

假酸浆子胶与海藻酸钠凝胶球的质构特性

陈梦洁¹, 金忠兴², 李志勇¹, 杜杰¹, 王正武^{2,*}, 钟耀广^{1,*}

(1.上海海洋大学食品学院, 上海 201306;

2.上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240)

摘要:制备了假酸浆子胶、海藻酸钠以及二者混胶的凝胶球, 研究了混胶的最佳配比, 并且利用质构仪对胶球的硬度、咀嚼性、回弹性进行了分析, 结果表明: 在不同胶体浓度、钙浓度、凝胶时间、温度和 pH 条件下, 假酸浆胶球的硬度和咀嚼度均低于海藻酸钠胶球; 海藻酸钠胶球的硬度和咀嚼度均随着胶体浓度增大而增大, 随凝胶温度升高而降低; 假酸浆胶球的硬度也随胶体浓度增大而增大, 随凝胶温度升高而降低, 但当胶体浓度达到 10 g/L 之后, 假酸浆胶球咀嚼度达到最大, 并趋于平稳; pH < 3 时假酸浆凝胶硬度、咀嚼度的稳定性高于海藻酸钠凝胶; 海藻酸钠胶球的回弹性高于假酸浆胶球, 但胶球易破裂; 通过胶体复配可有效提高假酸浆凝胶初始硬度和咀嚼度, 假酸浆和海藻酸钠质量比为 3:7 时, 混胶凝胶球呈现出较好的质构特性。

关键词:假酸浆子胶, 海藻酸钠, 凝胶球, 凝胶特性, 质构特性

The texture properties of gel beads from *Nicandra physaloides* (L.) Gaerth seed gum and sodium alginate

CHEN Meng-jie¹, JIN Zhong-xing², LI Zhi-yong¹, DU Jie¹, WANG Zheng-wu^{2,*}, ZHONG Yao-guang^{1,*}

(1.College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2.School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Gel beads from *Nicandra physaloides* (L.) Gaerth (NPG) seed gum, sodium alginate and mixed gel of them were prepared successfully. In this paper, the best mass ratio of NPG seed gum and sodium alginate were investigated, the hardness, chewiness and resilience of gel beads were studied by texture analyzer. The results showed that: under different factors such as gel concentration, calcium concentration, gel-time, temperature and pH value, the hardness and chewiness of NPG gel beads were lower than sodium alginate gel beads. The hardness and chewiness of sodium alginate gel beads increased with the increase of colloidal concentration, and decreased with the increase of gel temperature. Moreover, the hardness of NPG gel beads also increased with the increase of colloidal concentration, and decreased with the increase of gel temperature, and when the concentration of gel was 10 g/L, the chewiness had reached the maximum and tended to be stable. When pH < 3, the stability of hardness and chewiness of NPG gel beads were better than sodium alginate gel beads, and the resilience of sodium alginate gel beads was better than NPG gel beads, but sodium alginate gel beads were break easily. Through the combination of gel can effectively improve the initial hardness and chewiness of the NPG gel beads, when the mass ratio of NPG to sodium alginate was 3:7, the texture properties of mixed system were the best.

Key words: *Nicandra physaloides* (L.) Gaerth seed gum; sodium alginate; gelbeads; gel properties; textural properties

中图分类号: TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)20-0233-07

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2017.20.041

假酸浆 (*Nicandra physaloides* (L.) Gaerth) 是一年生茄科假酸浆属草本植物^[1], 别名石花籽、冰粉籽, 主要分布于我国西南省份, 云南、贵州等地产量较大。假酸浆植株的种子名为假酸浆子^[2], 具有极高的药食

两用价值, 种子中含有生物碱类化合物^[3]、黄酮类化合物^[4-6]等具有显著生理活性的功能性因子, 且种子表面包裹着的可食用胶质是民间制作消暑饮食冰粉 (又名凉粉) 的主要原料, 其含量占总重的 15% 左

收稿日期: 2017-02-23

作者简介: 陈梦洁 (1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 功能性食品, E-mail: chenmengjie912@163.com。

* 通讯作者: 钟耀广 (1967-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 功能性食品, E-mail: ygzhong@shou.edu.cn。

王正武 (1961-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 功能性食品, E-mail: zhengwuwang@sjtu.edu.cn。

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划 (2016YFD0400200); 国家自然科学基金面上项目 (31571763; 31671923)。

右^[7]。近年来对于假酸浆子胶的提取已有了很多报道^[8-11],假酸浆子胶的流变特性、凝胶特性、乳化特性以及吸湿保湿性也有了较为全面的研究^[12-15]。

胶凝性是食品胶作为食品添加剂或配料的一个重要功能性质,胶质的胶凝性与其流变学性质及质构有直接关系,假酸浆子胶发生凝胶的 pH 范围较广,且在钙离子存在条件下可自发凝胶,因此研究假酸浆子胶的胶凝性等特性对假酸浆子胶在食品行业中作为增稠剂和稳定剂的应用具有重要意义。涂国云等^[13]研究了假酸浆子胶的胶凝性,结果表明假酸浆子胶是一种可形成凝胶的天然高分子,钙离子存在条件下可以改变胶分子的聚集状态,这一性质与海藻酸钠类似^[16]。利用这一性质,为了进一步扩大假酸浆子胶在食品行业的应用,本文研究假酸浆凝胶球、海藻酸钠凝胶球以及二者混胶凝胶球的制备,确定混胶凝胶球的最佳配比,并且研究胶质浓度、钙离子浓度、凝胶时间、温度以及 pH 对胶体凝胶球质构的影响,为假酸浆子凝胶球在食品行业的生产与应用提供一定的理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

