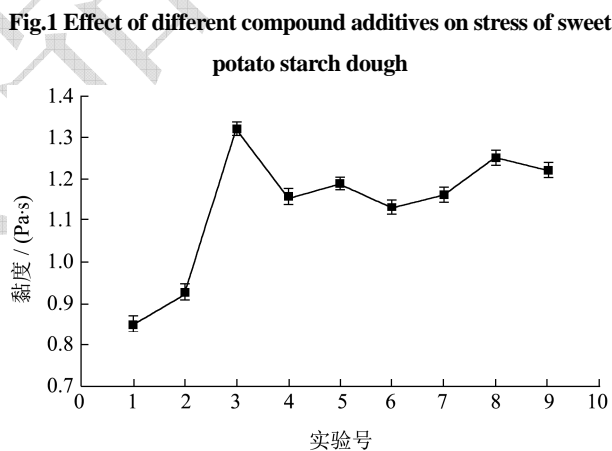


图2 不同复合添加剂对红薯淀粉面团黏度的影响

Fig.2 Effect of different composite additives on the viscosity of sweet potato starch dough

按照1.2.2的实验方法,通过正交实验,考查了不同复合添加剂对红薯淀粉性质影响,结果如图1和图2所示。由结果可知,不同复合添加剂对红薯淀粉性质的影响存在明显差异,其中3号、8号和9号添加剂对淀粉的应力的提升最大,对应样品的应力分别为30.95、28.60、27.74 Pa。而1号和2号添加剂则对淀粉应力影响最小,应力大小分别为20.69、22.07 Pa;不同的复合添加剂对红薯淀粉黏度与应力的影响趋势基本一致,结果表明,3号样品的黏度为1.32 Pa·s,显著高于其它组样品($p < 0.05$),4号到9号样品黏度分别为1.15、1.19、1.13、1.16、1.25、1.22 Pa·s,之

间差异不显著 ($p>0.05$), 1 号和 2 号样品黏度最低, 分别为 0.85、0.92 Pa·s。由结果可以看出, 一定范围内, 淀粉的应力和黏度与复合添加剂的添加的总量呈正相关, 当复合添加剂中添加剂的总量越大时, 样品相应的应力和黏度就越高, 同时复合添加剂中海藻酸钠的量也是影响淀粉性质的一个重要因素, 由结果可以看出, 当复合添加剂中海藻酸钠的量较高时, 样品的应力与黏度也就相对越高。

2.6 不同复合添加剂对红薯粉凝胶性质的影响

按照 1.2.3 的方法, 通过 TPA 测试研究了不同复合添加剂对红薯粉样品性质的影响, 结果如表 9 所示。根据实验结果, 通过逐项比较发现: 9 组样品中硬度较大的为 3 号、5 号和 8 号样品, 大小分别为 22.03、

25.13、22.17 N, 显著高于其它样品 ($p<0.05$); 粘附性较大的为 5 号、8 号样品, 大小分别为 0.18、0.23 mJ, 在 0.05 水平上与其它样品存在显著差异; 3 号样品内聚性为 0.97 Ratio, 显著高于其它样品 ($p<0.05$); 弹性较大的为 3 号、5 号样品, 大小分别为 3.87、3.13 mm, 显著高于其它样品 ($p<0.05$); 胶粘性较大的为 3 号、5 号样品, 大小分别为 13.73、14.51 N, 显著高于其它样品 ($p<0.05$); 咀嚼性最大的则为 5 号样品, 大小为 24.33 mJ, 与其它样品存在显著差异 ($p<0.05$)。通过综合分析, 3 号和 5 号复合添加剂对样品的凝胶性质综合提升效果优于其它复合添加剂, 即 $A_1B_3C_3D_3$ 和 $A_2B_2C_3D_1$ 两组添加剂对样品的凝胶性质影响最大, 能够有效提升红薯相关品质。