假酸浆子 购于贵州省安龙县农贸市场,经实验室课题组教授鉴定是假酸浆子;食品级海藻酸钠 青岛明月公司;氯化钙、硫酸钙、碳酸钙、磷酸氢钙、柠檬酸 纯度 > 99%,国药集团;其他化学试剂 均为国产分析纯。

HK-02A 型 100 g 手提式粉碎机 广州旭朗机械设备有限公司;SNB-1 数字式粘度计 上海精密科学仪器有限公司;DHL-B 恒流泵 上海青浦沪西仪器厂;Universal TA 质构仪 苏州归远仪器科技有限公司;DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器 郑州长城科工贸有限公司;FE20 pH 计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;HH-S 型数显恒温水浴锅 金坛市岸头国瑞实验仪器厂;FD-1A-50 型冷冻干燥机 北京博医康实验仪器有限公司;Scout-SE 型电子天平 奥豪斯仪器常州有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 假酸浆子胶的提取 热水浸提法提取胶质后用无水乙醇进行沉淀^[17-18]。

1.2.1.1 过筛去杂 用 20 目筛子筛除假酸浆子中的大片叶、梗及其他杂质。

1.2.1.2 水提醇沉 称 100 g 假酸浆子,用双层纱布兜起。为防止胶质损失,用 200 mL 去离子水快速冲洗一次。在 40 ℃ 条件下,第一次浸提水量为 600 mL,浸提时间为 20 min;第二次浸提水量为 400 mL,浸提时间为 10 min。将两次浸提液合并后挤压过滤,用无水乙醇处理浸提所得的胶溶液,得到粗样。

1.2.1.3 低温真空干燥 粗样置于 -18 ℃ 冰箱速冻 3 h,将真空冷冻干燥机预冷到 -60 ℃ 后放入冰冻的粗样,在 -60 ℃ 恒温冷冻干燥 12 h 后用粉碎机粉碎,过 40 目筛子得粉末状假酸浆子胶成品。

1.2.2 凝胶球的滴制 将假酸浆子胶溶液、海藻酸钠溶液、假酸浆子胶-海藻酸钠混胶溶液分别通过恒

流泵定量滴入氯化钙溶液中。其中恒流泵的参数设置为 10 r/min,胶球结实的标准为胶球切开后胶内部无未凝胶液体^[19-20]。

1.2.3 凝胶质构的测定 利用质构仪对凝胶球的质构特性进行测定,将凝胶球样品置于测定平台上,使用 SMS P/1 柱形探头,设定测定条件:TPA 测定类型触发值为 5 g,恒定压迫速度为 0.5 mm/s 压迫样品,样品变形 75% 后,停止压迫,以 0.5 mm/s 速度回移,数据采集速率为 200 pps,主要研究指标为硬度、弹性、粘性、咀嚼性、回弹性^[21-24]。每个样品平行测定 3 次,取其平均值进行分析。

1.2.4 胶体浓度对质构特性的影响 配制浓度为 4、6、8、10、12 g/L 的假酸浆子胶和海藻酸钠溶液,25 ℃ 条件下在 30 g/L 氯化钙溶液中分别制取不同浓度的假酸浆凝胶球和海藻酸钠凝胶球,凝胶反应 10 min 后对每一组胶球进行质构测定。

1.2.5 钙离子对凝胶时间及质构的影响

1.2.5.1 钙盐的种类及 pH 对凝胶时间的影响 柠檬酸调配 pH 为 4、4.5、5、6 的氯化钙、硫酸钙、磷酸氢钙和碳酸钙溶液(浓度均为 30 g/L),25 ℃ 条件下分别制备胶浓度为 3 g/L 的假酸浆凝胶球、海藻酸钠凝胶球以及混胶配比为 9:1 和 2:8 的假酸浆子胶-海藻酸钠凝胶球,测试钙盐以及溶液 pH 对胶球凝胶时间的影响。

1.2.5.2 钙离子浓度对质构的影响 配制浓度为 10、20、30、40、50 g/L 的氯化钙溶液,25 ℃ 条件下在不同浓度的氯化钙溶液中分别制备胶浓度为 8 g/L 的假酸浆凝胶球和海藻酸钠凝胶球,凝胶反应 10 min 后对每一组胶球进行质构测定。

1.2.6 凝胶时间对质构特性的影响 25 ℃ 条件下在 30 g/L 氯化钙溶液中制备胶浓度为 8 g/L 的假酸浆凝胶球和海藻酸钠凝胶球,凝胶球的胶凝时间分别为 4、6、8、10、12、14 min,对每一组胶球进行质构测定。

1.2.7 凝胶温度对质构特性的影响 在 30 g/L 氯化钙溶液中制备胶浓度为 8 g/L 的假酸浆凝胶球和海藻酸钠凝胶球,凝胶球的胶凝温度分别为 20、40、60、80 ℃,凝胶反应 10 min 后对每一组胶球进行质构测定。

1.2.8 pH 对质构特性的影响 25 ℃ 条件下,柠檬酸调配 pH 为 2、3、4、5、6、6.5 的氯化钙溶液(浓度为 30 g/L),分别制备胶浓度为 8 g/L 的假酸浆凝胶球和海藻酸钠凝胶球,凝胶反应 10 min 后对每一组胶球进行质构测定。

1.2.9 假酸浆子胶-海藻酸钠的不同配比对二者混胶粘度及混胶凝胶球质构的影响

1.2.9.1 不同配比对混胶粘度的影响 分别配制浓度为 3 g/L 的假酸浆子胶和海藻酸钠胶溶液,然后配制假酸浆子胶:海藻酸钠为 10:0、9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8、1:9、0:10 的混胶溶液,每一组混胶溶液置于磁力搅拌器上搅拌混匀。在 25 ℃ 下分别对不同配比的混胶溶液进行粘度测定,粘度计设定测试参数:2 号转子,转速为 12 r/min,对每组样品平行测量 3 次,取平均值。

1.2.9.2 不同配比对混胶凝胶球质构的影响 25 ℃

条件下在 30 g/L 氯化钙溶液中分别制取不同配比下胶浓度为 3 g/L 的假酸浆子胶-海藻酸钠混胶凝胶球,凝胶反应 10 min 后对每一组胶球进行质构测定。

1.3 数据处理

所有实验重复 3 次,所有数据绘图用 Origin 8 软件处理。

2 结果与分析

2.1 胶体浓度对凝胶质构的影响

不同胶体浓度对假酸浆胶球和海藻酸钠胶球的硬度、咀嚼度以及回弹性的影响如图 1 所示。海藻酸钠胶球和假酸浆胶球的硬度始终随胶体浓度的增大而增大,这是由于胶体分子数量增加,使其与钙离子结合位点增加,从而交联结构更加致密;海藻酸钠胶球的咀嚼度变化趋势与其硬度一致,随胶体浓度增大而增大;而假酸浆胶球在胶体浓度未达到 10 g/L 时,其咀嚼度随胶体浓度的增大而增大,当浓度为 10 g/L 时,胶球咀嚼度达到最大值;在相同胶体浓度的条件下,海藻酸钠胶球的硬度和咀嚼度要明显高于假酸浆胶球;当浓度低于 8 g/L 时,海藻酸钠胶球具有较好的回弹性,当浓度高于 8 g/L 时,回弹性明显降低,这是因为胶球硬度和脆性随着胶体浓度的

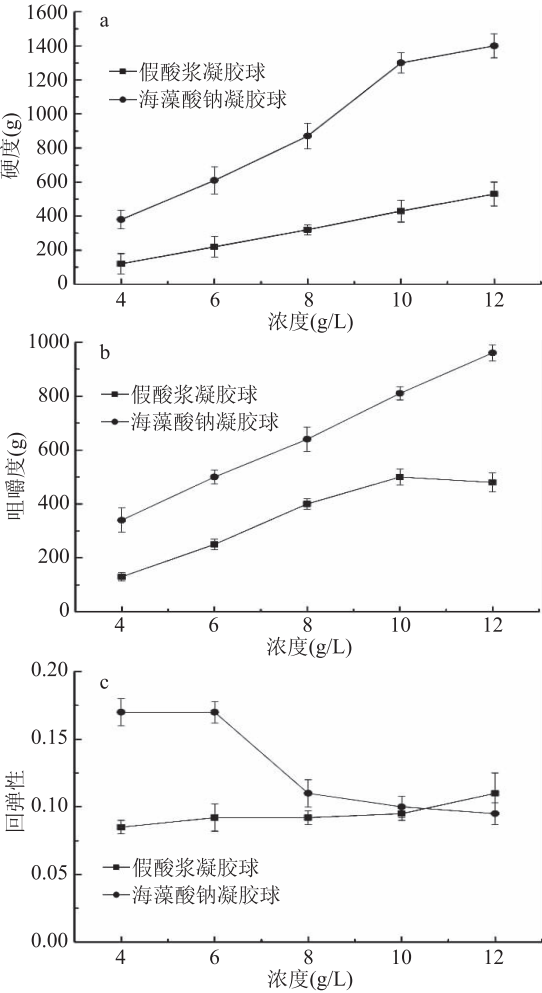


图 1 不同胶体浓度对胶球质构的影响
Fig.1 Effects of gel concentration on texture properties of gel beads

注:(a):硬度;(b):咀嚼度;(c):回弹性。

增加而增加,超过极限值后胶球发生破裂^[25],从而其回弹性大幅降低。假酸浆胶球因其脆性较小,含水性较高,测试过程中回弹性一直较平稳。

2.2 钙离子对凝胶时间及质构特性的影响

2.2.1 钙离子的种类及 pH 对凝胶时间的影响 在不同 pH 条件下,钙盐与胶质反应的完全结胶时间见表 1。由表 1 可知假酸浆子胶的结胶速度略慢于海藻酸钠,混胶结胶速度与假酸浆子胶和海藻酸钠的配比有关,随着海藻酸钠比例的增大,混胶的结胶速度也增加。

由于碳酸钙、磷酸氢钙和硫酸钙在水中的溶解度很低,其释放钙离子的含量远远低于可溶性的氯化钙,但在酸性的条件下,这些不溶或微溶的钙盐也可以微量的释放钙离子。由表 1 可以看出磷酸氢钙和硫酸钙的结胶速度明显受到 pH 的影响,pH 越低,结胶速度越快;碳酸钙即使在酸性环境中,结胶速度也没有提高,相较于这些不溶或微溶性的钙盐,可溶性的氯化钙因其具有较高的溶解度,故而能迅速使胶质结胶,且结胶速度不受 pH 的影响,所以可溶性钙盐均可以作为加工胶体球产品的浸泡液,因此,后续实验均采用氯化钙作为制备胶球的浸泡液。