表 7 不同复合添加剂对样品 TPA 性质的影响

Table 7 Effects of different composite additives on TPA properties of samples

编号	硬度/N	粘附性/mJ	内聚性/Ratio	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mJ
1	18.00±1.55 ^a	0.02±0.01 ^a	0.66±0.05 ^a	2.09±0.18 ^a	9.74±0.73 ^a	20.13±1.68 ^{ac}
2	19.53±1.83 ^{bs}	0.12±0.01 ^b	0.79±0.08 ^b	2.01±0.21 ^b	10.67±0.93 ^b	19.48±1.44 ^b
3	22.03±2.02 ^c	0.14±0.02 ^c	0.97±0.11 ^c	3.87±0.29 ^c	13.73±1.57 ^c	20.12±2.31 ^{ac}
4	20.6±1.54 ^d	0.12±0.01 ^b	0.68±0.04 ^d	1.95±0.11 ^{bd}	11.12±1.74 ^d	19.71±2.47 ^{ab}
5	25.13±2.16 ^e	0.18±0.02 ^d	0.75±0.07 ^e	3.13±0.24 ^e	14.51±1.20 ^e	24.33±1.76 ^d
6	18.93±1.62 ^b	0.10±0.01 ^e	0.59±0.04 ^f	2.86±0.19 ^f	9.37±0.82 ^a	18.41±0.98 ^e
7	16.83±1.33 ^f	0.11±0.01 ^f	0.63±0.06 ^g	2.00±0.09 ^b	9.70±0.77 ^a	19.44±1.23 ^b
8	22.17±2.14 ^c	0.23±0.02 ^g	0.62±0.06 ^h	1.69±0.12 ^g	8.91±0.52 ^f	17.09±1.57 ^f
9	20.23±1.88 ^{ds}	0.09±0.01 ^h	0.53±0.04 ⁱ	1.89±0.23 ^d	9.57±1.03 ^a	20.16±1.94 ^c

注: 同列右肩不同字母表示差异性显著 ($p<0.05$)。

2.7 不同复合添加剂对红薯粉样品拉伸力与断条率的影响

研究了不同复合添加剂对红薯粉样品的拉伸力以及断条率的影响, 结果如图 3、图 4 所示。由结果可知, 不同的复合添加剂对样品的拉伸力以及断条率的影响存在较大差异。由图 3 可知, 1 号与 2 号样品的拉伸力最小, 分别为 0.43 N 和 0.44 N, 显著低于其它组样品 ($p<0.05$); 3 号、5 号与 8 号样品拉伸力较大, 分别为 0.61 N、0.62 N 和 0.58 N; 由图 4 可知, 1 号、2 号、8 号、9 号样品断条率分别为 29.17%、28.33%、30.83%、29.17%, 显著高于其它组样品 ($p<0.05$), 而 3 号、4 号、5 号、6 号、7 号样品断条率较低, 分别为 23.33%、24.17%、23.33%、24.17%、23.33%, 且之间无显著性差异 ($p>0.05$), 说明 3-7 号复合添加剂对降低红薯粉样品的断条率有较好的效果。结合 TPA 实验结果分析, 表明 3 号和 5 号复合添加剂, 即

$A_1B_3C_3D_3$ 和 $A_2B_2C_3D_1$ 能够有效改善红薯粉的品质, 增强其凝胶特性、拉伸力, 降低断条率。李小婷等^[5]研究了羟丙基二淀粉磷酸酯、蜡质马铃薯淀粉、沙蒿胶对红薯粉性质的影响, 结果表明复合添加剂对粉丝质构的改进作用优于单个添加剂的作用, 与本研究成果一致。