2.2.2 钙离子浓度对凝胶质构的影响 不同氯化钙浓度对假酸浆胶球和海藻酸钠胶球的硬度、咀嚼度以及回弹性的影响如图 2 所示。由图 2 可知,氯化钙浓度在 10~30 g/L 范围时,两种胶球的硬度和咀嚼度均随氯化钙浓度增大而增大。当氯化钙浓度 >30 g/L 时,胶球的硬度和咀嚼度随氯化钙浓度增大而略有下降,其原因可能是氯化钙浓度提高后,胶体溶液与氯化钙接触瞬间就形成了致密的外膜,降低了氯化钙的渗透速度,内部凝胶强度降低。当氯化钙浓度 <20 g/L 时,海藻酸钠胶球的回弹性好于假酸浆胶球,当氯化钙浓度 >20 g/L 时,两种胶球回弹性无明显差别,其原因是当氯化钙浓度为 20 g/L 时,海藻酸钠胶球发生脆性破裂,降低了回弹性。

2.3 凝胶时间对凝胶质构的影响

不同凝胶时间对假酸浆胶球和海藻酸钠胶球(胶体浓度为 8 g/L)的硬度、咀嚼度以及回弹性的影响如图 3 所示。在 4~8 min 内,海藻酸钠凝胶硬度和咀嚼度随凝胶时间增加而增大,在 8~12 min 时,其硬度和咀嚼度达到最高并保持稳定,而假酸浆胶球的硬度和咀嚼度从始至终没有明显变化,其主要原因是凝胶过程中两种胶体形成不同的凝胶结构,反应初始阶段,海藻酸钠液滴外表面胶膜和内部结构均较为密集,降低钙离子渗透到内部的速度,故需要较长时间才能与钙离子完全反应,而假酸浆子胶形成的凝胶结构较为疏松,钙离子扩散至胶球内部时间较快^[26],在 4 min 内就结束凝胶反应,硬度和咀嚼度也达到最大值。对比“2.2”中表 1 假酸浆胶球(胶体浓度为 3 g/L)的凝胶时间,胶体浓度不同的假酸浆胶球结胶速度也不同,高浓度胶体制得的胶球完全结胶时间比低浓度胶球短,这是由于胶体浓度越高,与钙离子的反应速度越快,又因假酸浆凝胶结构疏松,扩散较快,故而耗时短。在不同的凝胶时间下,

表 1 不同类型的钙盐对凝胶时间的影响
Table 1 Effects of different calcium salt on gelation time

钙盐	pH	结胶时间 (min)			
		假酸浆子胶	海藻酸钠	假酸浆子胶:海藻酸钠 = 9:1	假酸浆子胶:海藻酸钠 = 2:8
氯化钙	6	6~7	4~5	5~6	4~5
	5	6~7	4~5	5~6	4~5
	4.5	6~7	4~5	5~6	4~5
	4	6~7	4~5	5~6	4~5
碳酸钙	6	>2 d	>2 d	>2 d	>2 d
	5	>2 d	>2 d	>2 d	>2 d
	4.5	>2 d	>2 d	>2 d	>2 d
	4	>2 d	>2 d	>2 d	>2 d
磷酸氢钙	6	>2 d	>2 d	>2 d	>2 d
	5	>2 d	>2 d	>2 d	>2 d
	4.5	95	85	90	90
	4	25	15	25	23
硫酸钙	6	180	160	180	160
	5	135	120	135	120
	4.5	100	95	100	95
	4	75	60	70	65

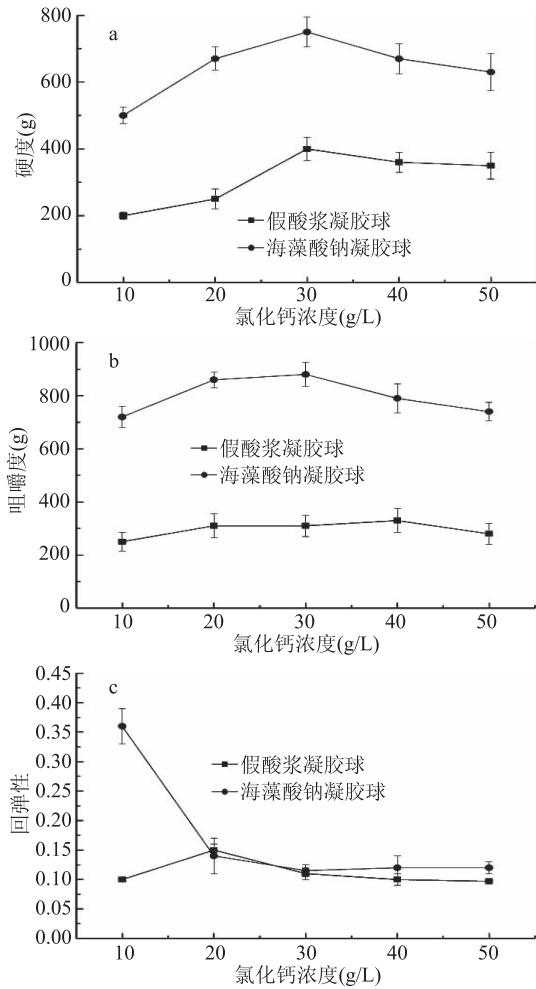


图 2 不同氯化钙浓度对胶球质构的影响
Fig.2 Effects of calcium chloride concentration on texture properties of gel beads

注:(a):硬度;(b):咀嚼度;(c):回弹性;图 3~图 5 同。

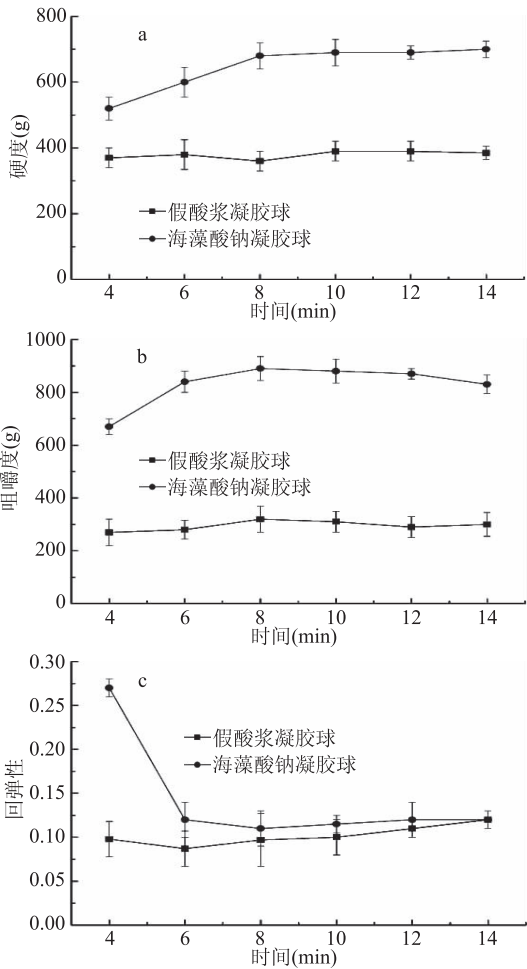


图 3 不同凝胶时间对胶球质构的影响
Fig.3 Effects of gelation time on texture properties of gel beads

假酸浆胶球的回弹性无明显变化,而海藻酸钠胶球在 6 min 时发生脆性破裂,回弹性明显降低。

2.4 凝胶温度对凝胶质构的影响

不同凝胶温度对假酸浆胶球和海藻酸钠胶球的硬度、咀嚼度以及回弹性的影响如图 4 所示。由图 4 可知,海藻酸钠胶球的硬度和咀嚼度随温度升高而明显降低,这是由于温度升高导致海藻酸钠分子中的古洛糖醛酸(G 段)与其立体异构体甘露糖醛酸(M 段)容易分开^[27],不易和钙离子形成网络结构,所以凝胶性能变差。在不同温度的条件下,海藻酸钠胶球的回弹性未出现明显变化。对于假酸浆胶球,凝胶硬度和咀嚼度均随温度升高而降低,但是回弹性却明显升高,可能是假酸浆胶球在高温时纤维网状的结构发生了改变,网孔增大,持水性增强^[28]。

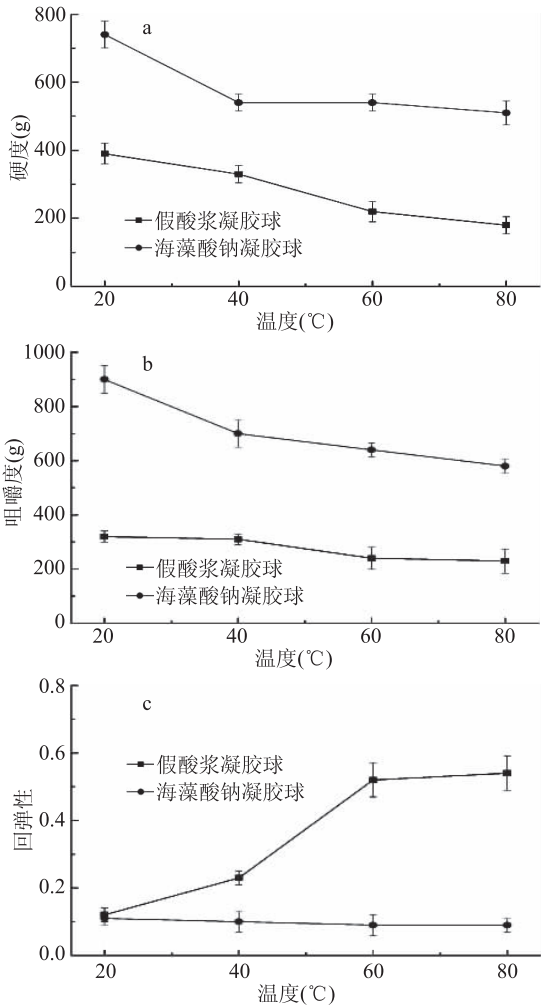


图4 不同凝胶温度对凝胶质构的影响
Fig.4 Effects of gelation temperature on texture properties of gel beads

2.5 pH 对凝胶质构的影响

不同 pH 对假酸浆胶球和海藻酸钠胶球的硬度、咀嚼度以及回弹性的影响如图 5 所示。pH < 3 时,海藻酸钠胶球的硬度和咀嚼度明显低于 pH > 3 时的胶球,是因为 H⁺ 和 Ca²⁺ 争夺与海藻酸钠羧基的结合,降低了 Ca²⁺ 与海藻酸钠的置换,从而降低了凝胶的强度^[29];而假酸浆胶球的硬度和咀嚼度无明显的变化,说明其受 H⁺ 影响的程度明显小于海藻酸钠凝胶。当 pH 从 2 升到 3 时,海藻酸钠胶球的回弹性降