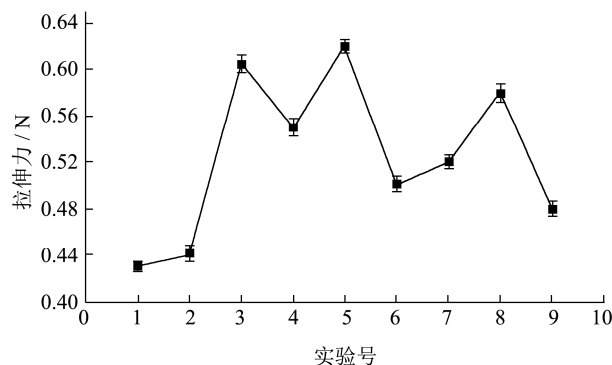


图 3 不同复合添加剂对样品拉伸力的影响

Fig.3 Effect of different compound additives on tensile force of samples

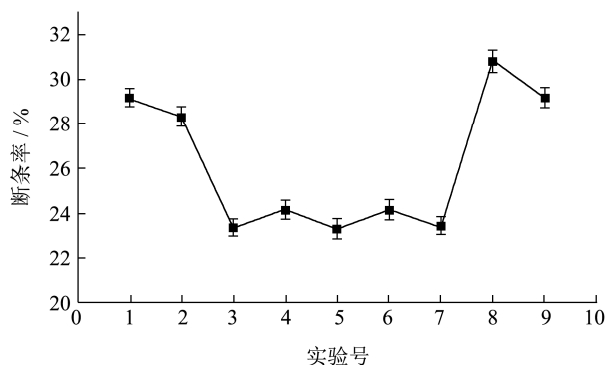


图4 不同复合添加剂对样品断条率的影响

Fig.4 Effect of different composite additives on the sample breaking rate

3 结论

阿拉伯胶、海藻酸钠、黄原胶以及果胶四种天然多糖化合物添加剂能有效的提升红薯粉的韧性与拉伸等特性,四种添加剂能够作为增稠剂,增加淀粉面团的黏度与应力,促进淀粉分子网状结构交联点的形成,能增加凝胶弹性,提升样品品质。在一定范围内,样品品质随着添加剂量上升而提高,当添加剂量达到一定水平时样品品质开始下降。复配实验表明,4种多糖复配而成的复合添加剂能够进一步提升红薯粉品质,其中阿拉伯胶0.1%、海藻酸钠0.4%、黄原胶0.4%、果胶0.3%与阿拉伯胶0.2%、海藻酸钠0.3%、黄原胶0.4%、果胶0.1%的两种复合胶体对改善红薯粉品质效果最好,可作为明矾的有效替代品,提升红薯粉的品质。

参考文献

[1] CHEN Zheng-hong, H A Schols, A G J Voragen. Physicochemical properties of starches obtained from three varieties of Chinese sweet potatoes [J]. Journal of Food Science, 2003, 68(2): 431-437

[2] 廖卢艳,蒋立文,张喻,等.不同改性方法对红薯淀粉性质及粉条品质的影响研究[J].中国粮油学报,2015,30(11):49-53

LIAO Lu-yan, JIANG Li-wen, ZHANG Yu, et al. Effect of different modification methods on the properties of sweet potato starch and the quality of powder bar [J]. Journal of Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(11): 49-53

[3] Tam LM, Corke H, Tan WT, et al. Production of bihon-type noodles from maize starch differing in amylose content [J]. Cereal Chemistry, 2004, 81(4): 475-480

[4] 廖卢艳,吴卫国.不同淀粉糊化及凝胶特性与粉条品质的关系[J].农业工程学报,2014,30(15):332-338

LIAO Lu-yan, WU Wei-guo. Relationship between different

starch gelatinization and gel properties and powder quality [J]. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(15): 332-338

[5] 李小婷,闫淑琴,刘碧婷,等.无矾红薯粉丝品质改进[J].食品科技,2011,4:131-135,139

LI Xiao-ting, YAN Shu-qin, LIU Bi-ting, et al. Quality improvement of sweet potato vermicelli without alum [J]. Food Science and Technology, 2011, 4: 131-135, 139

[6] 史琦云,梁琪,黄蒿籽胶提取工艺及流变学特性的研究[J].甘肃农业大学学报,2005,40(2):220-223

SHI Qi-yun, LIANG Qi. Extraction technology and rheological characteristics of *Artemisia annua* seeds [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2005, 40(2): 220-223

[7] 范会平,李瑞,王娜,等.冷冻工艺对无铝红薯粉条品质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(8):142-146

FAN Hui-ping, LI Rui, WANG Na, et al. Effect of freezing process on quality of non-aluminum sweet potato powder [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(8): 142-146

[8] 王家良,陈光远,王改玲.无矾红薯粉丝的研制及加工工艺[J].食品与发酵工业,2008,12:98-101

WANG Jia-liang, CHEN Guang-yuan, WANG Gai-ling. Development and processing technology of non-aluminum sweet potato powder [J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 12: 98-101

[9] 吴仲珍,刘治江,李育生,等.无矾魔芋红苕粉条的研制及加工工艺[J].安徽农业科学,2013,24:258-260,264

WU Zhong-zhen, LIU Zhi-jiang, LI Yu-sheng, et al. Development and processing technology of non-aluminum amorphophallus konjac vermicelli [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2013, 24: 258-260, 264

[10] 巫东堂,周柏玲,卢健鸣,等.无铝粉丝(条)研制及生产工艺研究[J].农业工程学报,2003,1:162-164

WU Dong-tang, ZHOU Bai-ling, LU Jian-ming, et al. Development and production technology of non-aluminum fans [J]. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 1: 162-164

[11] 索海英,德力格尔桑,张航.无明矾马铃薯粉丝制作工艺及其性能的研究[J].粮食与食品工业,2011,2:32-35

SUO Hai-ying, DELIGEL Sang, ZHANG Hang. Study on fabrication technology and properties of non-aluminum potato vermicelli [J]. Cereal & Food Industry, 2011, 2: 32-35