低,pH 在 3~6.5 范围时,其回弹性无明显变化;假酸浆胶球的回复弹稳定,不受 pH 的影响。

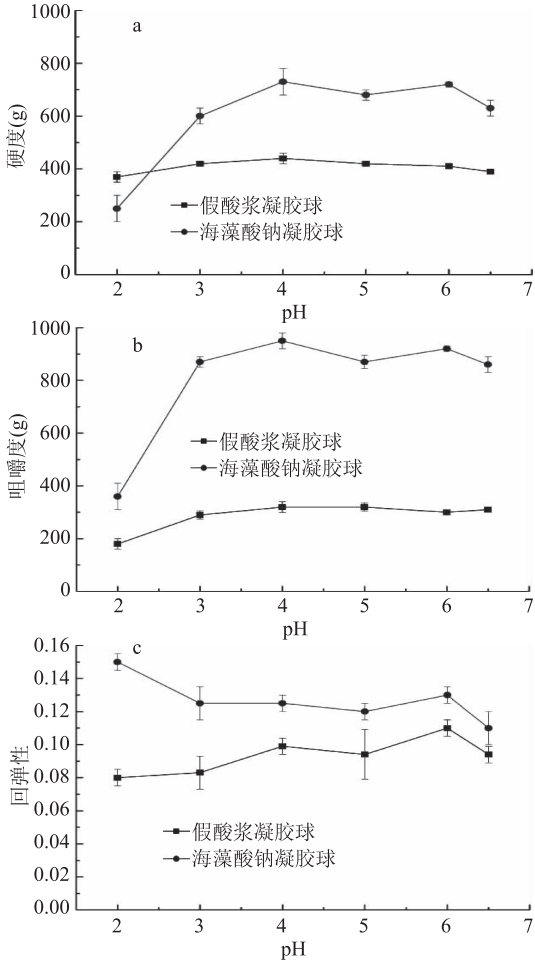


图5 不同的 pH 对胶球质构的影响
Fig.5 Effects of pH value on texture properties of gel beads

2.6 不同配比的假酸浆子胶和海藻酸钠混胶凝胶球的质构特性

图 6 为不同配比下混胶溶液的粘度,室温下混合体系以不同比例混合时,其溶液粘度有较大的变化,总体来说随着海藻酸钠加入量的增加混胶粘度呈不断下降的趋势。当假酸浆子胶:海藻酸钠为 3:7 时,减少较为明显,其原因可能是此配比状态下混胶体系状态偏向海藻酸钠特性,表现出较低粘度。

由于假酸浆胶球的硬度和咀嚼度都较低,但回弹性较好,而海藻酸钠胶球具有较高的硬度和咀嚼度,容易断裂也就导致了其回弹性不好。因此研究了不同配比混胶溶液制成凝胶球的质构,如表 2 所示。假酸浆子胶和海藻酸钠的配比从 9:1 到 6:4 时,混胶的硬度都低于单一假酸浆胶球的硬度;当其配比为 3:7 时,混胶胶球硬度开始有了较大提升,偏向于海藻酸钠胶球硬度的性质,且此时混胶硬度为 321.36 g,比单一假酸浆胶球的硬度提升了 221.80 g,而且此配比下混胶胶球的咀嚼度和粘性也都有了较大提升,且兼具了复配中的最高弹性和回弹性,故当假酸浆子胶和海藻酸钠比例为 3:7 时为最适宜凝胶球配比,此配比下混胶胶球兼具海藻酸钠胶球较高的硬度、咀嚼度以及假酸浆胶球较好的弹性和回弹性。

表2 不同配比对混胶凝胶球质构的影响

Table 2 Effects of proportion on texture properties of gel beads of blending gum

假酸浆子胶/海藻酸钠	硬度(g)	弹性	粘性(g)	咀嚼度(g)	回弹性
10:0	99.56	0.30	11.69	3.43	0.03
9:1	80.85	0.31	11.92	3.75	0.04
8:2	64.22	0.35	13.01	4.54	0.05
7:3	66.27	0.28	9.87	2.77	0.04
6:4	84.77	0.38	17.16	6.57	0.06
5:5	95.61	0.32	15.00	4.83	0.05
4:6	70.84	0.49	20.80	10.52	0.10
3:7	321.36	0.55	30.12	16.44	0.12
2:8	331.31	0.31	52.99	16.46	0.09
1:9	398.31	0.28	69.82	19.26	0.09
0:10	343.65	0.25	67.60	17.12	0.11

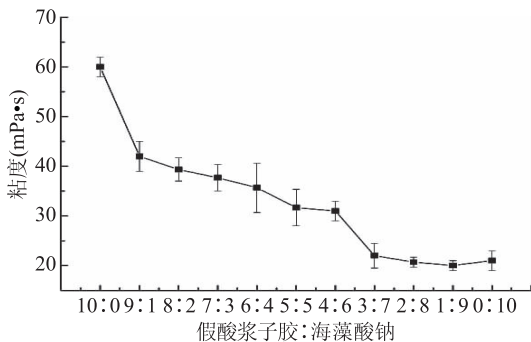


图6 不同比对假酸浆子胶与海藻酸钠混胶粘度的影响

Fig.6 Effects of proportion on viscosity of blending gum of NPG with sodium alginate

3 结论

探讨了胶体浓度、氯化钙浓度、凝胶时间、凝胶温度和 pH 条件对胶球质构的影响,在相同的凝胶条件下,假酸浆凝胶球的硬度和咀嚼度低于海藻酸钠胶体球,且均随着凝胶温度的升高而降低,随胶体浓度的升高而增大,但假酸浆凝胶达到最大硬度和咀嚼度的时间短于海藻酸钠。当 pH < 3 时,假酸浆凝胶硬度和咀嚼度的稳定性好于海藻酸钠凝胶。海藻酸钠胶球的回弹性好于假酸浆子胶球,但由于海藻酸钠的脆性特征胶球易发生破裂;随着凝胶温度升高,海藻酸钠凝胶回弹性无明显变化,而假酸浆胶球回弹性却明显升高。

假酸浆胶球的硬度和咀嚼度都较低,但回弹性较好,且耐酸性较好;而海藻酸钠胶球具有较高的硬度和咀嚼度,容易断裂也就导致了其回弹性不好,且其受 pH 影响较大。故通过胶体复配,以期可以有效提高假酸浆胶球初始硬度、咀嚼度还保留其本身的特性。当假酸浆子胶:海藻酸钠为3:7时,混胶凝胶球呈现出较好的硬度、咀嚼度、粘性、弹性和回复力。混胶凝胶球兼具假酸浆子胶的较好的弹性、回弹性以及海藻酸钠的硬度和咀嚼度,保持了冰凉粉食品清热解暑的产品特性,可考虑将其作为悬浮颗粒引进饮料工业中,延伸了假酸浆产品的应用范围。

参考文献

[1] Qian - Kun YI, Bo LI, Liu JK. New Withanolides from *Nicandraphysaloides* (*Solanaceae*) [J] . *Plant Diversity &*

Resources,2012,34(1):101-106.

[2] 赵宏峰,尹立冲,弥宏,等.假酸浆子的超临界 CO₂ 流体萃取及成分分析[J].特产研究,2013(3):59-60,64.

[3] 王美玉,王遂.假酸浆总生物碱的提取及分离研究[J].哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2011,27(2):235-237,240.

[4] 张琳琳,王遂.假酸浆总黄酮的提取及纯化研究[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2011,27(6):66-69.

[5] 张慧,王遂.双水相法和微波法提取假酸浆中总黄酮及纯化[J].哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2014(2):220-223.

[6] 张慧,王遂.假酸浆中总黄酮的提取及稳定性研究[J].食品科技,2014(10):203-207.

[7] 周雨.假酸浆的化学成分及其生理活性初研[J].西藏科技,2016(2):69-72.

[8] 涂国云,王正武,唐菠,等.响应面法优化假酸浆子胶质提取工艺研究[J].食品科学,2009,30(2):79-83.

[9] 张帅.正交实验优选假酸浆籽中果胶提取工艺的研究[J].湖南中医药大学学报,2010,30(7):42-44.

[10] 金忠兴.假酸浆子胶质提取工艺研究[J].上海农业科技,2014(6):23-24.

[11] 姜盼,王遂,齐欣欣,等.假酸浆多糖提取纯化工艺的研究[J].哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2015(1):28-32.

[12] 涂国云,王正武,顾瑾.假酸浆子胶溶液的流变特征[J].林产化学与工业,2008,28(2):38-42.

[13] 涂国云,王正武,唐菠,等.假酸浆子胶质的胶凝特性[J].食品工业科技,2009(2):87-90,93.

[14] 涂国云,王正武,唐菠.假酸浆子胶质的乳化性评价[J].精细化工,2009(1):63-67.

[15] 涂国云,王正武,唐菠,等.假酸浆子胶的吸湿性及动力学研究[J].华北农学报,2008,23(S2):377-379.

[16] Morch Y A, Donati I, Strand B L, et al. Effect of Ca²⁺, Ba²⁺, and Sr²⁺ on alginate microbeads [J] . *Biomacromolecules*, 2006, 7 (5) : 1471-1480.

[17] ZHromádková, A Ebringerová, P Valachovič. Comparison of classical and ultrasound - assisted extraction of polysaccharides from *Salvia officinalis* L [J] . *Ultrasonics Sonochemistry*, 1999, 5 (4) : 163-168.

[18] Lundqvist J, Teleman A, Junel L, et al. Isolation and characterization of galactoglucomannan from spruce (*Picea abies*) [J] . *Carbohydrate Polymers*, 2002, 48 (1) : 29-39.

[19] 陈云,罗丽花,周紫燕,等.海藻酸钠/大豆蛋白共混凝胶

- 微球的结构[J].武汉大学学报(理学版),2006(4):396-400.
- [20]李欣,陈立仁.不同粘度的海藻酸钠制备海藻酸钙凝胶粒子研究[J].云南大学学报:自然科学版,2010(2):217-220.
- [21]宋晓敏,刘建福.蚕豆淀粉凝胶强度与质构的影响因素[J].食品科技,2013,38(6):180-184.
- [22]Rahman M S, Al-Farsi S A. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(4):505-511.
- [23]杨玉玲,周光宏,姜攀,等.卡拉胶凝胶质构特性的研究[J].食品工业科技,2008,29(10):220-223.
- [24]刘刚,雷激,郑睿行,等.低甲氧基果胶凝胶质构特性影

- 响因素研究[J].食品科技,2010,35(10):248-251.
- [25]杨英.浓缩诱导含钙离子的海藻酸钠与高酯果胶体系凝胶及其应用的研究[D].无锡:江南大学,2012.
- [26]牛庆凤,王斌,李涛,等.假酸浆籽胶质多糖的结构及凝胶特性研究[J].现代食品科技,2015(9):68-73.
- [27]张传杰.海藻酸钠/羧甲基纤维素钠共混纤维的制备及结构与性能研究[D].青岛:青岛大学,2008.
- [28]金忠兴.假酸浆籽胶质提取工艺研究及其在饮料产品中的应用[D].上海:上海交通大学,2014.
- [29]马萍,祝力,孙淑英,等.海藻酸钙凝胶微球的制备和 pH 依赖性溶胀[J].中国海洋药物,2003(5):35-37.