[12] 鄂晶晶,张晶,雒帅,等.无矾粉条、粉丝明矾替代物的研究进展[J].中国食物与营养,2019,25(3):20-25

- E Jing-jing, ZHANG Jing, LUO Shuai, et al. Advances in research on substitutions of non-aluminum powder and vermicelli [J]. Food and Nutrition in China, 2019, 25(3): 20-25
- [13] 唐欢欢,范子玮,邓利玲,等.明矾和魔芋葡甘聚糖对红薯粉丝品质的影响及相互作用机理[J].食品与发酵工业,2019,45(9):237-245
TANG Huan-huan, FAN Zi-wei, DENG Li-ling, et al. Effect of alum and *Amorphophallus konjac* glucomannan on quality of sweet potato vermicelli and its interaction mechanism [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(9): 237-245
- [14] 苏晶,姜英杰,陈玉波.无矾粉丝复合添加剂的研制[J].食品研究与开发,2013,9:143-146
SU Jing, JIANG Ying-jie, CHEN Yu-bo. Development of compound additives for alum free fans [J]. Food Research and Development, 2013, 9: 143-146
- [15] 倪小宇,唐洪波.影响粉条品质的关键因素研究[J].科技创新导报,2017,11:112-114
NI Xiao-yu, TANG Hong-bo. Study on the key factors affecting the quality of powder strips [J]. Science and Technology Innovation Herald, Science and Technology Innovation Bulletin, 2017, 11: 112-114
- [16] 杨书珍,于康宁,黄启星,等.明矾替代物对甘薯粉丝品质的影响[J].中国粮油学报,2009,24(10):54-58
YANG Shu-zhen, YU Kang-ning, HUANG Qi-xing, et al. Effect of alum substitution on sweet potato vermicelli quality [J]. Journal of Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(10):54-58
- [17] 岳晓霞,王梁,刘广,等.马铃薯粉丝生产工艺条件的优化[J].食品与机械,2013,2:184-187
YUE Xiao-xia, WANG Liang, LIU Guang, et al. Optimization of potato vermicelli production process conditions [J]. 2013, 2: 184-187
- [18] 余树玺,邢丽君,木泰华,等.4种不同甘薯淀粉成分、物化特性及其粉条品质的相关性研究[J].核农学报,2015,4:734-742
YU Shu-xi, XING Li-jun, MU Tai-hua, et al. Study on correlation of starch composition, physical and chemical properties and powder quality of 4 sweet potato [J]. Journal of Nuclear Agriculture Sciences, 2015, 4: 734-742
- [19] Wandee Yuree, Uttapap Dudsadee, Pancha-arnon Santhanee, et al. Quality assessment of noodles made from blends of rice flour and canna starch [J]. Food Chemistry, 2015, 179(15): 85-93
- [20] 姚映西.湿热改性处理对大米粉性质影响[J].粮食与油脂,2016,2:60-64
YAO Ying-xi. Effects of wet heat modification on properties of rice noodles [J]. Cereals & Oils, 2016, 2: 60-64

(上接第 61 页)

- [23] Franklin N M, Stauber J L, Apte S C, et al. Effect of initial cell density on the bioavailability and toxicity of copper in microalgal bioassays [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2002, 21(4): 742-751
- [24] Robinson T P, Aboaba O O, Kaloti A, et al. The effect of inoculum size on the lag phase of *Listeria monocytogenes* [J]. International Journal of Food Microbiology, 2001, 70(1-2): 163-173
- [25] CHEN Feng, ZHANG Yi-ming. High cell density mixotrophic culture of *Spirulina platensis* on glucose for phycocyanin production using a fed-batch system [J]. Enzyme and Microbial Technology, 1997, 20(3): 221-224
- [26] Sarian F D, Rahman D Y, Schepers O, et al. Effects of oxygen limitation on the biosynthesis of photo pigments in the red microalgae *Galdieria sulphuraria* strain 074G [J]. Plos One, 2016, 11(2): e0148358
- [27] Chaiklahan R, Khonsam N, Chirasuwan N, et al. Response of *Spirulina platensis* C1 to high temperature and high light intensity [J]. Kasetsart Journal - Natural Science, 2007, 41(1): 123-129
- [28] XIE You-ping, JIN Yi-wen, ZENG Xian-hai, et al. Fed-batch strategy for enhancing cell growth and C-phycocyanin production of *Arthrospira (Spirulina) platensis* under phototrophic cultivation [J]. Bioresource Technology, 2015, 180: 281-287