(上接第 220 页)

根据超声复合酶乙醇提取甜茶苷的正交优化工艺的试验结果(表 3)和方差分析(表 4)可知,影响甜茶苷提取率的主次因素如下:复合酶酶解 pH(D) > 料液比(A) > 超声功率(C) > 乙醇浓度(B),其中 pH 对甜茶苷提取率的影响显著。由表 3 可以看出, C- 超声功率因素得出的 K_1 和 K_2 两个值分别为 64.353 和 64.543, 由于 K_1 和 K_2 值的差异不是很大, 基于节约能源和资源的角度考虑, 超声功率选择水平 1(50 W), 得最佳实验方案为 $A_1B_2C_1D_1$, 进行验证实验。在超声复合酶乙醇提取的过程中, 将过筛 40 目的 1 g 甜茶粉末, 在复合酶酶解 pH 为 4.0, 复合酶用量为 2.6% 条件下, 酶解 30 min 后, 以 1:20 料液比加入 40% 的乙醇, 在超声 45 °C, 50 W 下提取 30 min, 重复提取 2 次, 得到甜茶苷提取率为 $66.4\% \pm 0.9\%$, 甜茶苷含量为 110.7 mg/g。虽然此结果低于第一组实验的甜茶苷提取率, 但是第一组实验的各个因素的条件导致实验结果不具有稳定性, 所以该正交实验的最佳方案确定为 $A_1B_2C_1D_1$ 。从三次测定的甜茶苷提取率可以看出, 正交设计的结果具有较好的重现性和稳定性。

3 结论

根据超声复合酶辅助乙醇提取的单因素, 选取了料液比、乙醇浓度、超声功率和 pH 四个显著因素进行了正交设计实验。得出超声复合酶提取甜茶苷的最优条件: 复合酶用量为 2.6%, 酶解 pH 4.0, 甜茶粉末与乙醇的料液比为 1:20, 乙醇浓度为 40%, 超声功率 50 W, 在甜茶粉末过 40 目筛, 用复合酶酶解 30 min, 温度 45 °C 下, 超声提取 30 min, 重复提取 2 次, 甜茶苷的提取率可达 $66.4\% \pm 0.9\%$, 含量为 110.7 mg/g。

参考文献

- [1]李树刚.甜茶,悬钩子属一新种[J].广西植物,1981,1(4):17-19.
- [2]陈佳,何建栋.广西野生甜茶的保健功效及开发利用价值[J].中国农村小康科技,2008(12):62.
- [3]柏芸,薛淑静,周明,等.蔷薇科甜茶加工应用研究进展[J].农产品加工:创新版(中),2010(11):52-55.
- [4]郭燕.广西甜茶的研究进展[J].贵州茶叶,2014,42(1):6-9.
- [5]田翠平,瞿伟菁,孙斌,等.甜茶素提取物对 STZ 致高血糖大鼠的降血糖作用研究[J].营养学报,2003,25(1):29-32.

- [6]田翠平,瞿伟菁.甜茶素对小鼠糖异生作用和血脂代谢的影响[J].广西中医药,2001,24(4):59-61.
- [7]孙斌,鲁力,陆继培.甜茶素对大鼠实验性高脂血症防治作用的研究[J].广西医科大学学报,2001,18(5):628-629.
- [8]黄丽微.甜茶贰对变形链球菌作用的体外实验研究[D].南宁:广西医科大学,2010.
- [9]司徒佳.从甜茶中联产甜茶素及黄酮的工艺研究[D].武汉:湖北工业大学,2013.
- [10]李祝,陈蓉,李猷,等.广西甜茶中甜茶素的提取工艺研究[J].食品工业,2013(2):93-95.
- [11]Huang W, Xue A, Niu H, et al. Optimised ultrasonic-assisted extraction of flavonoids from *Folium eucommiae* and evaluation of antioxidant activity in multi-test systems *in vitro* [J]. Food Chemistry, 2009, 114(3):1147-1154.
- [12]银胜高,刘莉丽,刘君玲,等.广西瑶山甜茶中甜茶素的提取工艺筛选[J].广西中医学院学报,2008,11(4):45-48.
- [13]Hemwimon S, Pavasant P, Shotipruk A. Microwave-assisted extraction of antioxidative anthraquinones from roots of *Morinda citrifolia* [J]. Separation and Purification Technology, 2007, 54(1):44-50.
- [14]周少秋.甜茶浸提工艺的研究与应用[D].福州:福建农林大学,2008.
- [15]张健,叶丽琼.甜茶叶中甜茶苷的测定[J].食品工业,2007(1):55-57.
- [16]卢昕,张新申,刘承伟.反相高效液相色谱法测定广西甜茶中的甜茶素[J].色谱,2003(3):260-262.
- [17]程雅芳.甜茶黄酮、茶多酚的提取、纯化工艺及其应用研究[D].南宁:广西大学,2011.
- [18]刘昌盛,黄凤洪,夏伏建,等.超声波法提取茶皂素的工艺研究[J].中国油料作物学报,2006,28(2):203-206.
- [19]谢丽源,王富伟,李洪军,等.超声波复合酶法提取桑黄多糖研究[J].食品科学,2010,31(10):81-85.
- [20]耿敬章.柳叶腊梅叶总黄酮超声波协同复合酶提取及抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2016(21):124-129,293.
- [21]刘铸晋,周文华,高峰,等.甜叶悬钩子叶的甜味成分研究[J].植物学通报,1993(3):33-37.
- [22]李倩,田春芳,刘雯霞,等.超声波复合酶法提取软紫草多糖的工艺优化[J].中国现代应用药学,2012(6):498-503.
- [23]李元波,殷辉安,唐明林,等.复合酶解法提取三七皂苷的实验研究[J].天然产物研究与开发,2005(4):488-492.
- [24]付娟娟,温文,李丹丹,等.超声波辅助纤维素酶提取甜菊糖苷[J].中国食品添加剂,2012(5):129-133.